

2007

PREPRINT 329

Pascual Jordan (1902–1980)

Mainzer Symposium zum 100. Geburtstag

Inhalt

Vorwort	3
Grußwort von Cl. Zintzen, Präsident der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz.	7
A. Fisher (Minneapolis): The Historical Development of Matrix Mechanics.	9
J. Ehlers (Potsdam-Golm): Pascual Jordan's Role in the Creation of Quantum Field Theory.	23
K.v. Meyenn (Ulm): Jordan, Pauli und ihre frühe Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Quantenstrahlung.	37
B. Schroer (Berlin/Rio de Janeiro): Pascual Jordan, biographical Notes, his Contributions to Quantum Mechanics and his Role as a Protagonist of Quantum Field Theory.	47
R. Beyler (Portland): Extending the Quantum Revolution to Biology: Jordans Biophysical Initiatives.	69
D. Hoffmann (Berlin), M. Walker (Schenectady): Der gute Nazi: Pascual Jordan und das Dritte Reich.	83
A. Schirrmacher (München): Dreier-Männer-Arbeit in der frühen Bundesrepublik: Max Born, Werner Heisenberg und Pascual Jordan als politische Grenzgänger.	113
R. Breuer (Heidelberg): Pascual Jordan: der Forscher als Wissenschaftspublizist.	115
W. Kundt (Bonn): Jordan's „Excursion“ into Geophysics.	123
H. Kragh (Aarhus): From Quantum Theory to Cosmology: Pascual Jordan and „World Physics“.	133
W.D. Beiglböck (Heidelberg): Ernst Pascual Jordan als Autor wissenschaftlicher und allgemeinbildender Schriften.	145
Pascual Jordan: Schriftenverzeichnis (erstellt von W.D. Beiglböck, Heidelberg)	175

Vorwort

Am 18. Oktober 2002 jährte sich der 100. Geburtstag von Pascual Jordan—ein besonderer Anlass, auf Leben und Werk dieses herausragenden Physikers des 20. Jahrhunderts zurückzublicken. Auf Anregung von Jürgen Ehlers veranstalteten deshalb die Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz sowie die Max-Planck-Institute für Gravitationsphysik und für Wissenschaftsgeschichte ein gemeinsames Symposium zum Gedenken an Pascual Jordan, das vom 29. bis 31. Oktober 2003 im Akademiegebäude in Mainz durchgeführt wurde. Der Tagungsort war keineswegs zufällig gewählt, gehört die Mainzer Akademie doch zu jenen Wissenschaftsinstitutionen, die besonders eng mit dem Leben und Wirken von Pascual Jordan verbunden sind. Seit Gründung der Akademie im Sommer 1949 gehörte er ihrem Präsidium an und bekleidete von 1949 bis 1963 das Amt des Vizepräsidenten sowie zwischen 1963 und 1967 das des Präsidenten. Darüber hinaus stand er der Kommission für Mathematik und Astronomie von 1958 bis 1971 vor und beteiligte sich aktiv an der Arbeit weiterer Akademiekommissionen.

Pascual Jordan gehört zu den Begründern der Quantenmechanik, für deren Ausgestaltung die von ihm gleichzeitig mit Paul Adrien Maurice Dirac entwickelte Transformationstheorie von großer Bedeutung war. Er erkannte, dass der Welle-Korpuskel-Dualismus durch Feldquantelung, d.h. Anwendung der Heisenbergschen Umdeutung physikalischer Größen auf Feldvariablen, überwunden werden kann. Diese Idee führte Jordan in Arbeiten mit Oskar Klein, Eugene P. Wigner und Wolfgang Pauli aus und legte damit das Fundament der Quantenfeldtheorie. In der Nachkriegszeit trug er mit seinen Forschungen zur Gravitationstheorie und Kosmologie entscheidend dazu bei, dass dieses Gebiet in Deutschland - nach seiner Ächtung im Dritten Reich - neu belebt wurde und wieder Anschluss an den internationalen Forschungsstand fand. Jordans Seminar über Allgemeine Relativitätstheorie an der Universität Hamburg, das für seine jungen Mitarbeiter durch von ihm eingeleitete internationale Kontakte besonders anregend und auch karrierefördernd war, erwies sich als Keimzelle weiterer Forschungen zur Relativitätstheorie in Deutschland.

Neben überragender fachwissenschaftlicher Exzellenz ist das Schaffen Jordans durch das Bemühen gekennzeichnet, die Grenzen des eigenen Faches zu überschreiten. Das Interesse an fachübergreifenden Zusammenhängen bestimmte sein gesamtes Wirken - so interessierte er sich für die Bedeutung der Quantentheorie für die Biologie und versuchte, biologische Prozesse als Quantenprozesse zu deuten, was ihn zum Mitbegründer der Quantenbiologie machte. Aus seinen Arbeiten zur Verallgemeinerung der in der Quantentheorie verwendeten Mathematik erwuchs ein neuer Zweig der Algebra. Auch setzte sich Jordan intensiv mit den erkenntnistheoretischen und weltanschaulichen Konsequenzen der Quantentheorie auseinander. Seine seit Ende der zwanziger Jahre in zahlreichen Reden, populärwissenschaftlichen Aufsätzen und Büchern publizierte Sichtweise auf die moderne Physik wurde insbesondere in der Nachkriegszeit zum Gegenstand gleichermaßen intensiver wie kontroverser Diskussionen.

Jordans politisches Wirken, insbesondere sein fatales Engagement für den NS-Staat, aber auch sein Einsatz für Atomwaffen in der frühen Bundesrepublik, wirft auch heute noch einen Schatten auf sein Lebenswerk. Der amerikanische Wissenschaftshistoriker Norton Wise hat darauf hingewiesen, dass das moralische Problem, das Jordans politisches Wirken aufwirft, keineswegs allein in seinen vor NS-Terminologie strotzenden Schriften aus den dreißiger und vierziger Jahren zu suchen ist. Der Kern dieses moralischen Problems ist vielmehr das Verhältnis von Wissenschaft und Macht, welches nicht so sehr in der Sphäre des Geistes oder Ungeistes wurzelt, als vielmehr im konkreten Handeln, im Opportunismus, vor allem aber in der Bedenkenlosigkeit, mit der hier ein Wissenschaftler den jeweils Mächtigen die Machtmittel der Wissenschaft in die Hände zu geben trachtete, und sei es—wie im Falle eines antizipierten Atomkriegs—um den Preis der möglichen Vernichtung eines Teils der Menschheit.

Trotz solcher Verfehlungen war Jordans Leben reich an Anerkennung und Ehrungen. So wurde er 1942 mit der höchsten Auszeichnung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, der Max-Planck-Medaille und 1955 mit der Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft geehrt, weiterhin erhielt er den Preis der Gravity Research Foundation (1967) und den Konrad-Adenauer-Preis (1970). Jordan war von 1957 bis 1961 Mitglied des deutschen Bundestages.

Dieser Komplexität und Vielfalt im Jordanschen Wirken fühlte sich das Symposium in besonderer Weise verpflichtet, wobei bewusst der interdisziplinäre Dialog zwischen Physikern—nicht zuletzt den Schülern Jordans—und Wissenschaftshistorikern gesucht wurde. Der vorliegende Preprint will diesen Dialog dokumentieren.

Da nicht alle Vortragenden ihre Vorträge zur Publikation eingereicht haben, sei nachfolgend noch einmal die Vortragsfolge des Symposiums protokolliert, wobei die im vorliegenden Preprint publizierten Vorträge mit * markiert sind:

29.10.2003

Eröffnung*

durch Cl. Zintzen, Präsident der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, J. Ehlers, Direktor am MPI für Gravitationsphysik Potsdam-Golm, J. Renn, Direktor am MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin.

M. Jordan (Hamburg): Erinnerungen an meinen Vater.

E. Schücking (New York): Das wissenschaftliche Werk Pascual Jordans.

V. Enss (Aachen): Pascual Jordan als Mitbegründer der Quantenmechanik.

M. Janssen, A. Fisher (Minneapolis): Jordan and the Formulation of Matrix Mechanics.*

J. Ehlers (Potsdam-Golm): Pascual Jordan's Role in the Creation of Quantum Field Theory.*

30.10.2003

K.v. Meyenn (Ulm): Jordan, Pauli und ihre frühe Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Quantenstrahlung.*

B. Schroer (Berlin): Jordan und die Quantentheorie: Einstieg, Ausbau und Nachwirkung.*

R. Beyler (Portland). Extending the Quantum Revolution to Biology: Jordans Biophysical Initiatives.*

D. Hoffmann (Berlin), M. Walker (Schenectady): Der gute Nazi: Pascual Jordan und das Dritte Reich.*

A. Schirmacher (München): Dreier-Männer-Arbeit in der frühen Bundesrepublik: Max Born, Werner Heisenberg und Pascual Jordan als politische Grenzgänger.*

R. Breuer (Heidelberg): Pascual Jordan: Der Forscher als Wissenschaftspublizist.*

W. Kundt (Bonn): Jordan's „Ausflug“ in die Geophysik.*

H. Kragh (Aarhus): From Quantum Theory to Cosmology: Pascual Jordan and „World Physics“.*

J. Ehlers (Potsdam-Golm): Jordans Seminar über Relativitätstheorie.

Die vielfältigen Verpflichtungen einiger Autoren – nicht zuletzt bei der Vorbereitung und Durchführung des Einstein-Jahres 2005 – haben die Drucklegung der Beiträge leider erheblich verzögert.

Potsdam-Golm / Berlin, im Frühjahr 2007

Jürgen Ehlers, Dieter Hoffmann, Jürgen Renn

Grußwort: Symposion zu Ehren Pascual Jordan
am 29.10.2003

Clemens Zintzen
Präsident der Akademie der Wissenschaften und der Literatur,
Geschwister-Scholl-Straße 2, D-55131 Mainz

Meine sehr verehrten Damen und Herren, sehr geehrter Herr Renn, lieber Herr Ehlers.

Ich begrüße Sie heute herzlich zu diesem Gedenksymposion, das zu Ehren von Pascual Jordan abgehalten wird, und ausgerichtet wird von den Max-Planck-Instituten in Golm und Berlin sowie von der Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz. Ich heiße die Vortragenden und die Gäste willkommen und gebe der besonderen Freude Ausdruck, dass der Sohn Pascual Jordans, Herr Michael Jordan, heute hier anwesend ist und sogar aus seiner Perspektive uns Erinnerungen an seinen Vater mitteilen wird.

Wer die Themen der einzelnen Vorträge dieses Symposions ansieht, erhält sogleich einen Eindruck von der wissenschaftlichen Breite, die Jordan immer gepflegt hat. Er hat sich immer gegen die (wie er es nannte) Hypertrophie des Spezialistentums gewandt; und man kann sich fragen, was er wohl heute sagen würde, wo solche Verzweigungen und Spezialisierungen noch sehr viel weiter vorangeschritten sind: das gilt offenbar für die Naturwissenschaften, ist aber wie ich glaube in den Geisteswissenschaften genauso zu finden und dort, wie mir scheint, noch sehr viel schädlicher, weil das Ganze aus dem Blick gerät und damit eben Zusammenhänge nicht mehr sichtbar werden.

Die Akademie freut sich, dass für ein solches Symposion die Initiative ergriffen worden ist; von der Akademie aus danke ich in ganz besonderer Weise Herrn Ehlers, aber darüber hinaus gilt mein Dank allen, die sich an diesem Symposion beteiligen.

Unter Ihnen, meine Damen und Herren, sind viele, die Pascual Jordan weitaus besser kannten als ich, die ihm nahe standen und die sein Lebenswerk, das ja auch sozusagen der Grundraster dieser Symposionsvorträge bildet, genauer kennen und würdigen können. Ich kann nur aus der Perspektive unserer Akademie zu ihm etwas sagen, und da war er gerade in den ersten 15 Jahren dieser Institution eine prägende Persönlichkeit.

Pascual Jordan war Mitglied dieser Akademie ab der Gründung 1949; ich weiß nicht, wer ihn zur Aufnahme vorgeschlagen hat, ein Aufnahmeantrag ist in den Akten nicht zu finden; jedenfalls war es eine ausgezeichnete Idee, ihn zu wählen; so wurde er auch gleich Vizepräsident der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse und hat dieses Amt bis 1963, also 14 Jahre, inne gehabt. In den Jahren 1963-1967 war er Präsident dieser Akademie. Die Konturen eines Präsidenten kann man am besten aus den Jahresfeierreden erkennen, die zu halten er verpflichtet ist.

Die vier Reden Pascual Jordans habe ich genau gelesen, und es zeigt sich mir das Bild einer außergewöhnlichen Persönlichkeit, die nicht in ein festes Ritual zu pressen war. Es beginnt schon damit, dass er in einer Rede erklärte, er habe hier ein dickes Bündel von Berichten über die Tätigkeit der einzelnen Kommissionen in der Akademie; er wolle dem Publikum

nicht zumuten, dies ausführlich auch noch vorzutragen; jeder könne in diesen Schriften lesen, und so erspare er sich in seinem Jahresbericht den Vortrag über die Arbeitsergebnisse in der Akademie.

Statt dessen ging er zielstrebig immer auf akademiepolitische und lebenswichtige Themen ein. Er wusste, dass Akademien auf der Schattenseite öffentlicher Aufmerksamkeit standen (und stehen), hat aber ihre Arbeit gegenüber der politischen Ebene verteidigt, indem er darauf hinwies, das in den Akademien ein erstaunlicher Wirkungsgrad der aufgewandten Mittel zu verzeichnen sei.

Oft hat er betont, dass die wissenschaftliche Arbeit in Deutschland, also auch in der Akademie, auf ein internationales Niveau anzuheben sei. Und er hat nach dem 2. Weltkrieg tatsächlich sehr früh die Anbindung unserer Wissenschaft an die internationale scientific community betrieben. Öfters kann man bei ihm lesen, dass es eine wichtige Aufgabe sei, die Deutsche Wissenschaft an das Weltniveau anzugleichen, nachdem sie 1935-1945 die wissenschaftliche Führungsrolle (wie er sich ausdrückte) verloren hatte.

In der Rede 1965 lese ich die Aufforderung, sich auf Wichtiges zu konzentrieren: die Arbeitskraft hochqualifizierter Kräfte auf Lappalien (wie Verwaltung) abzulenken sei eine unrationelle Verwendung.

Seine Reden hat er, wie ich höre, stets selbst ausformuliert und seine Gedanken haben darin in einer angenehmen Sprache einen deutlichen Niederschlag gefunden.

Auch akademiepolitisch hat er sich um die Finanzierungsmodi gekümmert und als der Wissenschaftsrat, der ja auch heute nicht sozusagen wie ein heiliges Officium unfehlbar ist, eine falsche Form der Akademiefinanzierung vorschlug, hat Jordan sich energisch immer wieder für die Mischfinanzierung aus Bund und Ländern eingesetzt.

Man merkte dieser Persönlichkeit und diesem Präsidenten an, dass er mit Verstand und Herz tief in der aktiven Wissenschaft angesiedelt war, und aus diesem Fundus hat er für unsere Akademie viel Prägendes geschaffen. Er war ein großer Präsident, weil er in der Wissenschaft stand und Rituale wie Konventionalität offenbar nicht sehr hoch einschätzte. Das zeigen übrigens auch seine Briefe an verschiedene Persönlichkeiten in der Akademie, die nie nur formell sind, sondern immer Substanz enthalten und rasch auf das Thema kommen.

Ich habe Pascual Jordan hier in der Akademie nur zweimal erlebt; aber ich habe als 20-jähriger eine klare Erinnerung an ihn. Im WS 1951/52 hatte Pascual Jordan eine Gastprofessur an der TH Aachen; ich war damals Oberprimaner und habe in dieser Zeit nachmittags seine Vorlesungen in der TH Aachen besucht. Von da ist mir ein unauslöschlicher Eindruck geblieben. Dieser Mann, der nach den ersten Eindrücken mit dem Sprechen zu kämpfen hatte, besass dennoch einen so klaren Ausdruck, dass man seine Schwierigkeiten während des Vortrages völlig vergass. Ich erinnere mich, dass er über die Problematik der Beziehung zwischen wissenschaftlicher und religiöser Erkenntnis sprach. Und unauslöschlich ist mir, wie er von Demokrit her bis zu Lametries „L’homme machine“ ein bestimmtes materialistisch geprägtes Denken der eher religiösen Erfahrung Descartes‘ gegenüberstellte. Pascual Jordan hat mich als Laien damals sehr beeinflusst: er strahlte ein Ethos aus, und das hatte seine große Wirkung. Ich habe natürlich nicht Physik studiert, davon verstand ich nichts, aber Demokrit hat mich beeindruckt. Ich habe niemals vergessen, wie Jordan ihn mir nahegebracht hat.

Meine Damen und Herren, Sie nahezu alle werden heute und an den folgenden Tagen dankbar an Pascual Jordan zurückdenken und seine Wissenschaft bedenken. Auch die Akademie gedenkt dankbar seines Wirkens in dieser Institution; er gehört zu den Männern, von denen viel geblieben ist, auch wenn sie schon lange nicht mehr unter uns sind.

Ich wünsche Ihrem Symposium einen guten Verlauf.

The Historical Development of Matrix Mechanics

Amy A. Fischer
University of Minnesota
Program in History of Science
116 Church Street. S.E. Minneapolis, MN 55455
fish0349@umn.edu

Introduction

Quantum mechanics, a revolutionary theory, says something profound and disturbing about Nature. Its history is no less dramatic. Consequently, an immense, multi-faceted literature exists. One aspect of this discourse explores its conceptual development, the pervading question of interest: what prompted the development of quantum mechanics?

I find the history of this conceptual change fascinating and challenging because of the vast number of primary and secondary sources. Given its complexity, I will not attempt to present a comprehensive study of this field. Rather, I will focus on one aspect of the available literature, the conceptual development of matrix mechanics. Furthermore, instead of asking – what prompted the development of quantum mechanics? – a more specific line of inquiry will guide this discussion. What motivated twentieth-century physicists to change how the world is physically described? In other words, how did our description of the microscopic world develop from classical phase space, in which any point fixes a state of the system by assigning definite values to all of its measurable properties, to Hilbert space, in which any vector fixes a state of the system even though that state no longer assigns definite values to all of its measurable properties? By focusing specifically on the development of this shift from classical phase space to Hilbert space, a conceptual framework will be outlined. It is my hope that this framework will provide both a fresh look at the historical development of quantum mechanics and a good basis for a comprehensive historical narrative, the details of which will be fleshed out in future work.

To this end, four critical papers, published between 1917 and 1925 in the formative, chaotic years of early quantum theory, will be examined:

- 1) Einstein, A. *On the Quantum Theory of Radiation*. (March 3, 1917)¹
- 2) Bohr N., Kramers, H. A. and J. C. Slater, *The Quantum Theory of Radiation* (January, 1924).²
- 3) Heisenberg, W. *Quantum-Theoretical Re-Interpretation of Kinematic and Mechanical Relations* (July 29, 1925).³
- 4) Born, M. and P. Jordan. *On Quantum Mechanics*. (September 27, 1925).⁴

The first half of this paper will provide a brief survey of the Bohr-Sommerfeld model, the problems that befell it and the debate that ensued on how to theoretically describe the interaction of matter and radiation. This discussion, and in particular the radical theory proposed by Bohr, Kramers, and Slater in 1924, had a profound influence on the development of matrix mechanics.⁵

In the latter half of this paper, two crucial articles published in 1925 are analyzed. Heisenberg's re-formulation paper, which introduced what came to be known as matrix mechanics, in conjunction with Born and Jordan's mathematical articulation of matrix mechanics, mark an important step in the conceptual development of quantum theory, away from classical phase space towards Hilbert space.

The Historical Development of Matrix Mechanics: From Classical Phase Space to Hilbert Space

The "old" quantum theory (Bohr-Sommerfeld model) distanced itself from classical theory in two important ways: first, the "old" quantum condition

$$n_i h = \oint p_i dq_i$$

meant that only certain, discontinuous, electron orbits were allowed, unlike in classical theory. For example, in the case of the one-dimensional harmonic oscillator,

Classical Phase Space:

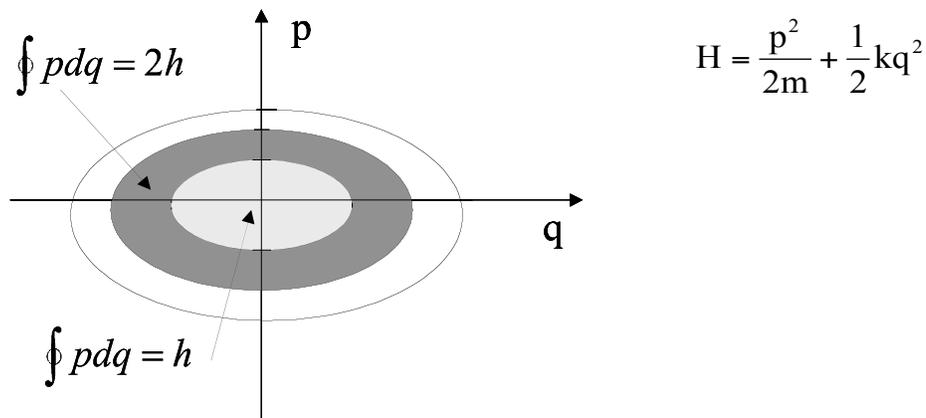


Figure 1: Energy of a simple one-dimensional harmonic oscillator plotted in pq space

the Hamiltonian (H), giving the total energy of the system, can be represented in classical phase space, spanned by the generalized coordinates p and q , as a series of ellipses, where nh denotes the area determined by the surface integral pdq . In figure 1, the darkly shaded area represents the difference between areas $n = 1$ and $n = 2$ respectively.

Bohr's atomic theory of line spectra also introduced two unfamiliar concepts in classical theory: the stationary state, the assumption that a moving electron in a single state will not emit radiation, and the transition, that electrons only emit (or absorb) energy when they

undergo a change in state.⁶ Moreover, the frequency of the emitted radiation was, in general, unrelated to the orbital frequency of either the initial or the final state.⁷

While these theoretical notions led away from classical conceptions, a third tenet of the “old” quantum theory, the correspondence principle – Bohr’s golden rule for transforming a classical system into a quantum system – emphasized that “quantum theory or at least its formalism contains classical mechanics as a limiting case.”⁸ These axioms, under the umbrella of the Copenhagen/Munich physical moral: “matter is what matters”, formed the basis for atomic theory until the early 1920s.

As experimental spectroscopic accuracy increased, however, the “old” quantum theory began to fall apart. Theoretical predictions no longer coincided with experimental outcomes. The observed Helium catastrophe,⁹ the anomalous Zeeman effect,¹⁰ and the Paschen-Back effect (anomalous Zeeman effect in hydrogen) signified that something was wrong with the Bohr-Sommerfeld model.¹¹ It became clear that atomic physicists could not develop a consistent physical description of the stationary state without considering the processes of emission and absorption.¹² Thus, radiation phenomena drew attention to the importance of atomic transitions between quantized states in classical phase space.

How were these transitions understood and described? This depended on whether radiation was a wave or a particle. Einstein in 1905 suggested that radiation was the latter in an attempt to reconcile what he saw as a fundamental inconsistency between the nature of matter, something composed of discrete and finite particles, and light, (a series of) continuous energy waves.¹³ By 1909, he advocated wave-particle duality and in 1917, he proposed that matter and radiation interacted as follows in the schematic representation:

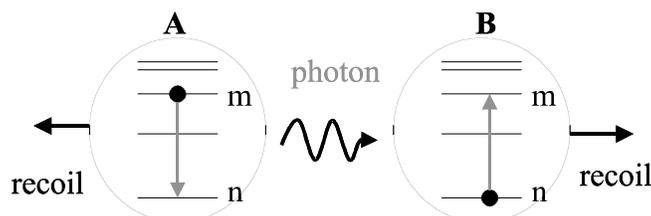


Figure 2: Einstein’s 1917 Theory of Emission and Absorption (our illustration)¹⁴

Suppose atom *A* (the large white circle on the left) has an electron (depicted by the black dot on the line labeled *m*) undergoing a transition (illustrated by the black arrow) from state *m* to a state *n* with lower energy. Atom *A* loses energy in the transition in the amount of $E_m - E_n$. An emitted light quantum of frequency ν carries off the energy ($h\nu = E_m - E_n$) and atom *A* recoils to the left with momentum ($p = -h\nu/c$) equal and opposite to that of the light quantum. Similarly, suppose atom *B* (the large white circle on the right), having an electron (depicted by the black dot on the line labeled *n*) in state *n*, absorbs a light quantum with energy $h\nu$. The electron in state *n* undergoes a transition (depicted by the black arrow) from state *n* to state *m* with higher energy and the atom recoils to the right with momentum ($p = h\nu/c$). Thus, in both absorption and emission processes, energy and momentum are conserved.

Einstein’s theory, hardly accepted by anyone in the physics community, gained authority from experiments performed by Arthur Compton in 1923.¹⁵

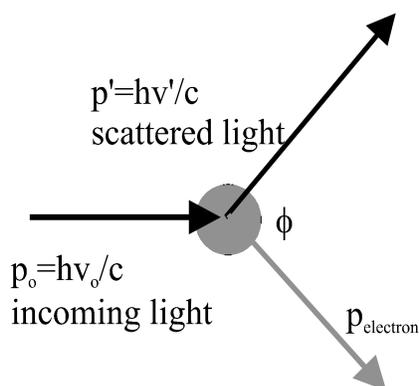


Figure 3: The Compton effect (1923)

Compton observed that the frequency of x-rays (illustrated by the black arrow labeled incoming light) scattered off electrons (depicted by the gray dot) decreased as a function of scattering angle (ϕ). He found that he could account for the effect quantitatively by assuming that x-ray quanta collided with electrons according to the relativistic laws of elastic particle collisions. Both energy and momentum are conserved in these collisions.

Compton's x-ray diffraction experiments convinced most of the physics community that light was composed of particles, but not Niels Bohr. There was more at stake for him than just the preservation of the (highly successful) wave formulation of light.¹⁶ For Bohr nothing mattered as much as the correspondence principle and recent developments, such as Wolfgang Pauli's formulation of the exclusion principle, suggested that, while the correspondence principle was a reasonable postulate in theory, in practice it was difficult, if not impossible, to implement.¹⁷ Yet, Bohr was not willing to give up what he saw as the vital tenet of quantum theory. As he wrote in his *Fundamental Postulates*: "these were true principles of the quantum theory, whereas the energy principle and the implicit principle of visualizability were only principles of the classical theory."¹⁸

Thus, Bohr, along with his young research assistant, H. A. Kramers and J. C. Slater, an American post-doctoral student visiting Copenhagen, devised an abstract (qualitative) theory to explain the interaction of light and matter, to show that it was possible to retain the wave picture of radiation if one modified the concept of atomic structure and sacrificed classical conservation laws.¹⁹ On the surface this theory seemed to go against what the correspondence principle stood for. However, by retaining the notions of continuous radiation (both real and virtual), stationary (real) states and quasi-classical electron orbits (orbits that could be represented by a Fourier expansion of electron position as a statistical function of electron energy), they asserted that the correspondence principle had been satisfied.²⁰ Bohr believed that by assuming that the conservation laws were only statistically valid, he was choosing the lesser of two evils. Their theory, referred to as the BKS theory, represented a radical break from both classical theory and the old quantum theory.²¹

BKS Picture:

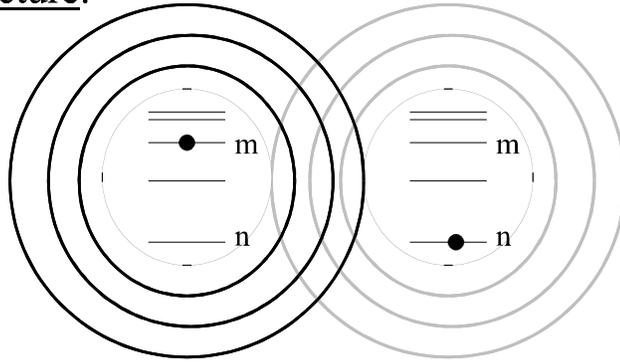


Figure 4: The BKS Picture (our illustration) of emission and absorption (1924)

In the BKS picture, every real atom in a given state had a set of virtual oscillators, one for every possible transition the atom could make from its current state. These “virtual orchestras” emitted waves with amplitudes proportional to the probability that the atom would undergo that transition. For example in figure 4, the atom depicted on the left (inner white circle) has an electron in state m (the black dot located on the line labeled m). The successive black wave fronts, located around this atom, represent the virtual radiation emitted by the virtual orchestras associated with this electron in state m .

Similarly, the adjacent atom to the right has an electron in a lower state n . Because the electron in state n has a different set of possible available transitions than the electron in state m in the left atom, the virtual radiation field of the atom on the right is different from that on the left. This is represented by the gray wave fronts drawn around the atom on the right. Therefore, these two virtual radiation fields can interfere with one another. It is the interaction of these virtual waves with each other and/or real (light) radiation that determines whether or not an electron transition will occur. For example, if waves interfere constructively on the right, the electron in state n will absorb energy, resulting in a transition to state m .

Having established this framework, BKS explained the Compton effect as follows:

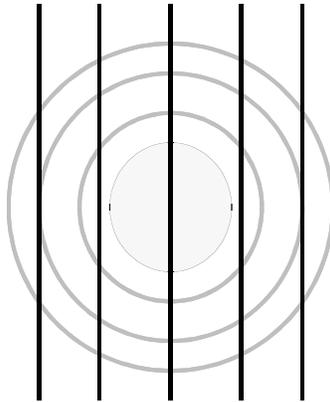


Figure 5: The BKS Explanation of the Compton effect (our illustration)

when an atom (depicted by the center light gray circle) producing virtual radiation (illustrated by the circular gray wave fronts emanating from the atom) was hit by a wave front of x-rays (black lines), the real x-rays and the virtual waves (of the atom) interfered to produce the real, observed, scattered x-rays of the Compton effect. The observed changes in frequency between the incident and scattered radiation were due to the Doppler effect.

Previous attempts to account for the Compton effect using classical theory and the Doppler effect had failed.²² The problem, as Compton himself had shown, had been that the electron recoil velocity obtained from collision laws could not be reconciled with the necessary Doppler effect velocity needed to account for the observed frequency shift in light quantum energy.²³ BKS, however, recovered the observed electron recoil velocity because, in their theory, an electron could move with a velocity different from the velocity of its associated virtual orchestra.²⁴ They not only explicitly assumed statistical conservation of energy and momentum, but also abandoned the classical space-time picture. In the authors' own words:

That in this case the virtual oscillator moves with a velocity different from that of the illuminated electrons themselves is certainly a feature strikingly unfamiliar to the classical conceptions. In view of the fundamental departures from the classical space-time description, involved in the very idea of virtual oscillators, it seems at the present state of science hardly justifiable to reject a formal interpretation as that under consideration as inadequate. On the contrary, such an interpretation seems unavoidable in order to account for the effects observed, the description of which involves the wave-concept of radiation in an essential way.²⁵

Consequently, BKS advocated a radical new description of atomic phenomena; one in which "virtual" radiation, produced by the possibility of any (and all) transitions between available states in an atom, interacted with the "real" world. This was mathematically represented by a Fourier expansion of electron position as a function of electron energy, this energy re-expressed as a statistical function of transition probability.

Thus, as atomic physics strove to theoretically describe radiation processes in matter, it became clear that classical theory could not explain the observed phenomena. Einstein developed a theory describing particle (atom) - particle (light quantum) interaction; Bohr, Kramers and Slater, developed a theory in which real radiation interacted with virtual radiation produced by the atom. While both theories invoked non-classical ways of describing matter-radiation interaction, the BKS theory radically departed from classical physics by proposing the existence of virtual radiation, stressing the importance of the transition in the production of that virtual radiation and assuming that the energy and momentum conservation laws were merely statistical: classical phase space had been abandoned.

In 1924 and early 1925, Bothe, Geiger, Simon and Compton conclusively showed that energy *was* conserved and the BKS theory fell. One way to gauge the influence of the BKS theory is to ask: how had the BKS theory been received? Not surprisingly, given its radical nature, many contemporaries denigrated it. For example, Paul Ehrenfest wrote in a letter to Einstein:

He [Bohr] is much more willing to give up the energy and momentum theorems (in their classical form) for elementary atomic processes, and to maintain them only statistically, than to 'lay the blame on the aether.'²⁶

Einstein responded: "I would rather be ...an employee in a gambling casino."²⁷

More surprising was the praise it received. For example, Heisenberg wrote:

[The BKS paper] represented the real high point in the crisis of quantum theory, and, although it could not overcome the difficulties, it contributed, more than any other work of that time, to the clarification of the situation in quantum theory. [...] [It] was the first serious attempt to resolve the paradoxes of radiation into rational physics.²⁸

Such extreme differences in view provide important historical information.²⁹ Heisenberg, a proponent of BKS, appears to have been strongly influenced by its tenets and subsequently, published two articles utilizing the BKS picture of atom-radiation interaction.³⁰ The first, the result of collaboration with Kramers, one of the authors of BKS, explored the nature of dispersion.³¹ The second, *Quantum-Theoretical Re-Interpretation of Kinematic and Mechanical Relations*, based a new quantum kinematics on transitions between states, as the BKS theory had advocated, rather than the unobservable orbits/stationary states of the past.³²

In Heisenberg's theory, the motion of an electron was still represented by the Fourier transform of the position of the electron as a function of energy, but its energy was now correlated with a particular transition (for example state $n+\tau$ to state n).³³ Thus, while he assumed that the quantum theoretical model would resemble the classical model (through the application of the correspondence principle), he made an important and crucial distinction between the two: in classical theory a state is well-defined, meaning that its frequency (energy level) and momentum are known, whereas quantum mechanically only transitions between states are well-defined (for example, ΔE between two states can be defined).³⁴

Heisenberg's re-formulation also meant that observed spectral frequencies could be represented by quantities with two indices. For example, $\nu_{n,n-\tau}$ corresponds to the resultant frequency of a transition from state n to state $n-\tau$ (emission). Additionally, in working out the electron position as a function of energy and time squared (necessary to calculate electric and magnetic field strengths, solve various oscillator problems, etc.), Heisenberg determined that the commutative law is not always obeyed in quantum theory or, in other words, $x(t)y(t)$ does not always equal $y(t)x(t)$.³⁵

This new kinematics had interesting consequences. With the following constraints:³⁶

$$\ddot{x} + f(x) = 0 \quad \text{and} \quad \oint p dq = \oint m \dot{x} dx = J (= nh) \quad (2)$$

and using the classical expression for the periodic motion, x , of an electron

$$x = \sum_{\alpha} a_{\alpha}(n) e^{i\omega_{\alpha} \alpha t}$$

where $a_{\alpha}(n)$ is the amplitude of the electron's motion, ω is the frequency (or energy) of the electron, n is the principle state or mode and α is a harmonic of n , Heisenberg showed that:

$$m \dot{x} = m \sum_{\alpha=-\infty}^{\infty} a_{\alpha}(n) i \alpha \omega_n e^{i\omega_n \alpha t}$$

and thus,

$$\oint m \dot{x} dx = \oint m \dot{x} dt = 2\pi m \sum_{\alpha=-\infty}^{\infty} a_{\alpha}(n) a_{-\alpha}(n) \alpha^2 \omega_n \quad (3)$$

Furthermore, by re-writing equation 2,

$$\frac{d}{dn}(nh) = \frac{d}{dn} \oint m \dot{x}^2 dt$$

Equation 3 could be expressed as:

$$h = 2\pi m \sum_{\alpha=-\infty}^{\infty} \frac{d}{dn} (\alpha \omega_n |a_\alpha|^2)$$

Taking the derivative with respect to n of the function a , for the transitions $n \rightarrow n+\alpha$ and $n \rightarrow n-\alpha$:

$$\frac{da_\alpha}{dn} = \frac{a(n+\alpha) - a(n)}{(n+\alpha) - n} + \frac{a(n-\alpha) - a(n)}{(n-\alpha) - n} \quad \text{where}$$

$$a(n, n+\alpha) = -a(n+\alpha, n)$$

and expressing the frequency of radiation as a function of electron energy dependent upon n and α :

$$\alpha \omega_n = \alpha \frac{1}{h} \frac{dW}{dn}$$

Heisenberg reformulated the “old” quantum condition in terms of transitions between states and this new multiplicative rule:

$$h = 4\pi m \sum_0^\infty \{a(n, n+\alpha)^2 \omega(n, n+\alpha) - a(n, n-\alpha)^2 \omega(n, n-\alpha)\} \quad (4)$$

This expression, Heisenberg noted, was related to the Thomas-Kuhn sum-rule:

$$\sum f_a - \sum f_e = 1$$

in which the sum of the absorption frequency coefficients minus the sum of the emission frequency coefficients equals a constant.³⁷

This result, as Max Born realized, suggested that the mathematical methods employed in classical theory would not work in this new quantum theoretical model. Moreover, he discerned that matrix methods (linear algebra)³⁸ could be used to describe relations in quantum theory.³⁹ This is illustrated in the following table, where the indices are suggestive of matrix row column notation:

<u>Heisenberg formulation</u> ⁴⁰	<u>Born (Jordan) formulation</u> ⁴¹
$x(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} a_\alpha(n, n+\alpha) e^{i\omega_{n, n+\alpha} t}$	$q_{nn'} = a_{nn'} e^{i\omega_{nn'} t}$
$p = m\dot{x} = m \sum_{-\infty}^{\infty} \dot{a}_\alpha(n, n+\alpha) e^{i\omega_{n, n+\alpha} t}$	$p_{nn'} = m \frac{dq_{nn'}}{dt}$

Excited, Born began to re-work Heisenberg’s theory in terms of matrices. While discussing some of the difficulties of this approach with a colleague on a train to Hannover, a student sitting nearby, Pascual Jordan, overheard and expressed an interest in Born’s work.⁴² The two became collaborators. Only two months later, Born and Jordan published the first consistent theory of quantum mechanics based on linear algebra.⁴³

On *Quantum Mechanics*, broken into four distinct chapters, introduced a series of new ideas: 1) the result of the commutator relation $[p, q]$, 2) a proof that this new mathematical formulation guaranteed that energy was conserved, 3) showed that the matrix representation of the electromagnetic field was quantized, and 4) based upon this quantization, justified

Heisenberg's assumption that transition probabilities were determined by the squares of the absolute values of the elements in the matrix representing the electrical moment of an atom.⁴⁴ Rather than going through each of these points in detail, let us turn to one of the most important and accessible results from the paper, the result of the commutation relation: $[pq-qp]=h/2\pi i$

From Hamilton's canonical equations:

$$\dot{q} = \frac{dH}{dp} \quad \text{and} \quad \dot{p} = -\frac{dH}{dq}$$

And the Fourier expansions of p (generalized momentum) and q (generalized coordinates) in terms of the energy difference, ν , between states n and τ :

$$p = \sum_{\tau} p(n, \tau) e^{2\pi i \nu(n, \tau) t} \quad \text{and} \quad q = \sum_{\tau} q(n, \tau) e^{2\pi i \nu(n, \tau) t}$$

Born and Jordan showed that the quantum condition:

$$nh = J = \oint p dq = \int_0^{1/\nu} p \dot{q} dt$$

may be re-expressed as:

$$nh = -2\pi i \sum_{\tau} \tau p(n, \tau) q^*(n, \tau) \quad \text{or that} \quad \frac{h}{2\pi i} = -\sum_{\tau} \tau \frac{\partial}{\partial n} p(n, \tau) q^*(n, \tau)$$

Taking the derivative of the right hand side, this reduces to the relation:

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} 1 \tag{5}$$

where 1 is the unit matrix, a much "cleaner" expression of Heisenberg's re- formulation given above (see equation (4)).⁴⁵

This equation is significant. It is clear that p and q can no longer have simultaneously well-defined values.⁴⁶ They do not commute. In the re-formulation of q and p , each function has been represented as the Fourier transform of a transition amplitude and the energy of a transition, not as a function of a stationary state. As such, the relation $[pq-qp]=h/2\pi i$ reflects having formulated the theory in terms of transitions between states, not in terms of states themselves.

Thus, despite its failure, the BKS theory influenced Heisenberg's re-formulation of quantum theory with the transition taking center stage in the new theory. In translating classical mechanics into quantum theory, Heisenberg discerned that not all physical quantities commute. Thus, as Born and Jordan realized, this important and striking mathematical feature was expressed easily in terms of linear algebra. This re-formulation of quantum theory signified the demise of classical phase space: $pq-qp$ did not equal zero.

At first, this result – the noncommutativity of kinematic variables – was believed to be an obstacle to the algebra-based quantum mechanics. Contributions by P. Dirac, E. Schrödinger,

P. Jordan, and others, however, illustrated that this unexpected outcome could be understood and represented not only algebraically, but also in terms of a new geometry. This new geometry, Hilbert Space, re-defined the relationships between objects in space, such as points and lines, in terms of a system of complex variables. Through this formalism physicists were able to represent individual states again rather than focusing on the transitions between states.

While the remaining details of this narrative, from noncommutativity to Hilbert space, must be worked out, an initial conceptual framework has been built. As atomic physics endeavored to describe the interaction of matter and radiation, classical theory slowly gave way to quantum theory: Einstein developed a theory involving particle (atom) - particle (light quantum) interaction and Bohr, Kramers and Slater developed a theory in which real radiation interacted with virtual radiation produced by the atom. Both theories invoked non-classical ways of describing matter-radiation interaction.

The BKS theory radically departed from classical theory by proposing the existence of virtual radiation, emphasizing the role of the transition in the production of that virtual radiation and assuming that the laws of energy and momentum conservation were merely statistical. By adopting this picture of atomic phenomena, BKS abandoned classical phase space.

Heisenberg, influenced by BKS, re-formulated quantum theory in terms of transitions. In translating classical mechanics into quantum theory, Heisenberg realized that not all physical quantities commute. Moreover, by re-expressing the Bohr-Sommerfeld quantum condition (classical phase space) in terms of this new kinematics, he showed that it had a surprising counter-part in the Thomas-Kuhn sum rule, namely that the sum of absorption frequency coefficients minus the sum of the emission frequency coefficients equals a constant. Thus, as Born and Jordan realized, this important and striking mathematical feature, the result of noncommutativity, was expressed easily in terms of linear algebra. As a result of this re-formulation, classical phase space was forsaken and eventually superseded by Hilbert space.

Thus, by asking a specific question – how did our description of the microscopic world develop from classical phase space to Hilbert space? – and using it as a guide, I hope I have developed an interesting narrative and a compelling, initial framework for future work. By re-phrasing the questions we ask, I believe we can gain further insight into the history of quantum mechanics.

Notes

¹ Einstein, Albert. "On the Quantum Theory of Radiation." (March 3, 1917). Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967. pp. 63-78

² Bohr, N., Kramers, H. A. and J. C. Slater, "The Quantum Theory of Radiation" (January, 1924). Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967, pp. 159-176

³ Heisenberg, W. "Quantum-Theoretical Re-Interpretation of Kinematic and Mechanical Relations" (July 29, 1925) Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967. pp. 261-276

⁴ Born, M. and P. Jordan. "On Quantum Mechanics." (September 27, 1925). Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967. pp.277-306

⁵ Recent, exciting work by Anthony Duncan and Michel Janssen has argued, since this presentation, that the BKS theory was one solution to the larger historical problem of how to describe and understand radiation dispersion. Please see Duncan, A. and M. Janssen. "On the Verge of *Umdeutung* in Minnesota: Van Vleck and the Correspondence Principle", July 3, 2006, Preprint available electronically at <philsci-archive.pitt.edu>

⁶ Bohr, N. "On the Quantum Theory of Line Spectra" (April 27, 1918). Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967. pp.95-137

⁷ Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967. "Introduction", pp.5-7

⁸ Darrigol, O. *From C-numbers to Q-numbers: The Classical Analogy in the History of Quantum Theory* Berkeley: University of California Press, 1992, pp.139-140, 143-144: Sommerfeld greatly disliked the Correspondence Principle and the physical emphasis Bohr placed on it.

⁹ Darrigol, 1992, p.175: In 1922 H.A. Kramers, a young research assistant to Neils Bohr, and John H. Van Vleck, an even younger PhD student at Harvard University, independently derived the theoretical ionization potential for Helium using Bohr's theory of atomic structure. Their results disagreed with experimental results. "Helium was the half-hidden paradigm of Bohr's second theory of atomic structure." Recent work by Duncan and Janssen discusses Van Vleck's important role in the development of quantum mechanics. Please see Duncan, A. and M. Janssen. "On the Verge of *Umdeutung* in Minnesota: Van Vleck and the Correspondence Principle", July 3, 2006, Preprint available electronically at <philsci-archive.pitt.edu>

¹⁰ It had long been known that if an external magnetic field was applied to a system of atoms (with few electrons), the observed spectral lines split into multiple closely spaced lines of slightly different frequency. When a magnetic field was applied to atoms with multiple electrons, however, spectral lines split into more lines than expected. These deviations in spectral structure became known as the "anomalous Zeeman effect" and could only be explained through the addition of a fourth quantum number, spin. Once spin was included in the total angular momentum expression, a consistent picture of multi-electron atoms was obtained.

¹¹ The Paschen-Back effect illustrated that there were problems with the then current understanding of the hydrogen atom, a one-electron system, when splitting (due to the anomalous Zeeman effect) was shown to occur in hydrogen as well (what is now referred to as the hydrogen fine structure). Adding to the confusion was the belief that the observed fine structure of hydrogen and the complex spectral structure of multi-electron atoms had different origins.

¹² Mehra, J. and H. Rechenberg. *The Historical Development of Quantum Theory* New York: Springer-Verlag, 1982-2001, Vol. 3, p.170

¹⁴ Einstein, A. "Concerning a Heuristic Point of View about the Creation and Transformation of Light" (1905). Translation with introduction in: John Stachel (ed.), *Einstein's Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics*. Princeton: Princeton University Press, 1998, p. 177: "A PROFOUND formal difference exists between the theoretical concepts that physicists have formed about the gases and other ponderable bodies, and Maxwell's theory of electromagnetic processes in so-called empty space... According to Maxwell's theory, energy is considered to be a continuous spatial function for all purely electromagnetic phenomena, hence also for light, whereas according to the present view of physicists, the energy of a ponderable body should be represented as a sum over the atoms and electrons."

¹⁴ Einstein, A., 1917, (See reference 2) pp. 63-78

¹⁵ Compton, A. R. "A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements" (1923). Reprinted in Spencer R. Weart (ed.), *Selected Papers of Great American Physicists*. New York: American Institute of Physics, 1976. pp. 152-171

¹⁶ Jammer, Max. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* 2nd edition. New York: American Institute of Physics, 1989, p.181: "It was hard to understand how, for example, in a system composed of an electromagnetic radiation field, susceptible to only continuous changes in energy, and an aggregate of atoms, emitting or absorbing only discrete quanta of energy, the sum total of a continuous and of a discrete amount of energy could be a constant. Viewed from this angle, Einstein's conception of discrete light quanta, by which he explained the energy balance for the interaction between matter and radiation, was essentially a re-definition of energy. But there was an alternative: one could reject the energy principle as an exact law and regard it instead as merely a statistical law."

¹⁷ Darrigol, 1992, p.212: "[Pauli] interpreted his exclusion principle as pointing to a major failure of the correspondence principle and believed that this principle would be of no avail until the quantum theory should be purged of all classical prejudices and grounded on purely quantum-theoretical notions."

¹⁸ Darrigol, 1992, p.216

¹⁹ Bohr, Kramers, and Slater, 1924, (see reference 3)

²⁰ Darrigol, 1992, p.219: "The essential characteristic of the resulting conception was "the connection of the spontaneous radiation with the stationary states themselves and not with the transitions," as Bohr noted in a letter to Slater, with the comment: "Especially I felt it was more harmonious from the point of view of the correspondence principle." This radiative activity of stationary states saved indeed a good part of the continuity found in classical electrodynamics. With the outstanding exception of sudden switches of the field's sources (corresponding to the quantum jumps), a space-time description of radiation processes seemed to be possible."

²¹ Bohr, Kramers, and Slater, 1924, (see reference 3): The BKS theory postulated that the atom could be thought of as a conglomeration of real and virtual oscillators, the virtual oscillators producing a virtual radiation field that could permeate through space. Whether light is absorbed or emitted, depends strictly on the amplitude of this radiation field at the time of interaction.

²²Compton, 1923, (see reference 16); Stuewer, Roger. *The Compton Effect: Turning Point in Physics*. New York: Science History Publications, 1975. p.290: Wilson, Bauer, Försterlin and Halpern first proposed this idea in 1923-1924.

²³ Compton, 1923, (see reference 16); and Stuewer, 1975, p.290

²⁴ Bohr, Kramers, and Slater, 1924, (see reference 3): pp. 173-174

²⁵ Bohr, Kramers, Slater, 1924, (see reference 3): pp. 173-174

²⁶ Personal correspondence, Paul Ehrenfest to A. Einstein, dated January 1922

²⁷ Klein, M. J. "The First Phase of the Bohr-Einstein Dialogue." *Historical Studies in the Physical Sciences* 2 (1970): 1-39, p.32

²⁸ Klein, M.J., 1970, p.37

²⁹ For example see Beller, Mara. *Quantum Dialogue: The Making of a Revolution*. Chicago: University of Chicago Press, 1999; Darrigol, 1992, p.254: Bohr was a zealous, verbose, charming, and undoubtedly influential physicist. Many contemporaries referred to him as "father figure." Even Wolfgang Pauli, who challenged Bohr on many occasions and had been highly critical of the BKS Theory, wrote after its refutation: "Physics at the moment is again very muddled; in any case for me it is too complicated, and I wish I were a film comedian or something of that sort and had never heard of physics. Now I do hope nevertheless that Bohr will save us with a new idea." Beller, 1999, p.270-271: The attitude Pauli exhibits in this statement is typical of those who worked closely with Bohr. This type of "hero worship" played a strong role in the development of physics and, moreover, as Mara Beller has argued, has even colored our historical understanding of the events in the 1920s. In her words, "one cannot overestimate the impact of the authority figure in the evaluation and acceptance of ideas." This raises an interesting and difficult question: how do we untangle Bohr's influence from 'Bohr worship' in what actually transpired in those formative years?

³⁰ BKS further motivated a series of technical works on the nature of dispersion. For example see: Kramers, H. A. and W. Heisenberg. "On the Dispersion of Radiation by Atoms" (January 5, 1925). Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967, pp.223-252; Kramers, H. A. "The Law of Dispersion and Bohr's Theory of Spectra" (March 25, 1924) Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967, pp. 177-180; and Born, M. "Quantum Mechanics" (June 13, 1924) Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967, pp.181-198

³¹ Exciting work by Anthony Duncan and Michel Janssen, since this presentation, has argued that the discovery of matrix mechanics depended on even earlier applications of the correspondence principle to matter-radiation interaction problems, such as John Van Vleck's important 1924 article in which he developed quantum expressions for the absorption, emission and dispersion of radiation. They demonstrate the importance of the history of dispersion theory to the development of matrix mechanics and, more specifically, examine its relationship to the BKS theory and Heisenberg's *Umdeutung* paper. Please see Duncan, A. and M. Janssen. "On the Verge of *Umdeutung* in Minnesota: Van Vleck and the Correspondence Principle", July 3, 2006, Preprint available electronically at <philsci-archive.pitt.edu>

³² Heisenberg, 1925, (see reference 4), pp. 261-262

³³ Kramers and Heisenberg, 1925, (see reference 31): p.224: "Based on classical electrodynamics, [...], one imagines that electrons which are quasi-elastically bound in the atom can execute harmonic oscillations about an equilibrium position, and that these electrons are made to resonate by the electric forces in the radiation field. [...] We are [however] faced with the problem of describing the scattering and dispersion effects of the atom in terms of the quantum-theoretical picture of atomic structure. According to this picture [the BKS theory], the appearance of a spectral line is not linked with the presence of elastically oscillating electrons, but with transitions from one stationary state to another... the assumption [is] that the reaction of the atom to the radiation field should primarily be understood as a reaction of an atom existing in a given stationary state... [and] that transitions between two stationary states are of very short duration, and that the detailed nature of these transitions will not play any role in the description of the optical phenomena."

³⁴ Heisenberg, 1925, (see reference 4), pp. 262-266

³⁵ Heisenberg, 1925, (see reference 4), p. 266

³⁶ Heisenberg, 1925, (see reference 4), pp. 266-268

³⁷ Heisenberg, 1925, (see reference 4), p. 268; Kramers, 1924 (see reference 31), pp.178-179; and Kuhn, W. "On the Total Intensity of Absorption Lines Emanating from a Given State" (May 14, 1925) Reprinted in Van der Waerden, B. L. *Sources of Quantum Mechanics*. New York: Dover Publications. 1967, pp. 253-257 and Van der Waerden, 1967, *Introduction*, p.18

³⁸ Jammer, 1989, pp. 206-207: "Prior to 1925 matrices had rarely been used by physicists. Notable exceptions were Mie's nonlinear electrodynamics and, interestingly, Born's work on the lattice theory of crystals."

³⁹ Mehra and Rechenberg, 1982, Vol. 3, p. 5

⁴⁰ Notation is taken directly out of Heisenberg, 1925, (see reference 4), p. 267

⁴¹ Notation taken out of Mehra and Rechenberg, 1982, Vol. 3, p. 10

⁴² For information on how Born and Jordan became collaborators, please see the *Archive for the History of Quantum Physics* (AHQP): AHQP, Born Interviews: conducted by P. P. Ewald, pp. 8-9, June 1960 {For more information on the AHQP, please visit:

<http://www.amphilsoc.org/library/guides/ahqp/index.htm>} and/or Jammer, 1989, p. 209 and Van der Waerden, 1967, "Introduction", pp. 36-37

⁴³ Mehra and Rechenberg, 1982, Vol. 3, p. 12

⁴⁴ Van der Waerden, 1967, "Introduction", p. 38

⁴⁵ A complete derivation may be found in Jammer, 1989, pp. 209-210 and Darrigol, 1992, pp. 278-279 (note this is a partial derivation)

⁴⁶ Or, more explicitly the old quantum condition, $nh = \oint pdq$ where $E_{\text{total}} = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}kq^2$,

implied that the area in phase space (plotting p as y, q as x) was a constant

Pascual Jordan's Role in the Creation of Quantum Field Theory

Jürgen Ehlers
Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut)
Am Mühlenberg 1, D 14476 Golm

*Whenever we look back at the development of physical theory
in the period between 1925 and 1930
we feel the joy and the shock of the miraculous.*

Rudolf Haag¹

1 Introduction

According to Olivier Darrigol, “Pascual Jordan contributed more than anybody else to the birth of quantum field theory” [1].

In this paper I intend to review Jordan's seminal contributions to the beginnings of quantum field theory during the years 1925 to 1928, which was one of the most productive time spans in the history of physics, and in particular, in Jordan's scientific life.

Before entering into the details of the subject, I will state some theses to highlight Jordan's part. Being neither a historian of science nor a quantum field theorist – my fields are general relativity and cosmology – I cannot claim that these statements adequately express the guidelines of Jordan's thinking about the subject, but from my reading of the original papers and of the historical accounts of O. Darrigol [1] and S. Schweber [2] it appears to me that these theses provide at least a useful perspective for understanding and assessing Jordan's work.

They are:

1. While the idea of “wave quantization” (Wellenquantelung) was due to Louis de Broglie (1923), it was Pascual Jordan who most consistently championed and elaborated it.
2. “Jordan borrowed from Einstein and de Broglie a most important heuristic principle: light and matter had to be represented by analogous concepts” [1].

¹in Heisenberg, W., *Collected Works*, Series AII, Springer, Berlin (1989) p.3

3. Whereas Paul Dirac considered particles as the constituents of all matter, Jordan took quantum fields as the basic physical entities. According to him, particle-like phenomena arise as consequences of quantum kinematical properties of fields.
4. Jordan seems to have been the first to conceive of quantum field theory as based solely on quantum principles rather than on classical “crutches” such as Lagrangian fields subject to quantization [3]. (See Bert Schroer’s contribution [4]).

In this article I shall outline what I consider Jordan’s most important contributions to the origin of quantum field theory. They are

- the application of Werner Heisenberg’s re-interpretation rule to field variables and the attempt to derive transition probabilities from the interaction between fields and particles (section II);
- the recognition that the existence of light quanta, their statistic and fluctuations follow if the normal modes of radiation are quantized (section III);
- the establishment, with Oskar Klein, of a (non-relativistic) field theory for charged Bosonic matter with Coulomb interaction (section V);
- the creation, in collaboration with Wolfgang Pauli, of the first Poincarè-invariant quantum field theory, the free photon field, with its distributional commutation “function” (section VI);
- the introduction, with Eugen Wigner, of anti-commuting creation and annihilation operators to quantize Fermi fields (section VII).

Section IV refers to the time between the early attempts to quantize fields and the systematic papers concerned with what has unfortunately been called second quantization. The headings of the last three sections give the submission dates of the corresponding papers and highlight the rapidity of the development. Jordan’s later contribution to QED, though original and anticipating later developments, did not influence the evolution of the subject as significantly as those reviewed here, and will not be covered. (See Schroer’s contribution.)

2 Matrix electrodynamics and transition probabilities

The very first mathematical formulation of matrix mechanics goes back to Max Born and Pascual Jordan [5]. Following Werner Heisenberg, these authors assumed that the (stationary) quantum states of a system (labelled $n = 0,1,2,\dots$) correspond to the elements of the diagonal energy matrix H and that their

energy values E_n are the diagonal elements. Following Heisenberg, they also assumed, that the absolute squares $|q_{nm}|^2$ of the elements of the matrix q representing a Cartesian coordinate should determine the probabilities for quantum jumps $n \rightarrow m$. The last chapter of the paper, conceived by Jordan, was intended to outline in a preliminary way how this assumption can be obtained on general grounds. According to Jordan it requires a quantum-mechanical re-interpretation of the equations of electrodynamics.

Announcing a more elaborate treatment “which will discuss above all the relation of the theory indicated here to the theory of light quanta”, Jordan then turns to electromagnetic laws which can be obtained without use of the exact form of the quantum conditions for systems of several degrees of freedom. Since Maxwell’s equations are linear, electromagnetic radiation in a cavity can be represented as a system of infinitely many uncoupled harmonic oscillators, and for such oscillators energy conservation follows from the equations of motion without use of commutation relations. Therefore, Jordan continues, it is to be expected that the integral conservation laws for energy and momentum can be derived within vacuum matrix-electrodynamics without regard to quantum conditions. “Showing this will enable us to establish Heisenberg’s claim concerning the meaning of the $|q_{nm}|^2$ ”.

Jordan then derives *local* conservation for free *matrix-valued* electromagnetic fields. In passing, he remarks that one must be prepared to use multi-indices taking continuous values, ideas which were soon introduced, but not in the paper under review. This derivation works, provided products such as $E_y H_z$ are symmetrized, $E_y H_z \rightarrow \frac{1}{2}(E_y H_z) + (H_z E_y)$, so that physical quantities get hermitean representatives. The calculation is easy, nevertheless *this was the first step into the world of quantum fields*.

In this context Jordan adds a most remarkable footnote: “Under some circumstances a different conception of the electromagnetic field is needed, according to which the spatial coordinates themselves [as arguments of the field] appear not as numbers, but rather as matrices; that requires a corresponding change of the meaning of the spatial derivatives in Maxwell’s equations. We shall return to this in the continuation of this work.” Not surprisingly, this continuation never appeared. The remark hints at the possibility of having to quantize spacetime itself with some non-commutative geometry, a challenge for ongoing research.

The next aim was to calculate the emission of radiation by an oscillator. Following again the classical theory, Jordan wrote down the retarded field of an oscillator, regarding the components of the field and of the electric dipole moment as matrices all carrying the same indices as if they referred to a single degree of freedom, apparently forgetting his earlier remarks about multi-indices. Formally this led to the Larmor-Hertz formula

$$P = \frac{2e^2}{3c^3} \overline{\dot{q}^2}$$

for the radiated power P in which q was interpreted as the position matrix of a one-dimensional oscillator. This gives, for the power emitted from the n^{th} state

of the oscillator,

$$P_n = \frac{32\pi^4 e^2}{3c^3} \sum_{m=0}^{\infty} \nu_{nm}^4 |q_{nm}|^2.$$

(Recall $\omega = 2\pi\nu$.) Jordan realized, of course, that this result is wrong, but at this stage he did not have the means to give a correct derivation. Neither did he give up, however. He summed the contributions over all states n , reordered the (divergent) double sum as

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = \frac{64\pi^4 e^2}{3c^3} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{n-1} \nu_{nm}^4 |q_{nm}|^2$$

and “read off“ as the emission from state n to all lower states m the (convergent) expression $\sum_{m=0}^{n-1} \dots$. This result shows how Einstein’s transition probability per unit time for spontaneous emission, A_{nm} , depends on $|q_{nm}|^2$. It has been obtained without explicit use of the correspondence principle. In spite of its shortcomings, this “derivation” sharpened quantitatively Heisenberg’s interpretation of the matrix elements q_{nm} . (A consistent derivation along the lines of Jordan’s attempt is contained in [6].

Jordan ends the paper with an observation of principal importance: The expression for the transition probabilities is valid for degenerate as well as non-degenerate states. Hence, all quantum states have to be given the same statistical weights, and he adds: "This result, generalized to systems with several degrees of freedom, will be shown to lead 'by itself' to the Bose-Einstein light quantum statistics".

3 Fluctuations in cavity radiation

In chapter 4, §3 of the Born-Heisenberg-Jordan “Three-Men’s-Paper”[7], the last and longest paragraph of this fundamental work, Jordan returns to the problem of treating the radiation field quantum mechanically. He considers the simplest systems with several degrees of freedom for which a formalism had just been set up, viz. systems of uncoupled harmonic oscillators, such as ideal elastic solids and electromagnetic radiation enclosed in a cavity with perfectly reflecting walls. This last case is of special interest „because it may provide insight into the nature of light quanta“. The quantum states of such a system can be labelled by sequences of non-negative integers which specify the states of the oscillators and determine the energy eigenvalues.

Jordan again asserts that these energy eigenstates are to be considered a priori equally probable microstates of the system. He compares this general assumption of quantum theory with earlier prescriptions by Wolfgang Pauli, Paul Ehrenfest, Peter Debye and others dealing with distributions of individual light quanta over phase space cells, and he pronounces: “Such a mixture of wave-theoretical and light quantum concepts appears to us hardly to correspond to

the essence of the problem. We would rather believe that one should consistently separate the wave-theoretical side of the problem from the light quantum theory and treat the wave-theoretical statistics of cavity radiation throughout according to the general quantum statistical laws which hold, e.g. for systems of atoms. As we shall show, the Bose statistic for light quanta then follows. This result does not seem unnatural since here [in this derivation] this statistic has nothing to do with the assumption of independent light corpuscles, but is to be understood as a reformulation of the normal mode statistic. This only shows that the assumption of statistically independent light corpuscles misses the point.” I quote this longish and repetitive passage because it well illustrates Jordan’s viewpoint as different from Heisenberg’s and Dirac’s. It also shows that Jordan was the first physicist to recognize that “Bose-Einstein statistic” is not a new kind of statistic but a new kind of state-assignment to physical systems. (In passing I mention that Jordan was also the first to discover “Fermi-Dirac statistic”, but due to unfortunate circumstances his paper on this subject was never published.²)

Jordan then turns to one of his favorite subjects, energy fluctuations. The energy of quasimonochromatic radiation with a frequency band $\nu \pm \Delta\nu/2$ enclosed in a cavity will, on average, be distributed uniformly, but the energy contained in a small subvolume v of the cavity will fluctuate. Let \bar{E} denote the time average of the energy in v , $\overline{\Delta E^2} = \overline{(E - \bar{E})^2}$, the mean energy fluctuation in v , and $z_\nu = 8\pi\nu^2\Delta\nu v/c^3$ the number of modes (Eigenschwingungen) in v in the specified frequency range. Then, according to Einstein [8],

$$\frac{\overline{\Delta E^2}}{\bar{E}^2} = \frac{h\nu}{\bar{E}} + \frac{1}{z_\nu}. \quad (1)$$

No other formula exhibits as vividly as this one the non-classical, non-intuitive nature of radiation: The first term on the right hand side gives the obvious fluctuation of $\bar{E}/(h\nu)$ independently and randomly distributed light quanta $h\nu$, derived by Einstein already in 1905, while the second one gives the (not so obvious) amplitude fluctuations of classical waves due to interference between their monochromatic components, derived by Hendrik Antoon Lorentz in 1916. The presence of *both* terms proves that light consists neither of particles nor of waves. It was therefore a challenge to find out whether this formula follows from the new quantum theory applied to radiation.

In his attempt to derive (1) *dynamically*, without use of thermostistical assumptions, Jordan, for the sake of simplicity, considered a one-dimensional model instead of three-dimensional cavity radiation. He took an elastic string of length l with fixed endpoints (or, equivalently, a one-dimensional real, massless scalar field with wave speed $c = 1$ enclosed in a one-dimensional “box”, $0 \leq x \leq l$). He expressed the energy density $\frac{1}{2}(\dot{u}^2 + u'^2)$ of the field in terms of the Fourier coefficients ($k = 1, 2, \dots$) $q_k(t) = \frac{2}{l} \int_0^l u(x, t) \sin(\frac{k\pi}{l}x) dx$ and their

²see Nancy Greenspan: *Max Born, Baumeister der Quantentheorie*, Heidelberg 2005, p. 144

canonically conjugate momenta $p_k = q_k/2$ and required their quantized versions to obey the canonical commutation relations

$$[p_j, p_k] = 0, [q_j, q_k] = 0, [p_j, q_k] = -i\hbar\delta_{jk} \quad (2)$$

which had just been set up³ by Born, Heisenberg, Dirac, Pauli, Weyl and himself. On this basis he computed the total energy H , the energy $E(t)$ contained in the sub-“volume“ $0 \leq x \leq a < l$, its mean value, its time average \overline{E} and its mean squared fluctuation $\overline{\Delta^2}$. This computation was done formally, i.e. without regard to convergence. The resulting formal expression for the diagonal matrix $\overline{\Delta^2}$, depends only on the two lengths a, l and Planck’s constant h . (In Jordan’s units, h is a squared length.) Next, the values of the average fluctuations and energy in a quantum state $n = n_1, n_2, \dots$ of the string are computed.

To evaluate the formidable expression $\overline{\Delta^2}_n$, Jordan considers the limiting case of an infinitely long string with a continuous spectrum. He realizes that the ratios $\overline{\Delta^2}_n/a$ and \overline{E}_n/a approach limits if $l \rightarrow \infty$, which seems very reasonable physically. Both limits can be written as integrals over all frequencies, i.e. they provide *spectral densities* for $\overline{\Delta^2}_n/a$ and \overline{E}_n/a ; they depend on the “occupation number densities n_ν ” of the state n .

Choosing, as the final step, a state in which the n_ν differ from zero only in a narrow interval $\Delta\nu$, in accordance with the assumption underlying the formula to be derived, the result (1) can, in fact, be read off from the spectral densities.

In the years I knew him, Jordan rarely talked about his early work. On a few occasions, however, he did tell me that he was especially proud of having derived Einstein’s fluctuation formula (1) by quantizing a field. Once he handed me a handwritten list with some of his books and articles with some casual remarks. To the Three-Men’s Paper he had added: “Die neue Theorie läßt *nicht* mehr die Lichtquanten als zusätzliche Hypothese erscheinen, sondern liefert für die Schwankungserscheinungen der Strahlungsenergie von selber die Einsteinschen Formeln, aus welchen dieser die Existenz der Lichtquanten als Interpretation dieser Formeln erschlossen hat.” His satisfaction is also apparent from the sentence following his derivation: “If one bears in mind that the question considered here is actually somewhat remote from the problems whose investigation led to the growth of quantum mechanics, the result [here (1)] can be regarded as particularly encouraging for the further development of the theory.”

I would like to add some comments on Jordan’s treatment of fluctuations.

Looked at closely Jordan’s derivation at once exhibits divergence difficulties of quantum field theory. First, the operators H and E used formally by Jordan (as well as in Born and Jordan (1930) [10] and in Jordan (1936) [11] are not well defined since they contain the infinite zero-point energy $\sum h\nu_j/2$ of the oscillators. Dropping this part from the energies, which is necessary to start the argument meaningfully and to give a finite value to the energy \overline{E} which

³For one degree of freedom, the canonical commutation relation was guessed by Born and firmly supported shortly afterwards by Jordan. The general relations for several degrees of freedom were discovered independently by Dirac, Heisenberg, Pauli, and Weyl. See, e.g., [9].

appears in (1), eliminates that difficulty, but even for the “renormalized” energy the fluctuation $\overline{\Delta^2}$ turns out to be infinite even in the vacuum state. This can be seen by inspecting eq.(13) in Born and Jordan, p.395. Strangely enough, this divergence disappears when one, following Jordan, “approximately evaluates” the discrete sums by integrals, taking consecutively the limits $l \rightarrow \infty$, $a \rightarrow \infty$; Jordan thus got his finite, final result in a tricky, but mathematically incorrect way.

A physically motivated way to change the computation of $\overline{\Delta^2}$ such that it gets a *finite* value has been devised by Heisenberg [19]; it improves Jordan’s treatment without changing the main point discussed above.

The vacuum energy problem of quantum field theory which showed up already in this example is one of the obstacles on the way to the combination of general relativity and quantum theory; it is related to the much debated cosmological constant problem. No satisfactory solution seems to be known.

4 Prelude: Jordan’s efforts to create a quantum field theory for matter and radiation.

As reviewed in the last two sections, Jordan was the first to describe a field with spatially localizable properties like energy density as a quantum system with infinitely many pairs of canonically conjugate variables. He did not immediately pursue his profound idea that quantized fields ought to represent matter as well as radiation because of criticism from Einstein and Smekal and the skeptical attitudes of Heisenberg, Pauli and Born (see [1] for details).

Moreover, the difficulty of reformulating a theory of several fermions in field-theoretical language appeared to be unsurmountable.

The situation improved gradually between the summer of 1926 and February 1927. First, the chance to overcome the last-mentioned difficulty increased when Dirac [13] in August 1926, showed on the basis of Schrödinger’s wave mechanics how a system of non-interacting, indistinguishable, massive or massless particles can be described in a multi-dimensional configuration space by using either symmetric or antisymmetric wave functions, corresponding to Bose-Einstein or Fermi-Dirac statistic, respectively, and derived their thermal equilibrium properties including spatially uniform thermal fluctuations.

Next, extending ideas of Born and Pauli, Dirac [14] and Jordan [15] independently created, in December 1926, a general theory of probability amplitudes and quantum-theoretical, statistical predictions combined with effective formalisms to apply them (“transformation theory”).

Then came what is generally considered the most important step. In February 1927 Dirac [16] used his transformation theory to show that the interaction between an atom and a radiation field can be described within quantum theory by i) quantizing a free, non-interacting radiation field in essentially the way in which Jordan had quantized his string, ii) coupling the atom to the radiation by adding an interaction energy taken from classical theory and iii) using his

interaction picture to compute, perturbatively, the action of radiation on the atom and the reaction of the atom on radiation. In his approach the atom is described throughout quantum mechanically, with quantized particles variables.

In contrast, as Dirac elaborated, the radiation can be described either as a system of noninteracting *particles* – photons, as he had established previously, or as a *quantum field*, obtainable by “second quantizing” the Schrödinger equation for one such particle and substituting for the amplitudes of its states Bosonic annihilation and creation operators. The procedure works, since, as had been stressed by Jordan before, Bose statistics is implied by treating the normal modes of a linear mechanical system quantum mechanically. The wave description, however, is superior to the particle description on several counts: It contains the particle- and wave aspects of radiation, it maintains the relation with the successful classical Maxwell theory, it provides (by correspondence) the interaction energy, and it allows for variable particle numbers. Almost as a by-product, Dirac derived the transition probabilities for emission and absorption of radiation by atoms, thus carrying out what had been attempted by Born and Jordan.

Encouraged by Dirac’s success Jordan intensified his efforts to create a field theory for radiation *and* matter. For Dirac, the field description was nothing but a tool to obtain photons and their interaction with matter particles, Jordan however expected both photons and matter particles to result from quantum fields. “Jordan’s attitude thus was the reverse of Dirac’s. For Dirac, empirical evidence of matter conservation excluded the light-matter analogy, for Jordan the light-matter analogy suggested the possibility of creating and destroying matter” ([1], S. 219). Jordan’s main reason for preferring fields to particles (or a mixture of fields and particles) was that only a field formalism based on partial differential equations can account for interactions in accordance with special relativity in a mathematically consistent way.

In 1927/28 Jordan took the lead in making successful steps towards a relativistic quantum field theory. These steps concern three aspects which had been addressed neither by Dirac nor by anybody else in 1927, viz.:

- 1) How can one incorporate Coulomb-type, instantaneous interactions into quantum field theory?
- 2) How can one describe a quantum field in accordance with the special theory of relativity, i.e., in accordance with Poincaré-symmetry?
- 3) How can one account, in field theory, for the Fermi-Dirac type of indistinguishability of many-particle states?

These steps will be reviewed in the following sections.

5 Jordan and Oskar Klein: On the many-body problem in quantum theory (4.10.27)

In accordance with the program indicated above, Jordan and Klein [17] began by writing Schrödinger’s equation for the complex scalar wave function φ for a

single particle of mass μ and charge $-\epsilon$ subject to an external potential V :

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\Delta\varphi - \epsilon V\varphi + \frac{\hbar}{i}\frac{\partial\varphi}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

In line with Schrödinger's original idea of a wave theory of a particle in an external potential, they assumed the potential V to consist of an external part V_0 obeying Laplace's equation and a part $V - V_0$, due to the charge density $\epsilon\varphi^*\varphi$ of the field φ , so that

$$V(x) = V_0(x) - \epsilon \int G(x, x')\varphi^*(x')\varphi(x')dv', \quad (4)$$

where G denotes the Green function for Poisson's equation and the boundary conditions adopted. (The authors did not specify the boundary conditions. they just assumed the whole system to be in some large box, so that, apart from boundary effects, $G = |x - x'|^{-1}$.)

Then φ is expanded in normalized, single particle, unperturbed energy eigenfunctions u_s obeying

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2\mu}\Delta - \epsilon V_0\right)u_s = E_s u_s, \quad (5)$$

$$\varphi(x, t) = \sum b_s(t)u_s(x). \quad (6)$$

Applying Hamilton's principle to their system, Jordan and Klein obtained its energy function (Hamiltonian)

$$H = \sum_s E_s b_s^* b_s + \frac{\epsilon^2}{2} \sum_{p, q, r, s} \Lambda_{pqrs} b_r^* b_s^* b_p b_q, \quad (7)$$

in which the real tensor Λ is determined by the Green function of the interaction and the eigenfunctions u_s .

In Hamilton's equations of motion associated with (7) the variables $b_s, i\hbar b_s^*$ formally figure as canonically conjugate pairs. *Therefore*, following Dirac, the authors proceed to quantize the formally classical, Hamiltonian system (3), (4), resp. (7), by replacing the complex-valued b_s by operators required to satisfy Dirac's commutation relations

$$[b_r, b_s] = 0, \quad [b_r, b_s^*] = \delta_{rs} \quad (8a),$$

in which can also be expressed terms of the field itself,

$$[\varphi(x, t), \varphi(x', t)] = 0, \quad [\varphi(x, t)\varphi^*(x', t)] = \delta(x - x') \quad (8b).$$

In the particle interpretation of the field φ , the expectation value of $N_s = b_s^* b_s$ counts the number of particles of energy E_s in the unperturbed state u_s . This number need not be an integer, an aspect of quantum field theory which turned out to be very important in elementary particle physics after about 1932.

While Dirac had used this formalism for non-interacting photons, in which case only the first, “kinetic” term in (7) is present – that also corresponds to Jordan’s string – Jordan and Klein took into account an interaction term. They ordered the operators in the Hamiltonian such that the annihilation operators b_s occur on the right hand side of the creation operators b_s^* , the Hermitian conjugates of the b_s . As the authors explain, this “normal” ordering suppresses an infinite contribution to the potential energy which would correspond classically to the interaction of a charged particle with its own Coulomb field, a contribution which is also excluded in the single particle Schrödinger equation. In the kinetic term this ordering excludes an infinite vacuum energy, as in the case of radiation.

Jordan and Klein also show, extending Dirac’s result, that in the case of pair interactions the second-quantized representation reproduces the corresponding Schrödinger representation if restricted to a fixed number of particles.

Thus they showed that interacting, massive Bosonic matter can be treated as a quantum field in 3-dimensional position space. The interaction was, however, instantaneous (non-local); the theory may be called *scalar quantum electrostatics*.

6 Jordan and Wolfgang Pauli: Quantum electrodynamics without charges (7.12.1927)

In the preceding section the basic commutation rules have been expressed as relations between field values at different positions x, x' , but at the same time t . In a (special) relativistic theory one would like to formulate corresponding relations in a manifestly Poincaré-invariant way in terms of the quantized Faraday tensor field $F_{\alpha\beta}(x^\gamma)$, which contains the electric and magnetic field strengths and obeys the tensorial, relativistic Maxwell equations.

Jordan and Pauli solved this problem [18]. They took a cube of edge length L and considered the set of all monochromatic, linearly polarized, running plane electromagnetic waves whose amplitudes vanish on the surface of the cube. They quantized this wave system by replacing the polarisation amplitudes by Bosonic annihilation and creation operators, in analogy to the Dirac-Jordan-Klein procedure shown in eq. (8a) of the preceding section.

The main mathematical task of the paper was to carry out the transition from the superposition of the discrete set of waves and their quantized amplitudes to a smooth, quantized limit field F in such a way that a commutation relation for this field arises which does not depend on the discrete variables any more. The discrete variables had to be introduced to begin with since they provided the only known method to quantize a field. Jordan and Pauli managed to carry out this task ingeniously. Their result is the commutation relation formula

$$[F_{\alpha\beta}(P), F^{\gamma\delta}(P')] = \frac{\hbar c}{\pi i} \delta_{[\alpha}^{\gamma} \partial_{\beta]} \partial^{\delta]} \Delta(\overrightarrow{P'P}) \quad (9)$$

In this equation the indices are raised by means of the Minkowski metric of flat spacetime, the symbols ∂_α and $\partial^\delta = g^{\delta\gamma}\partial_\gamma$ denote partial derivative operators to be applied successively to the distribution Δ which depends on the spacetime vector $(\vec{P}'\vec{P}$ connecting P' to P , and the brackets indicate antisymmetrization on the indices they enclose.

The symbol Δ denotes a distribution (generalized function) which can be expressed, with respect to any orthogonal basis of Minkowski (vector) space, in terms of Dirac's distribution δ :

$$\Delta(\vec{X}, cT) = \frac{\delta(|\vec{X}| + cT)}{|\vec{X}|} - \frac{\delta(|\vec{X}| - cT)}{|\vec{X}|} \quad (10)$$

The support of this invariant Jordan-Pauli distribution is the null cone $\vec{X}^2 = c^2T^2$. It can be visualized as an infinitely thin, spherical wave converging towards the origin $(\vec{X}, cT) = (0, 0)$ and expanding from it afterwards.

Eqs. (9) and (10) imply that the observable field strengths at relatively spacelike spacetime points P, P' commute, a property generally assumed for compatible, i.e. jointly measurable observables called local commutativity.

As far as I know, eq. (9) was the first gauge invariant and relativistically invariant commutation relation. It expresses for a paradigmatic example of a field what eqs. (2) say for Galilei invariant particle variables. Singular "functions" like Δ later became a major ingredient of quantum field theory. The method by which Jordan and Pauli obtained (9) anticipated in a heuristic way what about 20 years later was put on a mathematically sound basis as the theory of distributions (L. Schwartz), and was then applied to quantum field theory.

In the second part of their paper Jordan and Pauli attempted to develop a "general method to re-interpret relations between q number valued fields on spacetime as relations between operators acting on generalized ψ functions depending on the whole field". For this purpose they employed Volterra's functional analysis, again anticipating methods which came to be used by mathematical physicists more than 20 years later. Not surprisingly, they met with difficulties still not totally overcome.

The Jordan-Pauli paper is neither reprinted nor even mentioned in the well known collection of important QED papers selected and edited by Julian Schwinger.

7 Jordan and Eugen Wigner: On Pauli's exclusion principle (26.1.28)

Jordan considered the work with Klein as a step on the way to a general theory of interacting particles and fields. That step showed that interactions between parts of Bosonic matter could be accounted for in terms of a field in 3-space,

without the need to use a polydimensional configuration space.⁴ That interaction was instantaneous, however; it was not mediated by a field propagating with finite speed. With Pauli he had worked out commutation relations for the free electromagnetic field which clearly exhibit the role of the light cone for propagating quantum fields. Before the even more difficult problem of relativistic interactions could be tackled, one other “preliminary” difficulty had to be overcome. Electrons (and other particles) occupy states according to Pauli’s exclusion principle discovered in 1925; Dirac had expressed their indistinguishability in configuration space language by the antisymmetry of many-particle wave functions. Jordan’s program required a translation of this description into field language similar to the one Dirac, Jordan and Klein had elaborated for Bosons.

In July 1927, while working with Oskar Klein, Jordan initiated a formalism to accomplish just that. His idea was to look for matrices similar to Dirac’s b_s, b_s^* operators of eqs. (8b). In that former case the spectra of the occupation number operators $N_s = b_s^* b_s$ consist of all non-negative integers since any state s can be occupied by arbitrarily many particles. In the Fermi case, Pauli’s principle, so essential to explain the period system of the elements, requires the corresponding N_s -operators to have the eigenvalues 0 and 1 only. Jordan’s task was to find matrices a_s, a_s^* such that the $a_s^* a_s$ each have that desired, simple spectrum and are such that the second quantized Hamiltonian $\sum H_{rs} a_s^* a_s$ reproduces the properties of an ideal Fermi gas known from Dirac’s configuration space representation. Jordan’s first paper on this subject suffered from some mistakes, but soon afterwards, in collaboration with Wigner, not only a solution, but the unique solution (based on group theory) was given [19]. The matrices have to satisfy (again for $r, s = 1, 2, \dots$)

$$a_r a_s + a_s a_r = 0, \quad a_r a_s^* + a_s^* a_r = \delta_{rs}. \quad (11)$$

A generalization to interacting Fermions was also indicated.

As Jordan emphasized, in both cases – for Bosons and Fermions – the relations (8a) and (11), respectively, imply the existence of particle-like properties, the two kinds of “statistic” and the expected fluctuation formulae.

With the results of sections V, VI and VII the road was open – or so it seemed in 1928 – to march into the land of interacting relativistic fields. That march was difficult, though (see, e.g., [2]), and has not reached its end.

Literatur

- [1] Darigol, Olivier: The origin of quantized matter waves. *Hist. Stud.Phys. Sci.* **16/2**, 198-253 (1986)

⁴Jordan maintained that a physical theory should admit a spacetime formulation, irrespective of what kind of auxiliary mathematical spaces are used as computational tools. This preference is clearly visible in his textbook [11], and I think that this is at least one reason for putting “anschaulich” into the title of the book.

- [2] Schweber, Silvan S.: *QED and the Men who made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*. Princeton University Press, 1994
- [3] Jordan, Pascual: Der gegenwärtige Stand der Quantenelektrodynamik. *Phys. Zeitschrift*. **30**, 700-712 (1929)
- [4] Schroer, Bert: this volume
- [5] Born, Max, and Jordan, Pascual: Zur Quantenmechanik, *Zeitschr. Phys.* **34**, 858-888 (1925)
- [6] Heisenberg, Werner: Bemerkungen zur Strahlungstheorie. *Ann. d. Physik* **9**, 338-346 (1931).
- [7] Born, Max, Heisenberg, Werner, and Jordan, Pascual: Zur Quantenmechanik II. *Zeitschr. Phys.* **35**, 557-615 (1926).
- [8] Einstein, Albert: Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. *Physik. Zeitschrift* **10**, 817-825 (1909).
- [9] Van der Waerden, Bartel L. (ed.) *Sources of Quantum Mechanics*. North-Holland, Amsterdam, 1967.
- [10] Born, Max, und Jordan, Pascual: *Elementare Quantenmechanik*. Springer, Berlin 1930.
- [11] Jordan, Pascual: *Anschauliche Quantentheorie*. Springer, Berlin, 1936.
- [12] Heisenberg, Werner: Schwankungserscheinungen in der Quantenmechanik. *Zeitschr. Phys.* **40**, 501-506 (1926) and *Sitzungsber. Sächsische Ak. d. Wiss., Math.-Naturw. Kl.* **23**, 3-9 (1931).
- [13] Dirac, Paul Adrienne Maurice: On the Theory of Quantum mechanics. *Proc. Roy. Soc.* **A112**, 661-677 (1926).
- [14] Dirac, Paul Adrienne Maurice: The physical Interpretation of Quantum Dynamics. *Proc. Roy. Soc.* **A113**, 621-664 (1926).
- [15] Jordan, Pascual: Über eine neue Begründung der Quantenmechanik I. *Zeitschr. Phys.* **40**, 809-838 (1926); *ibid.* **44**, 1-25 (1927)
- [16] Dirac, Paul Adrienne Maurice: The quantum theory of the emission and absorption of radiation. *Proc. Roy. Soc.* **A 114**, 243-265
- [17] Jordan, Pascual und Klein, Oskar: Zum Mehrkörperproblem der Quantentheorie. *Zeitschr. Phys.* **45**, 751-765 (1927)
- [18] Jordan, Pascual und Pauli, Wolfgang: Zur Quantenelektrodynamik ladungsfreier Felder. *Zeitschr. Phys.* **47**, 151-173 (1928).
- [19] Jordan, Pascual und Wigner, Eugene: Über das Paulische Äquivalenzverbot. *Zeitschr. Phys.* **47**, 631-651 (1928).

Jordan, Pauli und ihre frühe Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Quantenstrahlung

Karl von Meyenn
Universität Ulm, Institut für theoretische Physik
Albert-Einstein-Allee 11, D-89069 Ulm

Einleitung

1. Rückblickend betrachtet läßt sich sagen, daß die Entstehung einer neuen, klassisch nicht begründbaren Quantenmechanik ihre wesentlichsten Impulse drei jungen hintereinander im Abstand von etwa einem Jahr geborenen Physikern zu verdanken hat: PAULI, HEISENBERG und JORDAN. DIRAC, der in diese Gruppe ebenfalls eingereicht werden müßte, hat jedoch erst in die anschließende Entwicklung nach 1925 eingegriffen.

2. Nicht nur PLANCK, EINSTEIN und BOHR, denen wir die Grundlagen und die ersten Formulierungen der Problemstellung verdanken, sondern auch SOMMERFELD, BORN und SCHRÖDINGER haben in dieser abschließenden Entwicklungsphase eine eher konservative Haltung eingenommen. Sie waren immer wieder, - wenn auch vergeblich, - darum bemüht, zwischen der traditionellen Physik und den aus klassischer Sicht paradoxen Quantenerscheinungen eine Verbindung herzustellen. Als eine solche luftige Seilbrücke, die über den gähnend klaffenden Abgrund zwischen der Quantentheorie und den elektrodynamischen Theorien makroskopischer Felder gespannt ist,¹ erwies sich das *Bohrsche Korrespondenzprinzip*. Besonders dieses Prinzip wurde von den drei genannten Quantenmechanikern benutzt, um in das noch "unbetretene Neuland" zu gelangen.² MAX BORN und PASCUAL JORDAN bezeichneten deshalb (in ihrem 1930 erschienenen Werk über *Elementare Quantenmechanik*, S. VI) die *neue Mechanik* als die strenge Durchführung des Bohrschen Programmes.

3. In diesem Personenkreis ist jedoch JORDANs Rolle weitgehend im Hintergrund verblieben. Die Gründe dafür waren eine ihm von Jugend an anhaftende und beinahe seine wissenschaftliche Laufbahn verunmöglichende Sprechhemmung und sein engagiertes Eintreten für die Ziele der Machthaber des *Dritten Reiches*, die er auch in seinen

¹ Zitiert nach Hans Thirrings Besprechung {in den *Naturwissenschaften* **11**, 230 (1924)} von Philipp Lenards Aufsatz *Über Äther und Uräther*.

² Eine ausgezeichnete Übersicht über die Rolle des Korrespondenzprinzips in der Entwicklung der damaligen Quantentheorie vermittelt Eberhard Buchwalds 1923 bei Vieweg und Sohn erschienene Schrift *Das Korrespondenzprinzip*.

vielgelesenen populärwissenschaftlichen Schriften verbreitete, und denen - wie PAULI es später einmal milde ausdrückte, manchmal ein gewisser Stich ins Komische nicht fehlte. Wir wollen deshalb, bevor wir uns mit JORDANs eigentlichen Beiträgen zur Strahlungstheorie befassen, auch kurz auf diesen Teil seiner Wirkung eingehen.

4. Es lassen sich wesentliche Ähnlichkeiten und Unterschiede in JORDANs und PAULIs frühem Werdegang und in ihrer Einstellung zur Physik feststellen. Dabei stützen wir uns auf die Schriften, auf die hinterbliebenen Briefe, auf ein im Jahre 1963 von T. S. KUHN mit JORDAN in vier Sitzungen durchgeführtes *Interview* und auf die Zeugnisse, welche einige Zeitgenossen über sie abgaben.

5. JORDAN sowohl wie auch PAULI waren in der skeptischen und einst von ERNST MACH angeführten erkenntnistheoretischen Tradition des ausgehenden IX. Jahrhunderts aufgewachsen, die auch den jungen EINSTEIN geprägt hatte. Wie EINSTEIN, der seine ersten wissenschaftlichen Anregungen aus den im ausgehenden 19. Jahrhundert weit verbreiteten *Naturwissenschaftlichen Volksbüchern* von AARON BERNSTEIN schöpfte, las JORDAN in seiner Jugend u. a. auch das philosophisch sehr reichhaltige Werk von FRIEDRICH ALBERT LANGE über die *Geschichte des Materialismus*. Der in diesem Werk dargestellte Fortschrittsoptimismus und die Überzeugung, das sich alles Geschehen auf ein atomistisches Substrat zurückführen lasse, dürften auch JORDANs späteren sozialdarwinistischen Auffassungen mitbedingt haben.

6. JORDAN und PAULI teilten beide auch die in MACHs *Mechanik* dargelegten Vorbehalte gegen überkommene metaphysische und damit für die Physik inhaltsleere "Scheinbegriffe", die aus dem physikalischen Denken entfernt werden sollten. Andererseits bewunderten sie aber auch EINSTEINs Leistungen, der schon in seinen frühen Jahren - entgegen MACHs Vorbehalten - weiterhin an der Atomistik der Materie festhielt und schließlich sogar einen Existenznachweis für die Atome zu liefern vermochte. Wie einst der große NEWTON, der durch den Vergleich der Fallbewegung seines berühmten Apfels mit der des Mondes die Gesetze der Himmelserscheinungen in das irdische Laboratorium verlegte, so hatte nun auch EINSTEIN die prinzipiell unsichtbaren Molekularbewegungen durch seine Schwingungsbetrachtungen dem menschlichen Auge handgreiflich vorgeführt. Durch die weitere Anwendung solcher Schwingungsüberlegungen war EINSTEIN kurz darauf zur Erkenntnis der Existenz von Lichtquanten gelangt, deren seltenes Auftreten in Gestalt massiver Energiezusammenballungen im Bereich des ultravioletten Spektrums der PLANCKschen Hohlraumstrahlung die einst von PAUL EHRENFEST befürchtete Ultraviolettkatastrophe verhinderten. Diese von den meisten Physikern abgelehnten Lichtquanten waren es, die in den frühen zwanziger Jahren auch den jungen PASCUAL in den Bannkreis der Quantenphänomene ziehen sollten.

7. JORDAN und PAULI haben sich beide schon während ihrer Schulzeit mit höherer Mathematik befaßt. Während der junge PAULI EULERS berühmte *Einleitung in die Infinitesimalrechnung* studierte, lernte JORDAN das gleiche aus NERNSTs und SCHÖNFLIES' *Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften* kennen. Beide interessierten sich lebenslang auch für die Evolutionstheorie³ und für die Psychologie der Erkenntnisgewinnung. Sie unterhielten miteinander eine ausgedehnte Korrespondenz, von der leider der größte Teil verschollen ist.⁴

³ Jordan hatte schon in seiner Jugendzeit das 1905 erschienene Werk über *Darwinismus und Lamarckismus* des Münchener Zoologen August Pauly gelesen.

⁴ Vgl. die Bemerkung in den für die *Sources for history of quantum Physics* durchgeführten Interviews vom 18. Juni 1963, S. 11. und 19. Juni 1963, S. 6.

8. Doch es gibt natürlich auch wesentliche Unterschiede: Während sowohl PAULI als auch JORDAN in ihren wissenschaftlichen Publikationen stets zentrale Probleme der Quantenphysik aufnahmen und diese mit den ihnen in reichen Maßen zur Verfügung stehenden mathematischen Hilfsmitteln lösten, ergaben sich große Differenzen bei der späteren Bewertung der eigenen und anderer Leistungen; das wird besonders in ihren Vorträgen und allgemeinverständlichen Darstellungen deutlich.

9. PAULIs Urteile sind meist kompromisslos, definitiv und auch in Übereinstimmung mit demjenigen Standpunkt, der sich auch in einer späteren vorurteilsfreieren historischen Perspektive durchsetzte. Als gutes Beispiel kann seine ausgewogene Würdigung der EINSTEINschen Beiträge zur Quantenphysik gelten.⁵ Auch JORDAN hat in seinen mehr populären Schriften mit glänzender Darstellungskunst die Neuartigkeit der modernen Begriffe zu veranschaulichen vermocht. Doch bei ihm vermissen wir häufig die Sicherheit des Urteils und die Kontinuität der Gedankenführung, die wir so sehr bei PAULI schätzen. So hat JORDAN - den politischen Umständen entsprechend - oft die Schwerpunkte seiner Wertungen verlagert. Als es nach dem Kriege galt, JORDAN wieder in seine Hamburger Professur einzusetzen, hat ihn PAULI deswegen eines opportunistischen und wankelmütigen Charakters bezichtigt.

10. JORDANs schwankende Urteilsweise soll noch etwas genauer an einem Beispiel erläutert werden: Als er 1936, während der Zeit der Naziherrschaft, seine in vielen Auflagen immer wieder aufgelegte Schrift *Die Physik des 20. Jahrhunderts* veröffentlichte, so erklärte er später - habe er diesen Titel aus taktischen Gründen als Gegenmanifest zu ALFRED ROSENBERGs berüchtigten Traktat über *Den Mythos des 20. Jahrhunderts* gewählt.

11. Trotz politischer Verbote, die man übrigens auch SOMMERFELD in seinen Schriften nahelegte, erwähnte JORDAN darin zwar immer noch EINSTEINs Namen (in der 1. Auflage 7 mal, in der 2., 1945 erschienenen Auflage nur noch 5 mal), doch die wahre Bedeutung seiner wirklichen Verdienste kommt in diesem *einzig* im Dritten Reich erschienenen allgemeinverständlichen Buch zugunsten der *Einstein*schen Relativitätstheorie nicht zur Geltung.

12. Während seiner Doktorarbeit über die Strahlungstheorie und bei der weiteren Mitarbeit an der Ausgestaltung der Quantentheorie hatte JORDAN vielfach Gelegenheit gehabt, sich über die zentrale Bedeutung der EINSTEINschen Lichtquantenvorstellung klar zu werden, die - wie er später selbst feststellte - nahezu 20 Jahre bis zu ihrer allgemeinen Anerkennung warten mußte. Obwohl JORDAN in seinem Buch auch die "Paradoxien der Quantenerscheinungen" ausführlich behandelte, finden wir bei der Einführung der Lichtquanten nur einen lapidaren Hinweis auf LENARDs und EINSTEINs Namen. In seiner 1969 veröffentlichten *Einstein-Biographie* hingegen stellte er EINSTEIN und BOHR als überragende Denker in der durch PLANCK eingeleiteten Entwicklung heraus. Nun bezeichnete er EINSTEINs 1905 vorgetragene Beweisführung für die Existenz der Lichtquanten zweifellos zu den bedeutendsten und schönsten Gedankenleistungen in der Geschichte der Physik überhaupt. LENARDs Name erscheint jetzt in diesem Zusammenhang gar nicht mehr.

13. Die Begründungen für sein Verhalten, die JORDAN nach Kriegsende in einer langen Verteidigungsschrift u. a. auch BOHR, BORN, PAULI und VON NEUMANN zuleitete, wirkten keineswegs überzeugend. Denn er hatte 1941 in der Zeitschrift *Deutschlands Erneuerung* tatsächlich einen Aufsatz "Naturwissenschaft im Umbruch"

⁵ W. Pauli: Einsteins Beitrag zur Quantentheorie. Wiederabdruck in W. Pauli: *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschweig ¹1961, ²1984. Dort S. 54-63.

veröffentlicht, in dem er begeistert für die neue *Weltanschauung* eintrat und die reine Wissenschaft als liberalistisch-pazifistische Ideologie abqualifizierte, weil sie der tatsächlichen militärisch-politischen Auswirkung als eines Ausdrucks des *Willens zur Macht* nur im Wege stehe.

14. Es ist deshalb verständlich, daß sich viele Personen nach dem Kriege wegen solcher persönlicher Schwächen von JORDAN abwandten und ihm die ihm infolge seiner wissenschaftlichen Leistungen gebührende Anerkennung versagten. Um so schwerer wiegen deshalb die versöhnlicheren Urteile von namhaften Physikern, wie PAULI, JAMES FRANCK, PAUL WIGNER und EINSTEIN selbst, die ihn alle näher gekannt hatten und deshalb seine Verdienste um die Quantenphysik besser einzuschätzen vermochten. Sie alle vertraten die Auffassung, daß JORDAN zu den wenigen theoretischen Physikern von Rang gehöre und es deshalb nicht richtig wäre, wenn der zu Westeuropa gehörige Teil Deutschlands heute an einem Mann wie P. Jordan vorübergehen würde.

15. Nach mehr als einem halben Jahrhundert sollten nun auch wir endlich in der Lage sein, an JORDANs wissenschaftliches Werk vorurteilsfrei heranzugehen.

Die Göttinger Studienzeit, SS 1922-SS 1924⁶

1. Als JORDAN von der TH Hannover kommend zum Frühjahr 1922 sein Studium in Göttingen fortsetzte, hatte PAULI gerade seine neue Assistentenstelle bei WILHELM LENZ in Hamburg angetreten. Wie aus verschiedenen Bemerkungen in den Briefen und aus BORNs eigenen Berichten hervorgeht, hatte sich PAULI in Göttingen bei MAX BORN nicht sehr wohl gefühlt. Die Atmosphäre der Kleinstadt, BORNs etwas pedantischer Arbeitsstil und die besonders durch HILBERTs Anwesenheit bestimmte mathematische Denkweise der Göttinger Physiker sagten ihm weniger zu als der Geist in dem physikalischen Institut der neu gegründeten Universität Hamburg, der wesentlich durch die vielen hier anwesenden jungen Dozenten und neuen Institutsleiter bestimmt wurde.

2. Dennoch sollte JORDAN bald eine Gelegenheit erhalten, PAULI hier in Göttingen kennen zu lernen. Im Juni desselben Jahres, während der sog. Göttinger BOHR-Festspiele, konnten viele deutsche Physiker die neuesten Ergebnisse der Atomtheorie erstmals aus dem Munde ihres berühmten dänischen Schöpfers selbst kennen lernen. Zu dieser ersten größeren atomphysikalischen Veranstaltung der Nachkriegszeit waren auch zahlreiche Physiker aus den umliegenden Städten angerückt. Darunter befanden sich auch SOMMERFELD, der dem dänischen Gast hier seine beiden Meisterschüler PAULI und HEISENBERG vorstellen konnte. Diese sollten nun dazu beitragen, Zug um Zug und in enger Abstimmung mit dem BOHRschen Kreis, die rätselhaften Quantenphänomene zu entwirren. Wie JORDAN später erklärte, markierten diese Vorträge auch für BORN und seine Mitarbeiter eine Interessensverlagerung von dem bisher bevorzugten Festkörper und der Gitterdynamik hin zur quantentheoretischen Atomphysik.

3. Aus dieser ersten Begegnung entwickelte sich zwischen den beiden jugendlichen Forschern eine freundschaftliche Beziehung. Trotz wechselnder Erlebnisse und ungünstiger Zeitläufte blieb diese von lebenslangem Bestand. Wir erwähnten schon, daß PAULI sich später - trotz JORDANs nationalsozialistischer Parteinarbeit - für seine Wiedereinsetzung als Professor an der Universität Hamburg einsetzte.

4. In Göttingen belegte JORDAN zunächst RICHARD COURANTs Vorlesungen über partielle Differentialgleichungen, die er auch für das *mathematische Lesezimmer*

⁶ Vgl. M. Jammer: *The conceptual development of quantum mechanics*. New York 1966. Dort S. 207.

auszuarbeiten begann. Bald wurde er durch den Experimentalphysiker ROBERT WIECHERT POHL auch MAX BORN vorgestellt, der damals gerade – z. T. gemeinsam mit PAULI und dann mit HEISENBERG - die störungstheoretischen Methoden der Himmelsmechanik den quantentheoretischen Bedürfnissen anzupassen suchte. Denn BORN glaubte damals noch immer, durch genaueres Rechnen schließlich alle Schwierigkeiten der *älteren Quantentheorie* beseitigen zu können. Im Wintersemester 1922/23 beteiligte sich JORDAN auch an einem von BORN veranstalteten Seminar über die störungstheoretischen Methoden von HENRI POINCARÉ und KARL SCHWARZSCHILD. Spätestens hier soll sein Entschluß gefallen sein, theoretischer Physiker zu werden.

5. BORN war noch immer mit einer dem neuesten Stand der Forschung entsprechenden Darstellung seiner dynamischen Theorie der Kristallgitter für FELIX KLEINS berühmte *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften* beschäftigt, für die ja auch PAULI seinen Relativitätsartikel verfaßt hatte.⁷ Die starke mathematische Betonung des Gegenstandes und BORNs übermäßiger Hang zur Verwendung indexbehafteter Größen gaben PAULI immer wieder Gelegenheit zu spöttischen Bemerkungen. Selbst als BORN seinen 60. Geburtstag feierte, konnte es der inzwischen milder gestimmte PAULI nicht unterlassen, in seinem Gratulationsschreiben darauf anzuspitzen: I have in my mind the clear idea not of an ordinary birthday-cake with 60 candles but of a large 'Lebkuchen' in the form of a mathematical symbol, let us say B, with 60 different indices.

6. Diese damals in Göttingen unter HILBERTs Einfluß allgemein vorherrschende Vorliebe für das rein Mathematische waren für PAULI Anlaß BORNs physikalische Fähigkeiten geringzuschätzen und keine Gelegenheit auszulassen, an seiner formalen Vorgangsweise herbe Kritik zu üben. Auch JORDAN blieb es nicht erspart, BORN bei der Durchsicht und Überprüfung des zum Teil recht spröden Stoffes dieses am 7. September 1922 abgeschlossenen Encyklopädieartikels mitzuwirken. Seine Begeisterung für dieses Gebiet dürfte sich in Grenzen gehalten haben, weshalb ihn BORN zunächst nicht für eine Assistentenstelle ins Auge faßte.

7. RICHARD COURANT verfaßte damals gerade den ersten Band seiner bekannten, auf HILBERTs Vorlesungen aufgebauten Darstellung der *Methoden der mathematischen Physik*.⁸ Dieses im Sommer 1924 vollendete Werk sollte bald zur Bibel der angehenden Quantenmechaniker werden. COURANT ließ sich bei dieser Tätigkeit von JORDAN helfen. Dieser war, - zunächst noch als studentische Hilfskraft - neben dem tüchtigen Assistenten EMIL ARTIN vorübergehend bei COURANT eingestellt. Besonders hier und in den Vorlesungen des vorübergehend in Göttingen weilenden dänischen Mathematikers NIELS ERIK NÖRLUND (1885-1981) sowie aus MAXIME BÔCHERS (1867-1918) *Einführung in die höhere Algebra* konnte JORDAN Kenntnisse über Differenzgleichungen und den Matrizenkalkül erwerben. Das sollte sich im weiteren Verlauf vorteilhaft auf die Formulierung der neuen Quantenmechanik auswirken.

Die Doktorarbeit: Ein Versuch zur Umgehung der Einsteinschen Lichtquanten

1. Doch zunächst mußte JORDAN noch eine Doktorarbeit anfertigen. Als Thema hatte ihm BORN zunächst ein Problem aus der Molekülphysik zugeordnet. In dem von

⁷ Eine Darstellung in Buchform war erstmals 1915 unter dem Titel *Dynamik der Kristallgitter* bei Teubner in Leipzig erschienen. Es war auch in sehr lobender Weise durch Sommerfelds Assistenten Peter Paul Ewald in der *Physikalischen Zeitschrift* **17**, 212-213 (1916) besprochen worden.

⁸ R. Courant und D. Hilbert: *Methoden der mathematischen Physik*. Band 1. Berlin 1924.

BORN und FRANCK veranstalteten Seminar für *Struktur der Materie* hatte JORDAN jedoch ein ausgezeichnetes Referat über die EINSTEIN-EHRENFESTSche Theorie der Mehrfachabsorption von Lichtquanten gehalten. Daraufhin wurde ihm von BORN empfohlen, dieses Problem zum Gegenstand seiner Doktorarbeit zu machen.⁹

2. Das Thema hatte damals - besonders im Zusammenhang mit dem COMPTONSchen Experiment und der Theorie von BOHR, KRAMERS und SLATER - große Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Nach Bekanntwerden des COMPTON-Effektes, der eine Interpretation der beobachteten Frequenz-Verschiebung des Streulichtes durch den Stoß eines Lichtquants mit einem Elektron nahelegte, hatte das noch ausstehende *experimentum crucis* für die EINSTEINSchen Lichtquanten angeregt. Das durch GEIGER und BOTHE ausgeführte Experiment bestätigte schließlich EINSTEINs Behauptung.¹⁰

3. Unter dem Eindruck des COMPTONSchen Experimentes und einer korrespondenzmäßigen Begründung der *EINSTEIN-Koeffizienten* durch den amerikanischen Physiker JOHN VAN VLECK hatte BOHRs ablehnende Haltung gegenüber den Lichtquanten nachgelassen. Er war nun zum ersten Mal bereit, auch eine statistische Deutung der Strahlungserscheinungen zuzulassen, die ihm durch seinen Assistenten KRAMERS und seinen Gast JOHN SLATER nahegelegt worden war. So entstand im Frühjahr 1924 die sog. BKS-Theorie, welche die Energieerhaltung beim Einzelprozeß fallen ließ und mit *virtuellen* Feldern operierte und den Begriff eines Wahrscheinlichkeitsfeldes vorbereiten halfen.

4. Besonders EINSTEIN und PAULI hielten diese Theorie für ein Hemmnis des Fortschrittes. Noch Jahre danach empfahl der boshafte PAULI den Mitgliedern des BOHRschen Institutes, stets zum Jahrestag dieser *Irrlehre* auf Halbmast zu flaggen.

5. Den Anstoß zu einer erneuten Diskussion des Strahlungsproblems gaben eine Untersuchung von KRAMERS und eine im Sommer 1923 vor Antritt eines Ferienaufenthaltes im Seebad Bansin abgeschlossene Arbeit von PAULI. Um sich von den anstrengenden Diskussionen mit KRAMERS und BOHR zu erholen, hatte er - sozusagen zur Entspannung - die durch das Ergebnis des Experimentes von COMPTON gegebene Situation sorgfältig analysiert.

6. EINSTEIN hatte in seiner berühmten Strahlungsarbeit aus dem Jahre 1916/17 eine noch bei H. A. LORENTZ und anderen offen gelassene Lücke geschlossen. Er zeigte, wie sich das korrekte thermische Gleichgewicht zwischen dem Strahlungsfeld und einem Elektronensystem einstellt, bei dem man anstelle der hypothetischen PLANCKschen Oszillatoren die BOHRschen Atome einführt, und deren Elektronen durch Ein- und Ausstrahlungsprozesse mit dem Strahlungsfeld wechselwirken. Um eine dem PLANCKschen Strahlungsgesetz entsprechende Gleichgewichtsverteilung zu erhalten, mußte er außerdem auch noch die sog. *spontanen* Übergänge zulassen. Diese Arbeit führte den Begriff der Übergangawahrscheinlichkeiten ein, der von nun an die weitere Diskussion aller Strahlungstheorien beherrschen sollten. EINSTEIN hatte außerdem gezeigt, daß in Übereinstimmung mit der von ihm geforderten *Nadelstrahlung* ein Impulsaustausch zwischen den Elektronen und dem Strahlungsfeld stattfindet, bei dem die Richtung der übertragenen Impulse eine Zufallverteilung aufweist.

7. Dieses Resultat wurde nun von PAULI auf den Fall übertragen, daß der Streuprozeß gemäß dem Ergebnis von COMPTON und DEBYE stattfindet. Er stellte fest,

⁹ Vgl. Jordan, *Interview* vom 19. Juni 1963, S. 9.

¹⁰ Vgl. hierzu den Bericht des vorsitzenden Akademie-Sekretars Lüders in der Gesamtsitzung der *Preußischen Akademie der Wissenschaften* vom 19. Januar 1925.

daß sich eine dem PLANCKschen Strahlungsgesetz entsprechende Verteilung nur dann einstellt, wenn man für die Häufigkeit der Quantenübergänge einen zusätzlichen Faktor einführt, bei dem - entgegen der bisherigen Annahme - auch eine wechselseitige Beeinflußung von Strahlenbündeln verschiedener Frequenz angenommen werden muß.¹¹

8. EINSTEIN und sein holländischer Freund PAUL EHRENFEST griffen daraufhin im Herbst 1923 das Problem nochmals auf und interpretierten das neue *Paulische Elementargesetz* verallgemeinernd als einen Austausch von sog. *Mehrfachquanten* unterschiedlicher Richtung und unterschiedlicher Frequenz. Der von Pauli analysierte Fall war darin als Spezialfall für den Austausch von nur zwei Strahlungsquanten enthalten.

9. An dieser Stelle setzte nun JORDAN mit seiner Untersuchung ein. Er hatte die gesamte umfangreiche Literatur studiert und dabei herausgefunden, daß es durch eine Verallgemeinerung der EINSTEINschen Wahrscheinlichkeitsannahmen eine neue Möglichkeit gab, die von der Theorie geforderten Strahlungsrückstöße $h \cdot n/c$ zu vermeiden. Weil aber gerade durch diese Rückstöße die Einführung der *Nadelstrahlung* und die meist noch abgelehnten *Lichtquanten* legitimiert werden konnten, wurde JORDANs Vorschlag besonders durch BORN als ein viel versprechender Versuch begrüßt, eines der wichtigsten Probleme in der damaligen Strahlungstheorien anzugehen.

10. JORDAN begann daraufhin, wie er in seiner publizierten Dissertationsschrift erklärt, seine neue Strahlungstheorie in voller Strenge nur nach den von Pauli geschaffenen Methoden auszuarbeiten.¹² Er konnte zeigen, daß in seiner Theorie auch die EINSTEINsche Nadelstrahlung als singulärer Grenzfall enthalten war. Obwohl er nach damaliger Lage noch keinen Vorschlag zur experimentellen Prüfung seiner Theorie angeben konnte, wurde das Ergebnis Ende November 1924 bei der *Zeitschrift für Physik* zur Veröffentlichung eingereicht. Er versäumte am Ende seiner Darstellung jedoch nicht, sich bei BORN und FRANCK für ihre mannigfaltigen Anregungen und Ratschläge zu bedanken und darauf hinzuweisen, daß trotzdem die Einsteinsche Abhandlung von 1917 zu den wichtigsten und tiefgründigsten Arbeiten gezählt werden muß, welche in der Entwicklung der modernen Physik eingegriffen haben und daß die hier gegebenen Überlegungen nur eine weitere Ausführung der ursprünglichen Einsteinschen Ideen seien.

11. Und EINSTEIN hat auch nicht lange mit einer Stellungnahme auf sich warten lassen. Am 22. Januar 1925 ging seine Zuschrift bei der Zeitschriftenredaktion ein, in der er zwar die logische Richtigkeit von JORDANs scharfsinnigen Überlegungen pries, aber auch auf ihre physikalische Unhaltbarkeit hinwies, weil JORDAN die Unabhängigkeit der einzelnen Strahlungsquanten bei der Absorption nicht genügend beachtet habe. Dennoch konnte JORDAN auf den Erfolg stolz sein, daß der bedeutendste damals lebende Physiker auch ihm nicht seine Anerkennung versagt hatte. Nur der skeptische PAULI, als er von diesem neuen Angriff auf die Lichtquantenhypothese erfuhr, kommentierte - sehr zum Ärger von BORN (und auch FRANCK) - spottend den Versuch: Sie und Jordan werden mit dem Lichtquantenproblem kein Glück haben.¹³

12. JORDAN, der zum Wintersemester 1924/25 eine halbe Assistentenstelle erhalten hatte, die dann, ab 1. Oktober 1925, in eine volle Stelle umgewandelt wurde, wollte sich dennoch nicht entmutigen lassen. Es wurde gemeinsam mit BORN beschlossen, die Strahlungstheorie weiterhin zu bearbeiten. Am 25. April 1925 legten die beiden einen

¹¹ Vgl. P. Jordans Biographie *Albert Einstein. Sein Lebenswerk und die Zukunft der Physik*. Frauenfeld und Stuttgart 1969. Dort S. 50.

¹² P. Jordan: "Zur Theorie der Quantenstrahlung." *Zeitschrift für Physik* **30**, 297-319 (1924) Dort S. 319.

¹³ Vgl. Jordan, *Interview* vom 19. Juni 1963, S. 4.

weiteren gemeinsamen (im Kopenhagener *Bohr-Nachlaß* gefundenen) Entwurf "Zur Strahlungstheorie" vor,¹⁴ der sich nun noch viel enger an die schon erwähnte BKS-Theorie anlehnte. Die für die Interferenzerscheinungen erforderliche Kopplung der Lichtquanten sollte jetzt durch ein zuvor von EINSTEIN vorgeschlagenes "Geisterfeld" bewirkt werden. Zur energetischen Wirksamkeit der Strahlung gehören nach diesen Vorstellungen immer zwei Faktoren, heißt es in dem Manuskript: Die Welle, die das Atom gewissermaßen vorbereitet, und das Lichtquant, das den energetischen Prozeß (Sprung, Stoß) ausführt. Jeder Faktor für sich ist wirkungslos, wie bei einem Geldschrank, dessen Schlüssel erst schließt, wenn ein Merkwort eingestellt ist.

13. Das im Sommer 1925 bekannt gegebene Ergebnis des Experimentes von GEIGER und BOTHE zeigte aber, daß der Stoß zwischen einem Lichtquant und einem Elektron EINSTEINs und PAULI's Erwartungen erfüllte und ganz in Übereinstimmung mit den üblichen Erhaltungsgesetzen erfolgte. Damit hatte auch die BKS-Theorie ihre Existenzberechtigung verloren. Dennoch bereiteten diese Überlegungen zur Strahlungstheorie schon ganz wesentlich die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Quantentheorie vor. Auch JORDAN's Vorstellungen über eine künftige Quantentheorie der Wellenfelder, die ihn in den folgenden Jahren in Anspruch nahmen, haben hier ihre Wurzeln.

Der endgültige Durchbruch

1. HEISENBERG erzielte in diesem Sommer 1925 seinen berühmten Durchbruch zu einer "Quantenmechanik". Nun war schließlich ein definitiver Formalismus gefunden, der, wie Pauli jetzt befriedigt feststellen konnte, die Mängel der korrespondenzmäßigen Kochrezepte der bisherigen Theorie mit einem Schlag beseitigte und - im Prinzip - die Behandlung aller quantentheoretischer Probleme ermöglichte.¹⁵ Auf seiner Rückreise von Helgoland nach Göttingen Mitte Juni 1925 suchte HEISENBERG seinen Freund PAULI in Hamburg auf und unterrichtete ihn von seinen Erfolgen, eine Quantenmechanik zu fabrizieren. Die endgültige Form erhielt die Theorie aber erst nach HEISENBERG's Rückkunft in Göttingen Anfang Juli 1925.

2. Etwa um die gleiche Zeit festigte sich bei ihm die Überzeugung, daß die Vorstellung von Kreis- und Ellipsenbahnen im herkömmlichen Stil nicht den geringsten physikalischen Sinn hat, daß der Begriff der Bahnen, die man nicht beobachten kann, restlos umzubringen sei. Bereits am 9. Juli sandte HEISENBERG ein vorläufiges Manuskript seiner Arbeit zur kritischen Begutachtung an PAULI, um es noch in den letzten Tagen meines Hierseins entweder fertig zu machen oder zu verbrennen.

3. HEISENBERG hatte nämlich eine Einladung nach Cambridge erhalten, wo er über seine neuen Ideen vortrug und DIRAC dafür zu interessieren vermochte. Das Manuskript seiner Arbeit hatte er vorher MAX BORN übergeben, der es Ende Juli zur Veröffentlichung an die *Zeitschrift für Physik* weiterleitete.¹⁶

4. BORN hatte nun mit dem damals erst 22jährigen PASCUAL JORDAN einen ausgezeichnet geschulten Mitarbeiter gefunden, der ihm - zunächst noch auf der Grundlage der BOHR-KRAMERS-SLATERSchen Strahlungstheorie - bei der Ausarbeitung einer

¹⁴ Vgl. den Hinweis in N. Bohr, *Collected Works*, Band 5, S. 308.

¹⁵ Vgl. J. Mehra und H. Rechenberg, *The historical development of quantum theory*. Band 2: *The discovery of quantum mechanics*. New York 1982.

¹⁶ Vgl. M. Borns Autobiographie *My life and views*. New York 1968. Deutsche Übersetzung: *Mein Leben*, München 1975. Dort S. 297f.

Quantentheorie aperiodischer Systeme helfen sollte. Schon damals interessierte er sich, wie er EINSTEIN in einem Schreiben vom 15. Juli 1925 mitteilte, für die auch recht geheimnisvolle Differenzen-Rechnung, die hinter der Quantentheorie der Atomstruktur zu stehen scheint. Mit Jordan zusammen untersuche ich systematisch, aber mit geringem Aufwand von Geist, alle denkbaren Korrespondenz-Beziehungen zwischen klassischen, mehrfach periodischen Systemen und Quantenatomen. Eine Arbeit darüber, worin wir den Einfluß nicht periodischer Felder auf Atome untersuchen, wird bald erscheinen.¹⁷

5. In diesem Schreiben an EINSTEIN hob er noch besonders hervor, daß sein neuer Assistent JORDAN doch ein besonders kluger, scharfsinniger Kopf ist, der viel schneller und sicherer denkt als ich. Überhaupt, meine jungen Leute, Heisenberg, Jordan, Hund, sind glänzend. Ich muß mich oft sehr anstrengen, um ihnen bei ihren Überlegungen auch nur folgen zu können. Sie beherrschen die sogenannte Termzoologie fabelhaft. Dann erwähnte er aber auch noch Heisenbergs neue Arbeit, die bald erscheint, und sehr mystisch aussieht.

6. Die gleichzeitige Anwesenheit des Prager Physikers und späteren EINSTEIN-Biographen PHILIPP FRANK dürfte den Göttinger Physikern eine Portion positivistischen Geistes eingehaucht und HEISENBERG zur Verwendung nur beobachtbarer Größen angeregt haben. Auch JORDAN, dem der MACHsche Standpunkt schon seit seinen ersten Studienjahren vertraut war, kam diese Wendung hin zu einer abstrakten und rein beschreibenden Theorie natürlich sehr entgegen.

7. Aus BORNs Äußerungen geht weiter hervor, daß er HEISENBERGs Arbeit bereits Mitte Juli 1925 gelesen hatte. Weil man den Lichtquanten keine bestimmten Bahnen zuschreiben konnte, hatte man in der BKS-Theorie ihre Existenz zu unterdrücken versucht. Durch HEISENBERGs Formalismus war jetzt auch der Bahnbegriff für die Elektronen hinfällig und damit auch allen Einwänden gegen die Lichtquanten der Boden entzogen. Ebenso wenig, wie es berechtigt wäre, wegen der Interferenzerscheinungen die Existenz der Lichtquanten zu bezweifeln, argumentierte der von Anfang an gegen diese Theorie eingestellte PAULI, kann es jetzt wohl für jeden vorurteilsfreien Physiker als erwiesen gelten, daß die Lichtquanten ebensoviel (und ebenso wenig) physikalisch real sind wie die Elektronen.

8. Nachdem BORN in HEISENBERGs neuem Entwurf die ihm vertrauten Matrizen wiedererkannt hatte, suchte er zur mathematischen Ausgestaltung des neuen Formalismus PAULIs Unterstützung zu gewinnen. Doch PAULI, der Heisenbergs kühne Ansätze mit Jubel begrüßt hatte [97], war nicht an einer Zusammenarbeit mit BORN interessiert. Aus seinen früheren Erfahrungen mit BORN kannte er dessen Vorliebe für mathematische Formalismen. Deshalb befürchtete er - ebenso wie HEISENBERG, - daß die positiven Errungenschaften der neuen Theorie unter dem Schwall der *Göttinger Gelehrsamkeit* verloren gehen könnten.

9. BORNs Groll darüber kommt noch einmal in einem Schreiben vom 1. Oktober 1930 an ARNOLD SOMMERFELD zur Geltung. Dieser hatte sich in seinen Vorträgen über die Elektronentheorie der Metalle äußerst lobend über PAULIs entscheidenden Beiträge geäußert. Born korrigierte:¹⁸ Daß Sie Paulis Verdienst ... so besonders herausstreichen, ist sachlich gewiß berechtigt, und da ich Paulis Leistungen sehr hoch einschätze, tut es mir leid, daß ich persönlich sehr wenig gut mit ihm stehe. Sie werden das ja wahrscheinlich aus seiner Kritik über Jordan und mein Buch *Elementare Quantentheorie* in den

¹⁷ Vgl. M. Born und P. Jordan: "Zur Quantentheorie aperiodischer Vorgänge" [I]. *Zeitschrift für Physik* **33**, 479-505 (1925) und P. Jordan: "Zur Quantentheorie aperiodischer Vorgänge. II" *Zeitschrift für Physik* **33**, 506-508 (1925).

¹⁸ Eine etwas andere Darstellung vermittelte Born in seiner Autobiographie, München 1975, S. 301f.

Naturwissenschaften gemerkt haben. Ich weiß ganz genau, daß das Buch große Schwächen hat, die teilweise darauf beruhen, daß es zu früh angefangen wurde, teilweise darauf, daß ich während der Arbeit krank wurde, ein Zusammenbruch, von dem ich mich leider noch immer nicht ganz erholt habe. Aber von Paulis Seite hat die Bösartigkeit des Angriffes doch andere Gründe, die nicht sehr erfreulich sind. Als ich im Jahre 1925 die Darstellung der Heisenbergschen Ideen durch Matrizen und die Vertauschungsregel (heute meist Heisenbergsche genannt) gefunden hatte, suchte ich einen Mitarbeiter, da Heisenberg für längere Zeit unerreichbar war, und fragte Pauli bei einer Gattagung, ob er mitmachen wollte. Dabei hat er mich in seiner bekannten schnöden Weise beschimpft und meine Idee furchtbar heruntergerissen. Daraufhin habe ich ihn sitzen lassen und Jordan als Mitarbeiter gewonnen. Seitdem sich Pauli auf diese Weise ausgeschaltet hatte, hat er furchtbare Wut auf Göttingen und läßt sie bei jeder Gelegenheit durch boshafte Bemerkungen aus.

10. PAULI war damals mit der Fertigstellung seines Handbuchartikels über Quantentheorie beschäftigt. Deshalb verspürte er wenig Lust, sich nun auch noch intensiver mit diesen neuen Ideen zu befassen. Das sollte er erst zum Jahresende nachholen. Nach getaner Arbeit nahm er sich das Wasserstoffatom vor und berechnete es in allen Einzelheiten mit den Methoden der Matrizenmechanik. Damit war die noch ausstehende Bewährungsprobe der neuen Theorie geliefert.

11. BORN wandte sich deshalb mit dem gleichen Anliegen an JORDAN, der sogleich einwilligte. Aus dieser Zusammenarbeit entstanden die nun klassischen Beiträge zur Grundlegung der Matrizenmechanik, die auch JORDANs Ruf als einen der bedeutendsten Physiker des 20. Jahrhunderts begründen halfen.

Pascual Jordan, biographical notes, his contributions to quantum mechanics and his role as a protagonist of quantum field theory

Bert Schroer

present address: CBPF, Rua Dr. Xavier Sigaud 150,
22290-180 Rio de Janeiro, Brazil

email schroer@cbpf.br

permanent address: Institut für Theoretische Physik
FU-Berlin, Arnimallee 14, 14195 Berlin, Germany

March 2003

Abstract

After recalling episodes from Pascual Jordan's biography and his role in shaping quantum mechanics and quantum field theory as well as his much criticized conduct during the NS regime, I draw attention to some interesting papers which escaped the attention at the time they were written and whose content were re-discovered many decades later. I also draw attention to Jordan's presentation of the first phase of development of quantum field theory in a plenary talk presented at the 1929 Kharkov conference. He starts by giving a comprehensive account of the beginnings of quantum theory and then passes to his unified treatment in which the wave field quantization is applied both to light and to massive quantum matter. But in his Kharkov talk he reveals that he considers wave quantization of classical wave fields as a temporary device because a fundamental theory as quantum field theory cannot depend on a parallelism to a less fundamental classical theory. Jordan's plea for a QFT without the classical crutches of wave field quantization has meanwhile been partially realized in the setting of Local Quantum Physics.

1 Biographical Notes

There are not many physicists whose biography contains glorious scientific achievements next to disturbing human weaknesses as that of Pascual Jordan.

Born on October 18, 1902 in Hannover of mixed German-Spanish ancestry, he became (starting in the age of 22) a main architect of the conceptual and mathematical foundations of quantum theory and the protagonist of quantum field theory. Pascual Jordan owes his Spanish name to his great grandfather

Pascual Jorda (unrelated to the biblical river), who came from the Alcoy branch (southern Spain) of the Jorda nobility with a genealogy which can be traced back to the 9th century. After the British-Spanish victory of Wellington over Napoleon, the family patriarch Pascual Jorda settled in Hannover where he continued his service to the British crown as a member of the “Koeniglich-Grossbritannisch-Hannoverschen Garde-Husaren Regiments” until 1833. Every first-born son of the Jordan (the n was added later) clan was called Pascual.

There is no doubt that Pascual Jordan took the lead in the formulation of the conceptual and mathematical underpinnings of “Matrix Mechanics” in his important paper together with Max Born [1] submitted on 27. September 1925 (3 months after the submission of Heisenberg’s pivotal paper!) entitled “Zur Quantenmechanik”. His mathematical preparation, particularly in the area of algebra, was superb. He had taken courses at the Göttingen mathematics department from Richard Courant and became his assistant (helping in particular on the famous Courant-Hilbert book); through Courant he got to know Hilbert before he met the 20 year older Max Born, the director of the Theoretical Physics Department of the Göttingen university. By that time Jordan already had gained his physics credentials as a co-author of a book which he wrote together with James Franck [2].

After Max Born obtained Heisenberg’s manuscript, he tried to make sense of the new quantum objects. While he had the right intuition about their relation to matrices¹, he felt that it would be a good idea to look for a younger collaborator with a strong mathematics background. After Pauli rejected his proposal and even expressed some reservations that Born’s more mathematically inclined program could stifle Heisenberg’s powerful physical intuition, Jordan volunteered to collaborate in this problem [3][4]. Within a matter of days he confirmed that Born’s conjecture about the off-diagonal part of p-q commutation relation was indeed consistent so that its full content was secured. Together with Born’s previous argument about the diagonal part this established the central structural relation of the new mechanics and made the content of Heisenberg’s paper more concrete. Probably as a consequence of the acoustic similarity of pq with Pascual, the younger members of the physics department (the protagonists of the “Knabenphysik”) in their discussions often called it Pascual’s relation². Max Born became Jordan’s mentor in physics. Jordan always maintained the greatest respect which withstood many later political and ideological differences although that relation was severely strained when Jordan a decade later joined the anti-Semitic Nazi party.

The year 1925 was a bright start for the 22-year-old Jordan. After the submission of the joint work with Max Born on Matrix Mechanics, in which the p-q commutation relation appeared for the first time, there came the famous “Dreimaennerarbeit” [5] with Born and Heisenberg in November of the same year, only to conclude the year’s harvest with a paper by him alone on the “Pauli

¹“Matrix-mechanics” preceded the more appropriate later formulation based on operator theory in Hilbert space due to Fritz London and John von Neumann.

²I am indebted to Anita Ehlers for permitting me to use her biographical notes on Pascual Jordan.

Statistics". Jordan's manuscript apparently contained what is nowadays known as the Fermi-Dirac statistics; however it encountered an extremely unfortunate fate after its submission because it landed on the bottom of one of Max Born's suitcases (in his role as the editor of the *Zeitschrift fuer Physik*) on the eve of an extended lecture tour to the US, where it remained for about half a year. When Born discovered this mishap after his return trip, the papers of Dirac and Fermi were already in the process of being published. In the words of Max Born [6][7] a quarter of a century later: "I hate Jordan's politics, but I can never undo what I did to him.....When I returned to Germany half a year later I found the paper on the bottom of my suitcase. It contained what one calls nowadays the Fermi-Dirac statistics. In the meantime it was independently discovered by Enrico Fermi and Paul Dirac. But Jordan was the first". In Jordan's subsequent papers, including those with other authors such as Eugene Wigner and Oscar Klein, it was always referred to as "Pauli statistics" because for Jordan it resulted from a straightforward algebraization of Pauli's exclusion principle. Without Born's negligence the name "Jordanons" would probably have added a lighthearted Middle East flavour to the beginnings of modern particle physics.

From later writings of Born and Heisenberg we also know that Jordan contributed the sections on the Statistical Mechanics (or rather Kinetic Gas Theory) aspects to their joint papers on matrix mechanics; this is not surprising since the main point in his 1924 PhD thesis was the treatment of photons according to Planck's distribution whereas thermal aspects of matter were still described according to the classic Boltzmann statistics. He continued this line of research by introducing the "Stosszahlansatz" for photons and substituting for electrons and atoms the new Bose statistics [8]³; this work brought him praise by Einsteins and led to an (unfortunately lost) correspondence between the two. In the following we will continue to briefly mention his scientific contributions in the biographical context and reserve a more detailed account about their scientific content to the next section.

The years 1926/27 were perhaps the most important years in Jordan's career in which he succeeded to impress his peers with works of astonishing originality. The key words are Transformation Theory [10][11] and Canonical Anti-Commutation Relations [12]. With these discoveries he established himself as the friendly competitor of Dirac on the continental side of the channel; in its printed form one finds an acknowledgment of Dirac's manuscript⁴. As an interesting sideline, one also notes that in a footnote at the beginning of the paper on transformation theory which addresses the equivalence of the Heisenberg and Schroedinger quantum mechanics within a more abstract Hilbert space setting, Jordan mentions a "very clear and transparent treatment" of the same problem in a manuscript by Fritz London, a paper which he received after completing

³This paper was submitted simultaneously with another paper in which Jordan coined the term "Pauli-Principle" [9]; but the relation to statistics was only seen later.

⁴In those days papers were presented in a factual and very courteous style; however verbal discussions and correspondences were sometimes more direct and less amiable (e.g. see some published letters of Pauli [3][16]).

his own work and which was published in [13]. So it seems that the transformation theory was discovered almost simultaneously by three authors. As the result of his very influential textbook whose first edition appeared in 1930 most physicists are more familiar with Dirac's version. Although London's treatment remained less known, Jordan's praise is more than the old style politeness. London's article introduced for the first time the modern Hilbert space operator setting several years before von Neumann published his famous work on the mathematical and conceptual structure of quantum theory.

Jordan's most seminal contribution is his discovery of "Quantization of Wave Fields" which marks the birth of QFT. The reader finds a description about the chronology of this most important of Jordan's discoveries, its relation to Dirac's radiation theory and its influence on the subsequent development of particle physics in the next section.

We are used to the fact that names for new concepts and formulas in modern publications should be taken with a grain of salt. But we trust that what the textbooks say about the beginnings of quantum mechanics can be taken literally. When we look at Jordan's paper [10] page 811 we note that the relation between Born and the probability interpretation in the Schroedinger formulation of quantum mechanics is more indirect than the impression obtained from reading most textbooks. Max Born in his 1926 papers was calculating what is nowadays called the Born approximation of scattering theory and his proposal to associate a probability with scattering in modern terminology amounted to identifying the cross section as the main observable of collision theory. According to Jordan the generalization to the probability interpretation of the absolute square of the x-space Schrödinger wave function is attributed to Pauli ⁵ who although strongly influenced by Born's probability interpretation of the scattering amplitude does not refer to Born's paper. It happened frequently that in such a surrounding of intense communication as the physics department of Goettingen during the 1920's new ideas were used freely in scientific discussions and that the later attachment of a person's name usually represent the correct origin but cannot be taken prime facie when it comes to details. Although the x-space probability does not explicitly appear in Born's early publications, he certainly was the first who brought a probability aspect into quantum physics.

Jordan's increasing detachment from the ongoing conceptual development of QFT after 1933, and his concentration on more mathematical and conceptual problems of quantum theory whose investigation can be pursuit without being instantly connected to the stream of new information happens at the time of his unfortunate political activities, as he lets himself be increasingly sucked into the mud of the rising Nazi-regime⁶. The attempt to understand some of his increasing nationalistic and militaristic behavior in terms of his family

⁵This may partially explain why Pauli in his 1933 Handbuch article on wave mechanics introduced the spatial localization probability density without reference to Born.

⁶National Socialist=NS=Nazi. The colloquial expressions as Nazi and Sozi (socialist) originated from the times before Hitler's rise to power at the time of the big street fights between the rightwing and leftwing rowdies. The origin of the terminology "Nazi" is a bit like "Commie" (for communists) in the US, and for this reason not used by historians.

background does not yield convincing clues. A more plausible reason is that Jordan's radicalization was a consequence of the general great post-war turmoil within the German society which led to extreme political polarization and finally to the demise of the democratic Weimar republic.

Pascual Jordan was brought up in a traditional Lutheran religious surrounding. At the age of 12 he apparently went through a soul-searching fundamentalist period (not uncommon for a bright youngster who tries to come to terms with rigid traditions) in which he wanted to uphold a literal interpretation of the bible against the materialistic Darwinism (which he experienced as a "quälendes Aergernis", a painful calamity), but his more progressive teacher of religion convinced him that there is basically no contradiction between religion and the sciences. This then became a theme which accompanied him throughout his life; he wrote many articles and presented innumerable talks on the subject of religion and science.

When Jordan moved from his hometown Hannover to the University of Goettingen at the beginnings of the 1920's, the opinion that the treaty of Versailles with its exorbitant reparation requirements was unjust and threatened the new German democratic republic was quite widespread in German society and even in academic circles. Such a view certainly would not have isolated Jordan from his older physics and mathematics colleagues. But Jordan's political inclination went far beyond and became increasingly nationalistic and extreme right-wing. These were of course not very good prerequisites for resisting the propaganda of the NS movement, in particular since the conservative wing of the protestant church (to which he adhered⁷) started to support Hitler in the 30's; in fact the behavior of both of the traditional churches during the NS regime belongs to their darkest chapters. Hitler presented his war of aggression as a divine mission and considered himself as an instrument of God's predestination (göttliche Vorsehung), while almost all Christian churches were silent or even supportive.

Already in the late 20s Jordan published articles under a pseudonym of an aggressive and bellicose stance in journals dedicated to the spirit of German Heritage. It is unclear to what degree his more cosmopolitan academic peers in Göttingen knew about these activities, but the fact that he published under a pseudonym suggests that he wanted to keep his political activity hidden from them.

Jordan considered the October revolution and the founding of the Soviet Union as extremely worrisome developments. One reason why Jordan was attracted to the NS lure was that the Nazis were fierce anti-communists. But the fact that most of Jordan's collaborators were of Jewish background makes it very difficult to understand his sympathies for a party which was overtly anti-Semitic. The only clue is his very naive idea that he could use his fame to influence the new regime; his most bizarre project in this direction was to convince some influential people in the NS establishment that modern physics as represented by Einstein and especially the new Copenhagen brand of quan-

⁷The oldest son of the family patriarch Pascual Jorda was brought up in the Lutheran faith of his foster mother, whereas all the other children born within that marriage were raised in the Catholic faith.

tum theory was the best antidote against the “materialism of the Bolsheviks”. This explains perhaps why he joined NS organisations at an early date when there was yet no pressure to do so [14]. He of course failed in his attempts; despite verbal support⁸ he gave to their nationalistic and bellicose propaganda and even despite their very strong anti-communist and anti-Soviet stance with which he fully agreed, the anti-Semitism of the Nazis did not permit such a viewpoint since they considered the acceptance of Einstein’s relativity and the modern quantum theory with its Copenhagen interpretations as incompatible with their anti-Semitic propaganda; one can also safely assume that the intense collaboration with his Jewish colleagues which extended into the first half of the 30’s made him appear less than trustworthy in the eyes of the regime.

Jordan’s career during the NS times ended practically in scientific isolation at the small university of Rostock; his promotion to fill von Laue’s position in Berlin in 1944 came too late for a new scientific start. Despite his Nazi sympathies he never received benefits for his pro-NS convictions and the sympathy remained one-sided. Unlike the mathematician Teichmueller, whose rabid anti-Semitism led to the emptying of the Göttingen mathematics department, Jordan inflicted the damage mainly on himself. The Nazis welcomed his verbal support, but he always remained a somewhat suspicious character to them since despite his support for their aggressive policies and their preemptive war, he never rescinded having collaborated with Jewish colleagues in the past nor supported the anti-Semitism of the Nazis. As a result, unlike Heisenberg and others, he was not called upon to participate in war-related projects and spent most of those years in scientific isolation. This is somewhat surprising in view of the fact that Jordan, like nobody else in the scientific community, tried to convince influential people in the NS regime that fundamental research should receive more support because of its potential weapons-related applications; in these attempts he came closer to a “star wars” propagandist of the Nazis than Heisenberg who headed the German uranium program but kept a low political profile and never joined the Nazi party.

Jordan’s early party membership and his radical verbal support of the NS regime in several articles written during the war got him into a lot of trouble after 1945. For two years he was without any work and even after his re-installment as a university professor he had to wait up to 1953 for the reinstatement of his full rights (e.g. to advise PhD candidates). When his pre-war friend and colleague Wolfgang Pauli asked him after the war: “Jordan, how could you write such things?” Jordan retorted: “Pauli, how could you read such a thing?” Without Heisenberg’s and Pauli’s help he would not have been able to pass through the process of de-nazification (in the jargon of those days Jordan got a “Persilschein”, i.e. a whitewash paper) and afterwards to be re-installed as a university professor. In Pauli’s acerbic way of dealing with such problems he tried to explain Jordan’s political aberrations as follows: “Jordan is in the possession of a pocket spectrometer by which he is able to distinguish intense

⁸In contrast to Heisenberg he did not directly work on any armament project but rather did most of his military service as a meteorologist.

brown from a deep red”⁹. “Jordan served every regime trustfully” is another of Pauli’s comments. Nevertheless Pauli recommended Jordan for a reinstatement of his professorship at the University of Hamburg and he also suggested to him to stay away from politics and rather “worry about his pension”.

Jordan did not heed Pauli’s advice for long; during the time of Konrad Adenauer and the big debates about the re-armament of West Germany he became a member of parliament for the CDU party. His speech problem (as mentioned before he sometimes fell into a stuttering mode which was quite painful for people who were not accustomed to him) which already caused a serious impediment during his scientific years in Goettingen, had more serious consequences in politics and prevented him from becoming a scientific speaker for the CDU party. At that time of the re-armament issue there was a manifesto by the “Göttingen 18” which was signed by many of the famous names of the early days of the university of Göttingen quantum theory, including Werner Heisenberg and Max Born. Jordan, whose signature was conspicuously absent, immediately wrote a counter article with the endorsement of the CDU party in which he severely criticized the 18 and claimed that by their action they endangered world peace and undermine stability in Europe. Max Born felt irritated by Jordan’s article, but he did not react in public. What really annoyed him were Jordan’s attempts afterwards to disclaim full responsibility for his article by arguing that some of the misunderstandings resulted from the fact that it was written in a hurry. But Born’s wife Hedwig exposed her anger in a long letter to Jordan in which she blamed him for “deep misunderstanding of fundamental issues”. She quoted excerpts from previous books by Jordan and wrote: ”Reines Entsetzen packt mich, wenn ich in Ihren Büchern lese, wie da menschliches Leid abgetan wird” (pure horror overcomes me when I read in your books how human suffering is taken lightly). Immediately after this episode she collected all of Jordan’s political writings and published them under the title: “Pascual Jordan, Propagandist im Sold der CDU” (Pascual Jordan, propagandist in the pay of the CDU) in the Deutsche Volkszeitung.

In the middle of the twenties the authors of the “Dreimaennerarbeit” were proposed twice for the Nobel prize by Einstein, but whereas Heisenberg obtained it in 1932, Dirac together with Schroedinger in 1933 and Born in 1954, the support for Jordan dwindled after the war. Even though he was not only a leading figure in the discovery of quantum mechanics but also the only protagonist of an uncompromising radical version of quantum field theory which together with renormalization theory culminated in the post war quantum electrodynamics, his active sympathy for the NS regime seriously tainted him and affected his scientific reputation. Nevertheless, in 1979 it was his former colleague and meanwhile Nobel prize laureate Eugen Wigner who nominated Jordan as a candidate. But at that time the Nobel committee was already considering candidates associated with the second phase of QFT which started after the war with perturbative renormalization theory of quantum electrodynamics. A

⁹The members of the Nazi party appeared in black boots and brown uniforms in their meetings.

Nobel prize for the discovery of QFT for at such a late date would also have upset the chronological order. Jordan did however receive the Max-Planck-medal of the German Physical Society in 1942 besides several other honors. Nevertheless the situation begs the question why the protagonist of the quantization of wave fields remained its “unsung hero” [16] while his contemporaries and co-worker became Nobel-laureats. Part of the reason is certainly his speech problem which prevented him to eloquently present his ideas in talks. But the fact why his former collaborators did not support Jordan for a Nobel prize or (in case of Wigner) supported him very reluctantly cannot be explained entirely in terms of his speech handicap only. Although Jordan was less useful to the Nazis than Heisenberg, the fact that he joined an open anti-Semitic party at a time when there was no reason to secure his career for such a step is deeply disturbing and must have been a great disappointment to them. He never succeeded to renew the old ties and the high scientific esteem he enjoyed during his years in Goettingen and Copenhagen. It seems that starting from his years in Goettingen he was driven by a weird ideological idea which consisted in seeing a link between the post world war I “New Order” of fascist regimes and the strange counter-intuitive (Copenhagen) interpretation of quantum theory and its revolutionary new conquest of reality [14][15]. Among all reasons for supporting the NS regime Jordan’s idea of a parallelism between the revolution in quantum physics and the new political order is certainly the most bizarre. The fact that Jordan did not fit the picture of an opportunistic Nazi follower but rather came closer to that of a deeply misguided intellectual who despite his overtures to the NS leadership created suspicion and was unable to advance his career¹⁰. Probably the only one who understood this bizarre aspect of Jordan’s personality was Pauli.

Jordan did not only have to cope with sarcastic remarks such as those from Pauli, but as a result of his neutrino theory of the photon [17] he also received some carnivalesque good-humored criticism as in the following song (the melody is that of Mack the Knife) [3]:

“Und Herr Jordan	“Mr. Jordan
Nimmt Neutrinos	takes neutrinos
Und daraus baut	and from those he
Er das Licht	builds the light.
Und sie fahren	And in pairs they
Stets in Paaren	always travel.
Ein Neutrino sieht man nicht.”	One neutrino’s out of sight”.

Actually the content of Jordan’s paper has nothing to do with composing photons from pairs of neutrinos but rather addresses the problem of relating a two-dimensional zero mass Bose field with a conserved current formed from a pair of 2-dimensional Weyl Fermions. The paper contains what in more recent times became known as Bosonization and also addresses the more subtle problem of Fermionization based on exponential Bose fields with the correct

¹⁰Obviously outside of the third Reich somebody with the scientific achievement of Jordan would not have to spend his most important years at a small university as Rostok.

build-in charge superselection rule. Jordan apparently expected that a higher-dimensional photon neutrino connection follows by analogy and left the details to others. However an extension of this formalism to higher dimensions is not possible and therefore a neutrino theory of light is not supported by Jordan's calculations. Insofar as the mock song refers to the misleading title it is well-aimed, however as a presentation of the Bosonization/Fermionization idea the paper is not only correct but even far ahead of its time. Only 3 decades later, when the interest in low-dimensional models as a theoretical laboratory to study the conceptual and mathematical intricacies of QFT was gaining ground, the formalism of 2-dim. Bosonization/Fermionization was rediscovered. In form of the Luttinger model [34] for a 1-dim. electron gas these ideas enjoy some popularity in solid state physics.

Although Jordan took, along with a majority of German physicists, a strong position against those supporting the racist "German Physics"¹¹ and in this way contributed to its demise, he defended on the other hand bellicose and nationalistic positions and he certainly supported Hitler's war of aggression against the "Bolshevik peril". The fact that he was a traditional religious person and that several of the leading bishops in the protestant church were pro Hitler had evidently a stronger effect on him than his friendship with his Jewish colleagues from the times in Goettingen, Hamburg and Copenhagen, who by that time had mostly joined the exodus of writers, scientist and artists to the Americas.

In contrast to Pauli who contributed to the second post war phase of QFT and always followed the flow of ideas in QFT and stayed in the forefront up to his early death, Jordan's active participation in QFT stopped around the middle of the 30s and it seems that he did not follow the development in those areas which he helped to create which culminated shortly after the war in the first comprehensive quantum field theory of matter interacting with light the renormalized treatment of quantum electrodynamics. Beginning in the mid 30's and through the war he turned his attention to more mathematical and conceptual problems as well as to biology [18] and psychology. His enduring interest in psychology was presumably related to the psychological origins of his stuttering handicap¹² which prevented him from using his elegant writing style in discussions with his colleagues and communications with a wider audience; this perhaps explains in part why even in the physics community his contributions are not as well known as they deserve to be. In fact this handicap even threatened his Habilitation (which was a necessary step for an academic career) in Göttingen. Jordan was informed by Franck (with whom he had coauthored a book) that Niels Bohr had arranged a small amount of money for Jordan which was to be used for getting some cure of his speech problem. Wilhelm Lenz, whose assistant Jordan

¹¹It was Jordan's opinion that nationalistic and racist views had no place in science; in his own bellicose style of ridicule (in this case especially directed against nationalistic and racist stance of the mathematician Biberbach): "The differences among German and French mathematics are not any more essential than the differences between German and French machine guns".

¹²One also should keep in mind that the interest in psychology became a "fashion" among the Copenhagen physicists (notably Bohr and Pauli).

was for a short time after Pauli left, suggested to go to the famous psychologist Adler. Jordan went to Vienna, but we only know that he attended a lecture of Schrödinger and criticized his wave mechanics from the Göttingen point of view, there is no record of meetings with Adler.

His increasing withdrawal from the mainstream of quantum field theory and particle physics in the 30s may have partially been the result of his frustration that his influence on the NS regime was not what he had expected. After the defeat of Germany in 1945 his attempts to account for his membership in the Nazi party as well as the difficult task to make a living with the weight of his past NS sympathies (which cost him his position as a university professor for the first two years after the war) seriously impeded his scientific activities.

Unlike the majority of the German population, for which the early Allied re-education effort (which was abandoned after a few years) to rid society of aggressive militaristic and racist ideas was a huge success so that the subsequent change of US policy in favor of re-armament of West Germany ran into serious opposition during the Adenauer period, Jordan did not completely abandon his militaristic and rightwing outlook. In the 50s he joined the CDU party where he had to undergo the least amount of change ¹³, thus forgetting Pauli's admonitions in favor of political abstinence.

All the protagonists of those pioneering days of quantum physics have been commemorated in centennials except Pascual Jordan who, as the result of the history we have described, apparently remained a somewhat "sticky" problem despite Pauli's intercession by stating "it would be incorrect for West Germany to ignore a person like P. Jordan". His postwar scientific activities consisted mainly in creating and arranging material support (by grants from Academies and Industry as well as from the US Airforce) for a very successful group of highly motivated and talented young researchers in the area of General Relativity who became internationally known (Engelbert Schuecking, Juergen Ehlers,..) and attracted famous visitors especially from Peter Bergmann's group (Rainer Sachs,...). In this indirect way there is a connection between Jordan's post war activities in general relativity and the new Albert Einstein Institute in Golm (Potsdam). This somewhat meandering path leads from Jordan's Seminar in Hamburg through universities in Texas (where most of its members got positions), and then via the astrophysics in Garching (where Ehlers took up a position in 1971) to the AEI for Gravitational Physics of the MPI where Ehlers became the founding director in 1995.

Jordan died in 1980 while working on his post-war pet theory of gravitation with a time-dependent gravitational coupling; his post war work never reached the level of the papers from those glorious years 1925-1930 or his subsequent rather deep pre-war mathematical physics contributions. In the words of Silvan Schweber in his history of quantum electrodynamics, Jordan became the "unsung hero" of a glorious epoch of physics which led to the demise of one of its main architects.

¹³The leadership of the CDU recently supported Bush's war in Iraq (against the majority of its voters).

It is however fair to note that with the exception of Max Born Jordan's other collaborators, especially von Neumann and Wigner, shared the bellicose kind of anti-communism; Wigner later became an ardent defender of the Vietnam war. Since both of them came from a cosmopolitan Jewish family background, their anti-communist fervor probably had its roots in their experience with the radical post World War I Bela Kuhn regime in the Hungarian part of the decaying Habsburg empire.

The cultural and scientific achievements in a destroyed and humiliated Germany of the post World War I Weimar republic within a short period of 15 years belong to the more impressive parts of mankind's evolution and Jordan, despite his nationalistic political viewpoints is nevertheless part of that heritage.

2 Contributions to Quantum Mechanics and to the first phase of Quantum Field Theory

The following contains a more detailed account of the content of some of Jordan's most seminal contributions to quantum mechanics and quantum field theory.

The situation which Jordan was confronting after he was called upon by Born to collaborate on the mathematical and conceptual underpinnings of Heisenberg's pivotal work, was as follows. Heisenberg in his paradigmatic 1924 paper had gone far beyond the previous somewhat vague correspondence principle of the Bohr-Sommerfeld quantum setting by his proposal to substitute for the canonical classical particle variables q, p a novel kind of observable set of complex amplitudes associated to a non-commutative multiplication law. These quantities were supposed to satisfy a "quantum condition" which formally resembles the Thomas-Kuhn sum rule for harmonic oscillators, but which in terms of the new quantum mechanics was to be regarded as a basic law of universal validity. It is tempting to compare this paradigmatic change with that from Lorentz's transformation formula to Einstein's relativity. Whereas in the latter case the change is purely interpretational without any necessity to change the notation in passing from Lorentz's pre-Einstein transformation formula to its new relativistic interpretation, the paradigmatic change from the semi-classical Thomas-Kuhn sum rule to the new quantum mechanics effects the interpretation as well as the formal appearance. In fact in Heisenberg's paper the mathematical nature of the involved objects still remained somewhat opaque precisely because a good notation which harmonizes with the paradigmatic conceptual change was not yet in place. It was Max Born who proposed to identify the new quantities as (infinite dimensional) matrices. He conjectured that Heisenberg's new quantum law is the statement that the position q and the momentum p of a particle are to be represented by matrices whose product is non-commuting such that $pq - qp$ is equal to $\frac{\hbar}{i}$ times the identity matrix, None of the Goettingen physicists at that time had access to the mathematics of unbounded operators in Hilbert space, although some of these concepts were familiar to the Goettingen mathematicians around Hilbert. In Born's matrix reading of

Heisenberg's quantum mechanics he initially only was able to convince himself that the diagonal part of the p, q commutation relation had the conjectured form, the vanishing of the off-diagonal contribution was still an open problem.

Jordan quickly succeeded to prove the vanishing of the off-diagonal elements as a consequence of the equations of motion and an ingenious algebraic argument [1]. From now on the (matrix-form of the) commutation relation was the new principle of quantum mechanics. The subsequent "Dreimännerarbeit" [5] extended the setting of quantum mechanics to systems with many degrees of freedom.

Shortly after this paper, Jordan together with Heisenberg [19] demonstrated the power of the new formalism by presenting the first fully quantum-mechanical treatment of the anomalous Zeeman effect based on the new electron spin hypothesis of Goudsmit and Uhlenbeck. In this article the authors left no doubt that they considered this as a temporary working hypothesis short of a relativistic description of the electrons intrinsic angular momentum; a problem which still had to wait three more years before Dirac finally laid it to rest.

As mentioned before the first modern formulation of quantum mechanics in terms of operators in Hilbert space in which the equivalence between Heisenberg's and Schroedinger's formulation was clarified appears in the work of Fritz London [13]. London substituted matrices by operators; apart from the name "rotation in Hilbert space" for unitary operator, the terminology is quite modern. Although Jordan praised this work of London, it was apparently overlooked by most of his contemporaries who attribute the Hilbert space formulation of quantum theory to the later papers of von Neumann. A sociological explanation may be that Fritz London was an assistant at the TH Stuttgart at the time i.e. at place outside the "quantum dialog" between the great centers at which quantum theory started.

Most of Jordan's publications after 1926 deal with "quantization of wave fields" i.e. with aspects of quantum field theory. There is however one important later contribution which addresses the foundations of quantum physics and led to an algebraic structure which bears his name, the so-called Jordan algebras. If one starts from von Neumann's axiomatic framework of quantum theory, which identifies observables with Hermitian operators acting in a Hilbert space, one would like to have at one's disposal a multiplication law which converts two observables into a composed observable. This is achieved by taking the anti-commutator and Jordan posed the problem of unravelling the algebraic structure which one obtains if one disposes of the Hilbert space setting and axiomatizes this abstract algebraic structure. The result was a commutative but not distributive new structure, the so-called Jordan algebras [20]. This attracted the interest of von Neumann and Wigner and led to some profound mathematical results. In a joint paper [21] Jordan, von Neumann and Wigner proved that apart from a special exceptional finite dimensional Jordan algebra all finite dimensional Jordan algebras are in fact ordinary matrix algebras with the anti-commutator composition law. This showed that the standard quantum theory setting of operator algebras in Hilbert space as axiomatized by von Neumann was more natural and stable against modifications than one had reasons to ex-

pect on the basis of Heisenberg’s credo to limit quantum theoretical arguments to observables. This work was later extended to the infinite dimensional realm (by making suitable topological assumptions about Jordan algebras) without encountering any additional exception [22]. Works on Jordan algebras, to the extent that they are physically motivated, should be viewed in line with other attempts to obtain a better understanding of the origin of the superposition principle¹⁴ in quantum theory. The latter is the fact that states in the sense of positive linear forms on algebras permit an (in general non-unique) interpretation as expectation values in vector states (or in terms of density matrices in case the states are impure) of a Hilbert space on which the of abstract algebra acts as a concrete operator algebra so that the linear combination of two vectors defines again a (pure) state. Since quantum states are conceptually very different from classical linear waves, the analogy to the superposition of classical linear waves is not of great help. The dual algebra-state relation permits to explore the problem of a more basic understanding of the quantum superposition principle either on the algebraic side as in the spirit of the Jordan algebras or on the side of the structure of the state space [23]. The farthest going results on the side of states was obtained decades later by Alain Connes [24] who succeeded to characterize operator (von Neumann) algebras and their Hilbert space superselection structure together with the operator algebra properties as arising from of the “facial substructure” of their convex state spaces (the predual of an algebra). The work with von Neumann and Wigner was Jordan’s last international collaboration. His sympathies for the Nazis made a continuation of such collaborations impossible, even if he did not share their anti-Semitism. It seems that already several years before the war Jordan had lost contact with those frontiers of research which he himself started.

In the remainder of this section I recall Jordan’s most important and enduring discovery namely that of quantum field theory. The conceptual difference of what Jordan did as compared with Dirac’s “second quantization” is somewhat subtle. The latter was an artful transcription (the Fock space formalism was not yet available) of the Schrödinger multi-particle setting into a form of what in modern terminology is called the occupation number representation; for the formal backup of this step Dirac used his version of the transformation theory. Jordan on the other hand had the bold idea to bypass quantum mechanics and obtain the discontinuous structure of quantum matter from a quantization process applied view the one-particle Schrödinger wave function as a classical wave equation to be subjected to wave quantization rules in ordinary space i.e. a quantization imposed on the classical Lagrangian field formalism. He showed by a detailed calculation [25] that this procedure, projected onto the n-particle subspace, is equivalent to Dirac’s occupation number description. At that time Jordan met Oscar Klein in Copenhagen, both of them were guests of Niels Bohr. In a widely acclaimed paper they jointly extended the field quantization

¹⁴The total Hilbert space of a quantum physical system decomposes into coherent Hilbert subspaces which are subject to the superposition principle (i.e. the von Neumann axiom that with two physically realizable vectors any vector in their linear span is also physically realizable) is valid.

formalism to the case with interactions [27].

According to Darrigol [28] the idea of matter wave quantization in the presence of interactions was already on Jordan's mind in 1925 at the time Schroedinger's manuscript arrived in Goettingen. His uncompromising field quantization point of view was initially rejected for massive matter by his contemporaries (quantizing something which according to Schroedinger is already "quantal"?) in favor of Dirac's quantization approach which, apart from electromagnetic waves, started from classical particles. Even though Dirac contributed pivotal ideas to relativistic quantum theory as the Dirac equation, he only fully accepted Jordan's unified field quantization for light and matter around 1950. For Jordan and Klein the equivalence of field quantization to the Dirac multi-particle approach in the nonrelativistic setting was settled in their 1927 joint paper.

Dirac's reluctance to use wave quantization beyond light for massive matter had to do with the fact that the classical theory of massive matter was a theory of particles whose quantization led to a multiparticle theory in a high-dimensional configuration space. Dirac did not want to generalize the quantization procedure to concepts which have no classical reality. Jordan's quantization of waves in actual space amounted to a quantization of something which had no autonomous classical reality i.e. it is invented only for the quantization formalism to be applied to it. Dirac's criticism was a generalization of the already mentioned more specific argument "why quantize something which is already quantal" against Jordan's quantization of the Schroedinger wave function. His underlying philosophy, far from being an obstacle to the development of QFT, actually enriched its understanding. This is particularly evident in his positron theory, a particle theory in which the anti-particles of Fermions are pictured as holes in a "Dirac sea" of occupied negative energy states. However its importance was mainly transitory in that it led to intuitive geometrical arguments which in turn suggested rather straightforward calculations leading to experimentally verified correct perturbative results. The first textbooks on QFT were based on Dirac's particle-hole formalism [29]. But despite its historic importance Dirac's positron theory is not consistent as a particle theory; it runs into problems with vacuum polarization and it is not possible to base renormalized QED on it. In order to have a theory which is well-defined at least in each renormalized perturbative order one must use Jordan's charge-symmetric wave quantization which is automatically obtained by considering the Dirac field as a classical wave field subjected to the wave field quantization procedure. In this description the negative energy electrons are replaced by positive energy excitations with the opposite charge. More on the fascinating and fruitful controversy between Jordan and his adversary Dirac can be found in [28].

Jordan considered it as a significant advantage that his field quantization viewpoint allowed to incorporate "Pauli statistics" alternatively to Bose-Einstein statistics into one and the same formalism; in fact some of the wave field quantization ideas were already contained in the concluding sections of [12] which dealt with anti-commutation relations. He returned to this subject in a joint work with Wigner (submitted in January 1928) which contains significant ex-

tensions and clarifications [26]. This joint work was for a long time considered as incomprehensibly mathematical.

Nowadays the Jordan-Wigner paper is not only quoted as an alternative approach to Dirac's presentation of anti-commutation relations, but their method of construction also received particular attention in connection with nonlocal transformations which are capable of changing commutation relations. This is because these authors discovered an abstract (highly ambiguous) construction to write Fermions in terms of "Paulions" i. e. Pauli matrices (which however as a result of Jordan's lifelong love for quaternions appear in a quaternionic camouflage). The ordering prescription which they need in order to write concrete Fermion formulas in the Hilbert space of a discrete array of Pauli spin matrices loses its arbitrariness and becomes physically unique in case of the presence of a natural spatial ordering as in the transfer matrix formalism of the 2-dim. Lenz-Ising model [31]. This kind of nonlocal formula involving a line integral (a sum in the case of a lattice model) became the prototype of statistics changing transformations (Bosonization/Fermionization) in $d=1+1$ models of quantum field theory [32][33] and condensed matter physics [34]. With other words the Jordan-Wigner transformation specialized to $d=1+1$ sheds a different light onto the previously mentioned series of papers on the massless 2-dimensional model which Jordan published under the misleading title "neutrino theory of light" [35]. The Schwinger model is a 2-dimensional massless quantum electrodynamics which Schwinger proposed in order to illustrate that a gauge theory is not necessarily describing free charges, rather its observable content under certain circumstances may consist of neutral massive particles. In case of the Schwinger model the observable particle content consists of interaction-free scalar massive particles. One would like to picture such a situation in terms of confined or screened particles but in order to attribute some physical meaning to this terminology these hypothetical charged objects whose charge is allegedly screened or confined should be "liberated" in the limit of short distances. It turns out that the short distance limit of the massive Schwinger model is precisely the massless Jordan model which does provide the desired rich structure of liberated charges. Such a simple illustration of screening/confinement versus short distance charge liberation is only possible in $d=1+1$; free massless fields in higher dimensions do not carry a charge structure. Hence although the Jordan model, different from the intentions of its protagonist, has no bearing on a neutrino theory of light (for whose validity there is not the slightest hint within the Standard Model, which is our presently best particle theory), it is believed to serve as a useful analogy for the great unsolved problem of quantum chromodynamics which is the problem of quark confinement. A recent description of the Jordan model and its appearance in the massless limit Schwinger model can be found in [36].

The history of this model in conjunction with the Schwinger model reveals that conceptually rich models develop a life of their own and are even able to survive flawed reasons which served their original introduction. One can be sure that at the time of the "neutrino theory of light" mock song neither Jordan nor his satyric colleagues had any firm idea about what message this 2-dim. model was supposed to reveal. In the 30's the extraordinary subtle conceptual and

mathematical problems posed by interacting QFT was not yet appreciated and the idea of studying soluble models as a kind of theoretical laboratory in order to learn something about the classification and construction of interacting particles was still in the distant future. After Jordan's series of papers on the neutrino theory of light there were several other authors who published papers under the heading of neutrino theory of light without even mentioning how this can be achieved in the realistic $d=1+3$ case of physical photons and neutrinos. There were several authors who continued to publish articles on this 2-dim. model under the title "neutrino theory of light" without bothering how to get to light and neutrinos in $d=1+3$ QFT world. It remains somewhat incomprehensible why in none of these papers anybody commented on the discrepancy between title and content.

It is interesting to return to Dirac's reaction to the Jordan-Klein paper; different from the general enthusiastic acceptance of their approach he was somewhat disappointed that Jordan's version of second quantization did not yield more results beyond the ones he himself had worked out using his multiparticle configuration space description. He also was not much impressed by the formal incorporation of the anti-commutation structure into Jordan's wave field quantization setting. His first complaint was of course rendered unjustified as soon as the new field quantization approach was applied to the relativistic setting [30] where the interaction-caused vacuum polarization and real particle creation left no alternative than to finally abandon a particle quantization picture. But without vacuum polarization as for particles described by the nonrelativistic Schroedinger equation Dirac's particle quantization is indeed equivalent to Jordan's field quantization. It seems that his second point was more of an esthetical and philosophical nature since it appeared to him somewhat unnatural to invent a fictitious classical reality as e.g. Grassmann Fermions in functional integral representations. The modern autonomous formulation of QFT, often referred to as Local Quantum Physics (LQP) [37] or Algebraic Quantum Field theory (AQFT), abandons the quantization parallelism to classical fields. One of its novel and very deep results is the solution to the problem of statistics and (inner) symmetries. It is based on a dichotomy between local observables and localized charged fields [38]. The guiding principle is that whereas we have a good knowledge about observables we have no intuition of charge-carrying fields which lead to the so-called superselection rules¹⁵. The theory constructs charge fields as intertwining operators between the neutral vacuum sector of local observables and its higher charged representation. The theory is one of the conceptually and mathematically high points of what an autonomous formulation of QFT can achieve. The main result is that the para-Boson or para-Fermion statistics (higher dimensional representations of the symmetric group) can always be rewritten in terms of ordinary Bose/Fermi statistics and a representation of an inner symmetry group which is a subgroup of $SU(n)$ for a large enough n . Jordan had no chance to arrive at such a result since the conceptual prerequisites did not exist. However his mind was set in this direction and in a simple set-

¹⁵There is no coherent superposition between vector states of different charges.

ting of field theoretic oscillators he comments [39] on the relation between the permutation group and that of the linear group.

The continuation of the field quantization saga is well known. After the 1928 Jordan-Pauli paper on the spacetime treatment (overcoming the artificially caused separation into space and time of the canonical formalism) in which the free field Jordan-Pauli commutator functions appeared for the first time, the field quantization torch was taken over by Heisenberg and Pauli. The subsequent study of properties of the vacuum problems in QFT brought the QFT train to a grinding halt. After the second world war the new locomotive of renormalization led to a remarkable recovery and a new faith in the underlying principles of QFT but the team running the train had changed. Instead of the meanwhile grown up members of the Knabenphysik of the Goettingen days, the physicists in the driving seat consisted to a large degree of young Americans; the physics language changed from German to English.

It became gradually clear that the ubiquitous presence of so-called vacuum polarization clouds created in the presence of interactions convert interacting QFT into an infinite particle problem which has no counterpart in quantum mechanics. Since quantum fields are even in the absence of interactions inevitably rather singular objects, even the perturbative approach was initially ridden with conceptual and computational problems which only more than two decades after the discovery of field quantization were finally understood.

In 1929 at a conference in Kharkov¹⁶, Jordan gave a remarkable plenary talk [40]. In a way it marks the culmination of the first pioneering phase of QFT¹⁷; but it also already raised some of the questions which were partially answered almost 20 years later in the second phase of development (i.e. renormalized perturbation theory, gauge theory). In his talk Jordan reviews in a very profound and at the same time simple fashion the revolutionary steps from the days of matrix mechanics to the subsequent formulation of basis-independent abstract operators (the transformation theory which he shares with Dirac) and steers then right into the presentation of the most important and characteristic of all properties which set QFT apart from QM: Commutation Relations in agreement with Locality and Causality as well as the inexorably related Vacuum Polarization. Already one year before in his Habilitationsschrift [41] he identified the two aspects of relativistic causality namely the statistical independence for spacelike separations (Einstein causality, commutation of observables) and the complete determination in timelike directions (the causal shadow property) as playing a crucial role in the new quantum field theory. He ends his presentation by emphasizing that even with all the progress already achieved and that expected to clarify some remaining unsatisfactory features of gauge invariance (*Die noch bestehenden Unvollkommenheiten, betreffs Eichinvarianz, Integrationstechnik usw., duerften bald erledigt sein*), one still has to confront the following problem¹⁸:

¹⁶Landau, after his return from Copenhagen, went to the university of Kharkov which for a short time became the “Mecca” of particle physics in the USSR.

¹⁷The conference language at that time was still German.

¹⁸Here we have actualized in brackets the content of this sentence since “QED” (the only

Man wird wohl in Zukunft den Aufbau in zwei getrennten Schritten ganz vermeiden muessen, und in einem Zuge, ohne klassisch-korrespondenzmaessige Kruecken, eine reine Quantentheorie der Elektrizitaet zu formulieren versuchen. Aber das ist Zukunftsmusik. (In the future one perhaps will have to avoid the construction in two separated steps and rather have to approach the problem of formulating a pure quantum theory of electricity (a pure quantum field theory) in one swoop, without the crutches of classical correspondences. But this is part of a future tune.)

He returns on this point several times, using slightly different formulations (*...muss aus sich selbst heraus neue Wege finden*) for a plea towards a future autonomous formulation of QFT which does not have to take recourse to quantization which requires starting with an (at least imagined) classical analog.

These statements are even more remarkable if one realizes that they come from the protagonist of field quantization only two years after this pivotal discovery. A similar surprise was caused when somebody in the 70's re-discovered the proceedings of a 1939 conference in Warsaw which contain a talk by Oskar Klein on aspects of nonabelian gauge theories and their possible applications to particle physics. It seems that the knowledge about QFT in pre-war Europe was more advanced then the content of published papers led one to expected.

Jordan's critical attitude towards his own brain child of wave field quantization has the same philosophical origin as his antagonism to Dirac's particle approach. Being a positivist he had no problems with the physical non-existence of a classical structures to be quantized as long as their quantization gave the experimentally verifiable behavior of quantum matter. To him quantization from a uniform setting of classical matter waves was preferable to Dirac's wave quantization of light and particle quantization for massive matter. What bothered Jordan even about field quantization was the apparent necessity of a parallelism to classical physics which is inherent in the very procedure of quantization be it that of particles or that of fields. Clearly a fundamental physical theory should stand on its own feet and explain the classical behavior in certain limits and not the other way around, as the various quantization approaches. Neither Dirac's approach nor Jordan's own was able to meet this plea for an autonomous approach to QFT.

In retrospect it is clear that an autonomous approach to QFT had no chance before the formalism of interacting field quantization was fully developed to the level of conceptual sophistication of renormalized perturbation theory as in the work of Tomonaga, Feynman, Schwinger and Dyson in the end of the 40's . Only after this work the mathematical status of the inherent singular nature of pointlike fields became gradually known and arguments which permit to avoid infinities in intermediate computational steps were proposed. An autonomous formulation of QFT which is capable to classify and to construct models does not yet exist. What is referred to as LQP [37] or AQFT is rather a set of physically motivated mathematically well-formulated requirements which allow to derive interesting general consequences. Only in $d=1+1$ one knows additional

existing QFT in those days) was used in the same way as "QFT" in present days.

structures which permit a partial classification and construction of models. But the progress obtained during recent years nourishes the hope that a complete knowledge of autonomous QFT including a classification of models and a proof of their mathematical existence is possible. None of these recent attempts in LQP can be traced back to Jordan's 1929 plea for a QFT without classical crutches. Nevertheless it is encouraging to know that plea for an autonomous understanding of QFT is even older than renormalization theory.

Jordan's expectation about a rapid understanding of the "imperfections of gauge theories" at the time of his Kharkov talk may have been a bit optimistic since the Gupta-Bleuler formalism (much later followed by the more general BRST approach) only appeared 20 years later [43]. For Jordan gauge theory was an important issue already in 1929.

Finally one should add one more remark which shows that Jordan and Dirac had a very similar taste for what both considered the important problems. In 1935 Dirac presented a beautiful geometric argument which establishes that it is possible to introduce a magnetic monopole into quantum electrodynamics as long as the strength of the monopole times the value of the electric charge fulfill a quantization law. Shortly afterwards Jordan came up with an interesting very different algebraic argument for the magnetic monopole quantization which he based on the algebraic structure of bilinear gauge invariants [44]. He published a short note in *Zeitschrift fuer Physik* at a time when its international reputation had suffered from the deteriorating political situation¹⁹. Hence it is not very surprising that this paper was hardly noticed. The independent re-discovery of its main content (including Jordan's tetrahedron argument) by R. Jackiw [45] certainly shows that the problem remained non-trivial and interesting almost 70 years later. The problem of how these kind of arguments have to be amended in order to take account of renormalization has according to my best knowledge not been satisfactorily answered. Jordan's monopole paper is one in series of publications in which gauge invariance based on exponential functions of line-integrals over vectorpotentials play a central role. It is clear that what Jordan really was up to achieve was a gauge invariant formulation of the basic dynamical equations of quantum electrodynamics. This he did not achieve, inasmuch as other attempts 30 years later in particular by Stanley Mandelstam also failed. Although gauge theory aims at gauge invariant observables and as such fulfills Heisenberg's dictum that the use of non-observables must be avoided, it does use unobservable negative metric ghosts in intermediate steps. Their use is reminiscent of a catalyzer in a chemical reaction which disappears after having done its job. Whereas their use in chemistry is well-understood, there is no fundamental understanding why one needs such catalyzers for the description of interactions involving higher spin equations.

Since Jordan left the area of QFT in the middle of the 30s and became disconnected from the discoveries thereafter; we do not know how he would have

¹⁹According to Peter Bergmann who left Germany because of the Nazis and build up a very active and successful relativity group in Syracuse during the 50's and during that time visited Jordan in Hamburg: "a publication in *Zeitschrift fuer Physik* after 1934 and during the war was a first class burial".

reacted to the amazing progress after the war brought about by renormalization theory in case that he became aware of it. Probably contrary to expectations of most of the leading theorist during the 30's and in particular Jordan, this impressive progress after the world war II was obtained by a careful conceptual distinction between formal and physical (observed) Lagrangian parameters as well as by a systematic replacement of the old quantum mechanic inspired formalism by a more intrinsic field theoretic relativistic setting; in the words of Weinberg the success was achieved in a rather conservative manner [46]. Renormalization theory may have been too conservative in order to fit Jordan's radical expectations. In strange contrast to his political stance, in physics Jordan was a visionary revolutionary.

References

- [1] M. Born and P. Jordan, *Zur Quantenmechanik*, Zeitschr. für Physik **34**, (1925) 858
- [2] J. Franck and P. Jordan, *Anregung von Quantensprüngen durch Stoesse*, Springer Berlin 1926
- [3] A. Pais, *Inward Bound*, Clarendon Press, Oxford University Press 1986
- [4] M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill 1966
- [5] M. Born, W. Heisenberg and P. Jordan, *Zur Quantenmechanik II*, Zeitschr. für Physik **35**, (1926) 557
- [6] M. Born, *Mein Leben*, Nymphenburger Verlagsbuchhandlung, München 1975, page 301
- [7] E. Schücking, *Jordan, Pauli, Politics, Brecht, and a Variable Gravitational Constant*, Physics Today October 1999, page 26-31
- [8] P. Jordan, *Über das thermische Gleichgewicht zwischen Quantenatomen und Hohlraumstrahlung*, Zeitschr. für Physik **33**, (1925) 649
- [9] P. Jordan, *Bemerkungen zur Theorie der Atomstruktur*, Zeitschr. für Physik **33**, (1925) 536
- [10] P. Jordan, *Über eine neue Begründung der Quantenmechanik I*, Zeitschr. für Physik **40**, (1926) 809
- [11] P. Jordan, *Über eine neue Begründung der Quantenmechanik II*, Zeitschr. für Physik **41**, (1927) 797
- [12] P. Jordan, *Zur Quantenmechanik der Gasentartung*, Zeitschr. für Physik **44**, (1927) 473
- [13] F. London, Zeitschr. für Physik **40**, (1926) 193

- [14] Matthew Norton Wise, *Pascual Jordan: quantum mechanics, psychology, National Socialism*, in: *Science, Technology and National Socialism*, Monika Renneberg, Mark Walker (eds.), Cambridge 1994, 224-254
- [15] J. Cornwell, *Hitler's scientists, Science, War and the Devil's Pact*, Viking N4 2000
- [16] S. S. Schweber, *QED and the men who made it; Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga*, Princeton University Press 1994
- [17] P. Jordan, *Die Neutrinotheorie des Lichts*, Zeitschr. für Physik **93**, (1935) 464
- [18] Richard H. Beyler, : *Targeting the organism. The scientific and cultural context of Pascual Jordan's quantum biology, 1932-1947*, Isis, 87 (1996) 248
- [19] W Heisenberg and P. Jordan, *Anwendung der Quantenmechanik auf das Problem des anomalen Zeemaneffekts*, Zeitschr. für Physik **37**, (1926) 263
- [20] P. Jordan, *Über die Multiplikation quantenmechanischer Größen I*, Zeitschr. für Physik **80**, (1933) 285, P. Jordan, *Über die Multiplikation quantenmechanischer Größen II*, Zeitschr. für Physik **87**, (1934) 505
- [21] P. Jordan, J. von Neumann and E. Wigner, *On the algebraic generalization of the quantum mechanical formalism*, Annals of Mathematics Princeton **35**, (1934) 29
- [22] E. M. Alfsen and F. W. Shultz, *State space of Jordan-Algebras*, Acta. Math. **140**, (1978) 155
- [23] J. B ellissard and B. Iochum, *Homogeneous self-cones versus Jordan algebras, the theory revisited*, Ann. Inst. Fourier **28**, (1978) 27
- [24] A. Connes, *Characterisation des espaces vectoriels ordonnes sousjacents aux algebres de von Neumann*, Ann. Inst. Fourier **24**, (1974) **121**
- [25] P. Jordan, *Über Wellen und Korpuskeln in der Quantenmechanik*, Zeitschr. für Physik **45**, (1927) 765
- [26] P. Jordan and E. Wigner, *Über das Paulische  quivalenzverbot*, Zeitschr. für Physik **47**, (1928) 631
- [27] P. Jordan and O. Klein, *Zum Mehrkörperproblem in der Quantentheorie*, Zeitschr. für Physik **45**, (1927) 75
- [28] O. Darrigol, *The origin of quantized matter fields*, Hist. Stud. Phys. Sci.16/2, 198
- [29] W. Heitler, *The quantum theory of radiation*, Clarendon Press, Oxford 1936
- [30] W. Pauli and P. Jordan, *Zur Quantenelektrodynamik ladungsfreier Felder*, Zeitschr. für Physik **47**, (1928) 151

- [31] T. Schultz, D. Mattis and E. Lieb, *Two-dimensional Ising model as a soluble problems of many Fermions*, Rev. Modern Phys. **36**, (164) 856
- [32] W. Thirring, *A soluble relativistic field theory*, Ann. of Phys. **3**, (1958) 91
- [33] E. Abdalla, M. C. B. Abdalla and K. Rothe, *Non-perturbative methods in 2-dimensional quantum field theory*, World Scientific 1991
- [34] J. M. Luttinger, J. Math. Phys. **4**, (1963) 1154
- [35] P. Jordan, *Beitraege zur Neutrinotheorie des Lichts*, Zeitschr. fuer Physik **114**, (1937) 229 and earlier papers quoted therein
- [36] B. Schroer, Annals Phys. **321** (2006) 435-479
- [37] R. Haag,
- [38] S. Doplicher and J. Roberts, Why is there a field algebra with compact gauge group describing the superselection structure in particle physics, Comm. Math. Phys. **131** (1990) 51
- [39] P. Jordan, *Der Zusammenhang der symmetrischen und linearen Gruppen und das Mehrkörperproblem*, Zeitschr. für Physik **94**, (1935) 531
- [40] P. Jordan, *The Present State of Quantum Electrodynamics*, in *Talks and Discussions of the Theoretical-Physical Conference in Kharkov* (May 19.-25., 1929) Physik.Zeitschr.XXX, (1929) 700
- [41] P. Jordan, *Kausalitaet und Statistik in der Modernen Physik*, Die Naturwissenschaften **5**, (1927) 9
- [42] *The Oskar Klein memorial Lectures*, vol. **1**, G. Ekspong Editor, World Scientific 1991
- [43] S. N. Gupta, *Theory of longitudinal photons in quantum electrodynamics*, Proc. Phys. Soc. (London) **A 63**, (1950) 681. K. Bleuler, *Eine neue Methode zur Behandlung der longitudinalen und skalaren Photonen*, Helv. Phys. Acta **23**, (1950) 567
- [44] P. Jordan, *Zur Quantenelektrodynamik. III. Eichinvariante Quantelung und Diracsche Magnetpole*, Zeitschr. für Physik **97**, (1935) 535
- [45] R. Jackiw, Int.J.Mod.Phys. **A19S1** (2004) 137
- [46] S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields I*, Cambridge University Press 1995

Exporting the Quantum Revolution: Pascual Jordan's Biophysical Initiatives

Richard H. Beyler
Portland State University, Department of History
P.O. Box 751, Portland, OR 97201
beylerr@pdx.edu

Pascual Jordan co-created one of most fundamental transformations in the history of physics through his work in the quantum theory. Following on these changes in physics, Jordan also argued for a similar transformation in the life sciences, as well as the philosophy underwriting the sciences as a whole.ⁱ In accord with what he called “radical positivism,” he argued that a new approach to biology, informed by the latest finding of physics, would help rid them of metaphysical prejudices. An article in *Erkenntnis*, the house organ of the logical empiricists, suggested the character and scope of these transformations:

The powerful deepening which physical knowledge has experienced since 1900 ... demands that its consequences be pursued beyond the domain of physics into that of the sciences of organic life.... Biology ... has just in recent times begun ... to make itself free from those dogmatic prejudices which have now been denied by physics itselfⁱⁱ

The article delineated the biological concepts that Jordan believed to be “dogmatic prejudices,” deserving of elimination from science: materialism, mechanism, and determinism, embodied in the heritage of figures such as Julien de la Mettrie, Pierre Laplace, and Emil Du Bois-Reymond. Or, as he wrote in a 1932 article: “*L’homme machine*: this idea is simply incorrect.”ⁱⁱⁱ Jordan’s picture of the history of materialism and mechanism in biology was arguably oversimplified.^{iv} Nevertheless, relevant for us here is not the accuracy of Jordan’s interpretations of biology, but rather the relation of his biophysical theorizing to his philosophical and political positions.

Jordan’s attempt to export the quantum revolution to biology had a diverse range of sources, inspirations, and goals. He identified several specific problems in biology and sought to solve them with technical and experimental innovations in that field, but the quantum revolution also represented for Jordan a specific philosophical approach to scientific problems and, beyond that, a response to a wide-ranging set of cultural-political preoccupations. All of these initiatives were controversial—above all, Jordan’s overt political agenda. As a result, his audience was frequently receptive to parts of his biological theories, but rarely receptive to them in their totality. This essay will first briefly describe several aspects of the background to Jordan’s biological theorizing, then characterize the theory itself and how Jordan interpreted it in a political vein, and close with an account of his unsuccessful attempts in the late 1940s to realize these ideas in a specific institutional form.

Niels Bohr on Complementarity and Biology: The Philosophical Inspiration

Niels Bohr was an important mentor for Jordan, as he was for many of that generation of theoretical physicists; concretely, Jordan held a post-doctoral fellowship in Copenhagen in 1927. What came to be called—whether fairly or erroneously—the “Copenhagen Interpretation” of quantum physics was not a coherent philosophical system, but rather a set of emphases and methodological approaches.^v Chief among these was Bohr’s conception of complementarity, a principle which putatively applied not only to atomic physics but also, *mutatis mutandi*, to other domains of knowledge, including biology. During Jordan’s time in Copenhagen, Bohr began to explore such possible interdisciplinary applicability of this concept in somewhat more depth.^{vi}

Applying the complementarity concept to the life sciences, Bohr argued that there were limitations on the extent to which a living organism could be subjected to an analysis down to the atomic level; the very undertaking of such an analysis would produce a profound alteration in the object of study, i.e., the death of the organism. So while understanding atomic phenomena might be necessary to understand single organic phenomena—Bohr cited as an example light perception—such an analysis could not produce in itself a complete description of the organism as a totality. From this perspective, the organism as such constituted the basic observation which life science needed to take into account. Bohr expressed it thus: “the very existence of life must in biology be considered as an elementary fact, just as in atomic physics the existence of the quantum of action has to be taken as a basic fact that cannot be derived from ordinary mechanical physics.”^{vii} Crucially, Bohr thus believed the key problem in biology to be the stability of organisms, just as tackling the question of the stability of the atom had been central to Bohr’s articulation of the new quantum theory.

As we will see below, this concern with the stability of organic forms led Bohr to become one of the sharpest critics of Jordan’s biological ideas. Bohr, namely, came to believe that Jordan’s professed inspiration from Bohr was hardly an authentic application of the complementarity concept, but rather a profound misappropriation. But this was not the only reason for Bohr’s unease: the cultural-political lessons Jordan drew from his biophysics disturbed Bohr as well.^{viii}

Target Theory The Experimental Program

Bohr’s inspiration for Jordan’s biophysical theorizing was primarily philosophical and rather abstract. Concrete evidence for his emerging ideas Jordan found in the so-called target theory, which had then been under discussion by radiation biologists for about a decade. Target theory was introduced more or less independently by several researchers in various locations in the early 1920s, including Friedrich Dessauer and a series of collaborators in Germany, J. A. Crowther in England, and Fernand Holweck and Antoine Lacassagne in France. Drawing on the new quantized model of radiation, and using statistical techniques familiar to physicists, the theory assumed that when irradiated by, e.g., x-rays, organisms absorbed the impinging energy not in a continuous fashion but in discrete packets. e.g., ionizations. A statistical analysis of the experimentally produced curves relating dosage of radiation to the scope of the effects produced—deaths, mutations, etc.—showed that many such absorptions remained without any significant effect. Evidently only a fraction of the ionizations occurred in a sensitive zone within the organism, or indeed a sensitive zone within a given cell, thereby producing noticeable damage; the absorptions outside these sensitive zones remained without appreciable effect on the organism. The analogy was of a scattering of shots towards a target, with some striking it and some missing. A statistical analysis of “hits” and “misses,” combined with an understanding of (or educated guess about) the physiological processes in play, would give

a picture of the size, and perhaps also the nature or structure, of the sensitive “target region” in the organism. Holweck and Lacassagne termed the technique “statistical ultramicroscopy”; the target theorists hereby hoped to gain information about organic structures at the smallest possible scale.^{ix}

While the target theory underwent significant modification through the 1920s, its core ideas remained the same. Here was, evidently, an innovation which brought the experimental apparatus—x-rays, ultraviolet light, (eventually) neutrons, etc.—and the mathematical techniques of physics into biology with the promise of revealing secrets of the organism down to an unprecedentedly small scale, in which quantum effects became relevant.

The “Domeier” Essays: The Political Agenda

Fascinating as the application of quantum-theoretical ideas promised to be for biology, Jordan’s interest in the subject went beyond scientific problems. Throughout his life, and in a variety of ways, Jordan linked scientific and cultural-political concerns. The common factor in these endeavors was his professed antagonism to materialism in all its forms and a consequent series of affiliations with perceived opponents of materialism in the social sphere, ranged on the right wing of the political spectrum, but varying in their specific identity with the turbulence of twentieth-century German history. Jordan’s associations with National Socialism have been undoubtedly the best known and discussed among historians, but it is important to remember that the Third Reich was only one chapter—albeit an especially salient one—in a longer story of commitment to right-wing political causes.

Relevant as a background to Jordan’s early biophysical ideas are, particularly, a series of articles he wrote under a pseudonym for the conservative, *völkisch* (though not specifically Nazi) cultural-political magazine *Deutsches Volkstum* from 1930 to 1932.^x These articles described, from a conservative “mandarin” perspective, a set of interrelated crises in German educational, religious, cultural, and economic life. A 1930 article framed the cause of these crises as a reaction to an externally imposed feeling of powerlessness:

Since 1918 [i]nstead of a subject we are an object of world politics All those who have anything to do with the government of our *Reich* . . . must be inwardly filled with feelings which result with law-like necessity from the pressing sensation of powerless dependence [I]nferiority complexes create the necessity of a compensation at any price. . . . Bureaucratic pomposity and bureaucrats’ terrorizing of [their] own *Volk* comrades produce the needed compensation.^{xi}

Hence national psychotherapy of sorts was needed to facilitate the renewed assertion of will directed outward. Similar ideas fascinated by the release of a hitherto contained, or constrained, violent power appeared in “Domeier’s” reflections on technology:

the inner nature of technology appears in the warlike weapon. Armored cruisers, submarines, machine guns, airplanes, gas bombs and heavy artillery: those are things . . . which mercilessly reveal the demonic in technology. . . . Only in the service of war can technology unfold its true nature^{xii}

Yet another article analyzed education from this thesis on power and control, and criticized the (allegedly) artificial machinations of governmental officials (namely, those of a left-liberal persuasion) to diminish the (allegedly) natural differences, including difference in intellectual capacity, among different classes of people. Ultimately, argued “Domeier,” such social leveling would damage the structure of society:

no political will can remove facts of biology from the world Naturally: if one is of the opinion that it should be the duty of the state to equalize the mistakes of the dear Lord ... then it is consistent to help bring about the state of the structureless mass through by the leveling of differences in education
....^{xiii}

Precisely this notion of the “structureless mass” would reappear in Jordan’s biophysical theorizing, as the antithesis of the finely structured, and therefore both vital and vulnerable, living organism.^{xiv} The “Domeier” essays, in other words, mapped Jordan’s cultural-political views onto a biological metaphor: hierarchies of power and ability corresponded to vitality, where as efforts to establish equality and to restrain the exercise of power corresponded to decay and death.

Jordan’s First Biophysics Article, 1932

After Jordan received an appointment as an *Extraordinarius* (roughly, associate professor) at the University of Rostock in 1929, Bohr wrote his congratulations and expressed the hope that, with Rostock located so near to Copenhagen, they could continue their nascent discussion of biological matters.^{xv} After Jordan attended a March 1931 conference in Copenhagen, he prepared a manuscript on the subject and sent it to Bohr. After revisions based on Bohr’s critique, Jordan published the article in *Die Naturwissenschaften* in November 1932.^{xvi} As we will see, however, Jordan’s response to Bohr’s criticisms was insufficient in the latter’s eyes.

In this article Jordan argued that a more or less complete physical-chemical analysis of the organism would eventually bring the investigator to the limits of causality; for the case of a human being, specifically, any such “penetrating observation” would correlate with an “attack on the constitution of a person.” For example, x-rays produced an “altering incursion” that was similar to the perturbation entailed in observing electrons which was at the root of the indeterminacy relation. Therefore, just as classical determinism encountered its limits in atomic physics, so it might also encounter such a limit in biology. The critical question was “whether organic forms ... can be seen as essentially macroscopic forms [or not]: ... [C]ausal determinativeness of the reactions of an organic being ... exists only if the entire causal chain of these reactions takes place in the macroscopic domain.”^{xvii} Jordan guessed that the answer was no: not all of the relevant processes in the organism were macroscopic, and therefore these processes were not entirely causally determinate. Possible candidates, according to the state of the art of physiological research, might include sense perceptions and the processes of cell reproduction. In any event, more research was needed on biological processes which might, hypothetically, bring events at the atomic or molecular level into play for the life of the organism as a whole.

Jordan suggested hereby a model of the organism as a structure which took events originating at the atomic level and amplified them into macroscopic processes—like a Geiger counter, as he later wrote.^{xviii} In living organisms there were two zones (not of equal physical size): a zone of causal determinism and a zone which contained, as he put it in a letter to Bohr, the “actual ‘centers’ of life.”^{xix} These centers of live in the latter zone had a directing, stabilizing function. If they were unable to express themselves through amplifier structures leading into the former zone, that meant death. Jordan’s hypothesis was hence termed the amplifier theory (*Verstärkertheorie*).

Jordan’s 1932 article was not entirely a bolt from the blue, since other scientists and philosophers expressed similar ideas about the same time. The Berlin philosopher Hans Reichenbach, who was closely associated with the logical empiricists, advanced a similar hypothesis in a leading medical journal that same year:

it is ... quite conceivable that through a special interconnection the uncertainty of an individual elementary event also can sometimes have an effect in mass phenomena. As an accidental crystal defect in the metal wing of an airplane can lead to the loss of people's lives ... so could ... the uncertainty of atomic processes occasionally reach out into the macroscopic
....^{xx}

Philosopher-biologist Ludwig v. Bertalanffy, citing American biologist Ralph Lillie who in turn cited Jordan's prior work in quantum physics, likewise argued that sub-microscopic statistical fluctuations could "spread out to the entire organism in consequence of the extraordinary ability of the organism to transfer changes of state from a single spatial point to the entire system."^{xxi}

But there were also, from early on, critics of the amplifier theory who insisted that it rested on a fundamental misconception. The functioning of organisms, they pointed out, relied not on discontinuity but rather on continuity. These critics included Bohr himself. Whereas Bohr apparently held his own application of the complementarity idea to biology to be primarily heuristic or epistemological in nature, he perceived the amplifier theory to subsume biology directly within quantum physics. Jordan, Bohr felt, had not made this distinction clear, and was hence misleading other scholars about the real content of Bohr's biological ideas.^{xxii} Max Delbrück, then a young physicist working at Lise Meitner's physical section of the Kaiser Wilhelm Institute for Chemistry, reported to Bohr following a 1934 lecture by Jordan to the Gesellschaft für Wissenschaftliche Philosophie that Jordan "misrepresented" Bohr's ideas and that the biologists in response had "scorned" the physicists. Bohr ought to clear up the matter, Delbrück urged.^{xxiii} Bohr's definitive response came in a 1937 lecture which

condemn[ed] as irrelevant any comparison of living organisms with machines, be these the relatively simple constructions contemplated by the old iatro-physicists, or the most refined modern amplifier devices, the uncritical emphasis of which would expose us to deserve the nickname of "iatro-quantists."^{xxiv}

Other biologists and physicians presented more detailed critiques.^{xxv} Eugen Bleuler, the leading authority on the psychiatry of schizophrenia, believed Jordan's conception of strict causality was a straw figure, irrelevant in any event to practical work in biology or psychology.^{xxvi} The Nobel-Prize-winning biochemist Otto Meyerhof argued that the physiology and seeks "to make possible that which, according to the supposition of the physicists, ought to be impossible to carry out: simultaneously to investigate and to preserve unchanged the process of life."^{xxvii} Botanist Erwin Bünning pointed out that life depended precisely on cause-and-effect responses from the organism to its environment and that organisms sustained life by interacting causally with their environment. According to Bünning, therefore, mutations and similar phenomena were deleterious aberrations—exceptions which proved the rule—whereas Jordan defined mutation as the supremely organic phenomenon.^{xxviii} Max Hartmann, co-director of the Kaiser Wilhelm Institute for Biology, punctuated his critique with an assertion which would be particularly stinging to a self-professed empiricist such as Jordan: amplifier theory, according to Hartmann, was "not proved by the slightest experimental biological fact"^{xxix} Clearly, if Jordan was to sustain his effort to extend the quantum revolution to biology, he needed to convince more biologists.

The Move to Radiation Biology

In response to his critics, Jordan asserted the right of physicists to speak on biological questions: the “powerful deepening of knowledge” in physics “demanded” the extension of these ideas into new domains.^{xxx} However, he also sought to make more concrete the hitherto rather abstract, even vague amplifier idea. Above all, from about 1934 on Jordan argued that genetic phenomena—discontinuous variations, mutations, etc.—were linked to microphysical discontinuities. Genetics thus became for Jordan the chief field in which to look for empirical evidence in support of the amplifier theory, particularly through the target theoretical approach. Within a few years, this shift towards a more experimentally grounded and methodologically specific approach to biophysics had left clear traces in Jordan’s pattern of publication.^{xxxi} Up to 1937, Jordan’s biological articles appeared in general journals such as *Erkenntnis* and *Die Naturwissenschaften*. From then on, while he continued to write on this subject for popular and general scientific audiences, his biological articles often appeared in specialized, technical biological journals such as *Radiologica* (where he also served on the editorial board), *Archiv für die gesamte Virusforschung*, *Biologisches Zentralblatt*, or *Zeitschrift für Immunitätsforschung*. In other words, Jordan now sought to convince an audience of working biologists of the validity of his biophysical theories.

Concomitantly, from the mid-30’s onward there were also new personal interactions with scientists in radiation genetics, sense physiology, oncology, and immunology. Perhaps most important for the development of Jordan’s biophysics were contacts with researchers at the Genetics Department of Kaiser Wilhelm Institute for Brain Research in the Berlin suburb of Buch, which was directed by the Russian geneticist Nikolai Timoféeff-Ressovsky.^{xxxii} In a letter Jordan, Timoféeff mentioned “our little ‘gab group’”; Jordan and Karl G. Zimmer, Timoféeff’s main physicist collaborator, planned to write together a text on quantum biology, but outbreak of the war led them to put off these plans (indefinitely, as it turned out). Jordan frequently attended colloquia at the Buch institute.^{xxxiii} Jordan’s efforts over several years to obtain an appointment in Berlin, eventually successful in 1943, were largely motivated by a desire to continue and increase his interactions with the Buch biophysicists.^{xxxiv}

During the late 1930s and early 1940s, Timoféeff-Ressovsky and his group were intensively investigating the physical nature of the gene. Among the inspirations for this line of inquiry was the suggestion in 1927 by N. K. Koltzoff that chromosomes were single molecules, of small groups of molecules.^{xxxv} Similarly, in 1926, Herman J. Muller—who had also introduced x-ray mutagenesis as a field of experimental inquiry—proposed that the gene was a particle of a few hundred protein molecules; by 1936, he was describing the size of the gene as on the order of a single protein molecule.^{xxxvi} Timoféeff had close connections to both of these scientists (Muller, in fact, paid an extended visit to Timoféeff’s laboratory in 1932-33) and following on their suggestions he began a series of target-theoretical experiments on that favorite experimental object of geneticists, the fruit fly. His main collaborator on this program was Zimmer, an experimental physicist with experience working with x-rays in a clinical setting. The young theorist Delbrück also became a member of the research team.^{xxxvii}

In 1935 Timoféeff, Zimmer, and Delbrück published a long article which used a target-theoretical argument to conclude that the gene was a “grouping of atoms.” In x-ray mutagenesis, a single ionization occurred within a sensitive zone whose size was of this order of magnitude of a large organic molecule. A mutation, then, was most probably some alteration of the molecular structure caused by this ionization.^{xxxviii} This article, colloquially called the “Dreimännerarbeit” of genetics—the echo of the nickname of the 1925 matrix mechanics article by Max Born, Werner Heisenberg, and Jordan was no accident—appeared to be the first conclusive experimental demonstration of the molecular size of the gene. Eventually, the paper proved to be right but for the wrong reasons. By 1952 several researchers (including Muller) had clearly shown that there were several gaps

in its chain of argument, but by that time there was an abundance of other evidence pointing to the same conclusion.^{xxxix} That development, however, is peripheral to the main point here, which is that from 1935 onward Jordan regarded the Timoféeff-Zimmer-Delbrück paper as the clearest evidence for the amplifier theory. Experimental radiation biology, Jordan held, had demonstrated empirically that non-deterministic quantum physical event (the ionization within the molecular structure that constituted the gene) might alter other, larger organic structures in such a way as to have macrophysical consequences (the physiological effects of the mutation).^{xi}

Jordan's contributions to radiation biology over the next several years involved various attempts to bring other experimental results under the umbrella of the amplifier theory. He elaborated the statistical sophistication of target theory by, for example, and developing mathematical techniques to handle the "saturation effect" of multiple "hits" impinging upon a target zone in the case of radiation such as neutrons which produced a high density of ionizations. Jordan also developed target-theoretical models for a diverse range of physiological phenomena such as immune responses, sense perception, the actions of hormones and poisons.^{xli} In additional step of theorizing about the physical underpinnings of target-theoretical phenomena, Jordan suggested a quantum-resonance model for gene replication; however, this model was refuted in a 1940 paper by Delbrück and Linus Pauling.^{xlii}

Quantum Biology as Cultural-Political Metaphor

While Jordan sought to ground the amplifier theory in specific experimental evidence, it also served him as a cultural and political metaphor. As he wrote in 1941, "not only with [the] calculating mind, but also with an inner empathy of which the past would have been incapable, our age will comprehend the new picture of the life of the cell which has accrued to us from quantum biology"^{xliii} As of this date—perhaps the high-water mark of the Third Reich's military success—these "empathetic" associations were (to borrow both Weberian and Freudian terms) a rationalization of charismatic authority. In biology as well as in politics, Jordan rejected determinism and mechanism, and he valorized the autonomous self unconstrained by bureaucratic mechanisms.

Recall that, according to Jordan's amplifier theory, the difference between the inanimate and the animate was that the former lacked hierarchical structure, whereas the latter was structured at all levels, enabling control from the apex of the hierarchy.^{xliv} This notion was behind the first articulation of the theory in 1932, the claim that genes were single molecules in 1934, and the further elaboration of target theory in the late 1930s. Jordan's aim was to identify these centers of vital control. Thus, as he wrote in *Biologisches Zentralblatt*: "The general results of genetics leave no doubt that, above all, the cell nucleus or rather the genes contained therein belong to this steering system of the cell"^{xlv} The apparently wide-ranging effects of single mutations, in particular, provided evidence of this perspective—e.g., in the accounts of evolutionary history as experienced in natural populations delineated by Theodosius Dobzhansky.^{xlvi} Moreover, by 1941 Jordan had become decidedly convinced in the non-inheritance of acquired traits—i.e., in the genes' independence from cytoplasmic influence. This was a marked shift from his earlier position. Still in the early 1930s, Jordan supported various neo-Lamarckian ideas, a perspective that was by no means unknown among German biologists in this period.^{xlvii} But the focus on the autonomous power of the gene had led him to different conclusions by the time he wrote a popular version of the theory in 1941, *Physik und das Geheimnis des organischen Lebens*. The lessons of biophysics, he wrote there, buttressed

the racial-political conceptions which have victoriously prevailed in the great revolution of our time. There is no inheritance of acquired characteristics

which, for example, can make the America's Negroes more genetically similar to the Whites through an education, schooling, etc., extending over generations.^{xlviii}

Moreover, Jordan saw in his biophysics an explanation of why, as he wrote, as it appeared in the Germany of 1941—that the “parliamentary-democratic idea lives no longer” and that nations needed “a directing will of the greatest strength and rigor.”^{xlix} Echoing “Domeier’s” complaints about social leveling during the Weimar Republic, Jordan now asserted that the parliamentary-democratic system corresponded to the macrophysical domain where statistical fluctuations were averaged out. It was inanimate. Thoroughgoing hierarchical structures, however, could amplify individual fluctuations, and this was the sign of life. This biophysical situation corresponded to the dictatorial political order; only the dictatorial state could achieve the “subjectivity” and the power which “Domeier” had longed for in the early 1930s.

But we should keep in mind that the National Socialist rhetoric did not necessarily match the reality. Not organic wholeness, but massive state intervention into all aspects of life was the everyday reality of the Third Reich. As Ralf Dahrendorf once noted, “the Nazi regime tried everywhere to replace organic structures by mechanical formations.”^l Or, in the words of Detlev Peukert: “A central feature of the ‘modernisation’ that was fostered [by the Nazis] ... was the atomisation of traditional forms of social integration and modes of behaviour.”^{li} In everyday experience, dictatorial leadership and organic wholeness in the social sphere were anything but mutually correlated.^{lii} Translated back to biological terms, just this was the critique offered against the amplifier theory by, e.g., Erwin Bünning. A consistent, predictable response to the environment was what enabled organisms to thrive, not inscrutably random acts of will. This emphasis on stability and continuity also informed the critique of the amplifier theory implicit in Erwin Schrödinger’s lecture and book *What Is Life?*^{liii}

The Abortive Institutionalization of Quantum Biology^{liv}

In a 1942 article Jordan sketched an ambitious plan to create an institute for quantum biology, emphasizing the interdisciplinary intellectual collaboration and efficient sharing of resources which the institute would require. Jordan admitted that this plan of a quantum biology research institute could not be completed before the end of the war. In his own words, it was “a project ... whose realization would presuppose the German victory to be already achieved, but which after the victory could stand as symbol and representation of the unbounded means of power of the new *Reich*.”^{lv} After German defeat, the available means of power was most definitely bounded, but Jordan still pursued the idea of an interdisciplinary research institute, namely with scientific leaders in the Soviet Occupation Zone / German Democratic Republic.

Beginning in September 1946, via the mediation of his *Duzfreund* Robert Rompe, who had become professor at the University of Berlin and a major official in the higher education department of the Education Ministry of the Soviet Occupation Zone, Jordan entered into discussions with the German Academy of Sciences about the facilities of the erstwhile Kaiser Wilhelm Institute in Berlin-Buch.^{lvi} The institute itself was damaged, much equipment had been confiscated by the Soviets, and several members, including Timoféeff-Ressovsky and K. G. Zimmer, had been taken to the Soviet Union.^{lvii}

On 20 September 1946 Jordan sent Rompe a proposal for an “institute for biophysics and medical physics” which, he noted, would both advance the field and take himself (Jordan) in a direction he wished to go personally. The scheme was simplified from Jordan’s 1942 article, and it now emphasized medical applications. Absent—it hardly needs to be said—was any political analogizing. Upon query back from the Academy, via Rompe, Jordan also

provided suggestions for the leading personnel, including Helena Timoféeff-Ressovsky, Wolfgang Heubner, and Hans Kienle.^{lviii} Meanwhile, Rompe, together with Robert Rössle, secretary of the Mathematical-Scientific Class of the Academy, submitted a more detailed plan to the Health Department of the Soviet Military Government for a “Consortium for Medical Biochemistry and Biophysics.” This proposal listed Jordan, “now [in] Göttingen,” as its “scientifically most significant worker.” To carry out these plans, the Academy requested that the military government give them control over the former Kaiser Wilhelm Institute as well as an adjoining clinic. But there was a political problem: Soviet authorities insisted that Jordan’s political past would exclude his being director.^{lix}

Meanwhile in West Germany, Jordan, having been denazified with testimonials from Werner Heisenberg and Wolfgang Pauli, inter alia, received offers of professorships (albeit not permanent) at Freiburg and Hamburg, and accepted the latter.^{lx} Jordan wrote to both Rompe and Rössle, however, that his interest in the reconstruction plans for the Berlin institute remained strong. In the official letter to Rössle, he said he could offer advice on recruiting other Westerners and that he himself would still consider taking up the post if there would be opportunity for productive work. He noted in the letter to Rompe that his Hamburg appointment would be useful as a bargaining chip in winning the best possible conditions for the institute.^{lxi}

With Jordan apparently out of the running for director, the Academy pursued other options. The position was offered to the Nobel Prize winner Richard Kuhn but he turned it down. Negotiations were also undertaken with the x-ray physicist Walter Friedrich. Friedrich had been a professor in Berlin, but since the end of the war was living in the British Zone. Karl Lohmann became interim director pending the anticipated recruitment of Friedrich. This solution was acceptable to the Soviet authorities, who officially approved the transfer of the Buch facilities to the Academy on 27 June 1947. Finally, in January 1948, both the military administration’s Health Department and Friedrich agreed to his becoming director.^{lxii}

Jordan, however, was not forgotten: negotiations were continued, and in June 1948 the Academy voted to recommend Jordan for a professorship in the re-organized institute.^{lxiii} Although Jordan’s scientific credentials were easily established, and although the institutional form was apparently settled, Jordan’s political past remained a problem. The Soviet military authorities requested political evaluations from Rompe and Naas. Their responses cast Jordan as a product of bad environments dominated by arch-conservatism and militarism but nevertheless—*qua* scientist—susceptible to being turned to the good socialist cause. In other words, Jordan represented a risky but worthwhile ideological investment, whereas his staying in the “dangerous Western atmosphere” would do no one any good.^{lxiv}

Rompe’s and Naas’s attempts to rehabilitate Jordan politically in the context of the Soviet Zone remained a moot point, however, whether the appointment offer was vetoed by the Soviet Military Administration, or whether a concrete offer was made but Jordan refused it, is not known to me. In any event, Jordan stayed in the “dangerous” milieu of West Germany, where his Hamburg appointment became permanent in 1953. His scientific interests turned largely to cosmology, general relativity theory, geophysics, and abstract algebra. Biophysics remained a major theme in his popular writings, but not so much a topic of active research. Politically, his development there proved anything but favorable from the East German point of view. In the post-1945 era he still sought to legitimize avowedly conservative, anti-materialistic positions in dozens of books, articles, and lectures: combating the perceived “irreligiosity” of modern culture, advocating technological solutions to social problems, endorsing an enhanced military posture against Communism. All of these positions Jordan attempted to justify, in part, through reference to scientific ideas—above all, the supposed overthrow of mechanistic determinism in all its guises through the achievements of twentieth-century physics.^{lxv} For Jordan, the quantum revolution continued in its effects more strongly than ever.

NOTES

- ⁱ The essay in part summarizes several previous papers of mine: “From Positivism to Organicism: Pascual Jordan’s Interpretations of Modern Physics in Cultural Context” (dissertation, Harvard University, 1994), hereafter FPO; “Targeting the Organism: The Scientific and Cultural Context of Pascual Jordan’s Quantum Biology, 1932-1947,” *Isis* 87 (1996): 248-73, hereafter TO; “Evolution als Problem für Quantenphysiker,” trans. Rainer Brömer, in *Evolutionsbiologie von Darwin bis heute*, ed. Rainer Brömer et al. (Berlin: Verlag für Wissenschaft und Bildung, 1999), 137-60, hereafter EPQ. The essay is also significantly indebted to M. Norton Wise, “Pascual Jordan: Psychology, Quantum Mechanics, National Socialism,” in *Science, Technology, and National Socialism*, ed. Monika Renneberg and Mark Walker (Cambridge: Cambridge University Press, 1994), 224-54. Thanks to the organizers of and participants in the Mainz symposium “Zum Gedenken an Pascual Jordan,” October 2003, for useful suggestions.
- ⁱⁱ Pascual Jordan, “Quantenphysikalische Bemerkungen zu Biologie und Psychologie,” *Erkenntnis* 4 (1934): 215-52, on 215.
- ⁱⁱⁱ Pascual Jordan, “Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie,” *Naturwissenschaften* 20 (1932): 815-21.
- ^{iv} Cf. Frederick Gregory, *Scientific Materialism in Nineteenth Century Germany* (Dordrecht: D. Reidel, 1977); Timothy Lenoir, *The Strategy of Life: Teleology and Mechanics in Nineteenth-Century German Biology* (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1989).
- ^v The literature on the Copenhagen Interpretation and debates surrounding it is large, and itself historiographically controverted; see, inter alia, Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York: McGraw-Hill, 1966); John Hendry, *The Creation of Quantum Mechanics and the Bohr-Pauli Dialogue* (Dordrecht: D. Reidel, 1984); John L. Heilbron, “The Earliest Missionaries of the Copenhagen Spirit,” *Revue d’histoire des sciences* 38 (1985): 195-230; Dugald Murdoch, *Niels Bohr’s Philosophy of Physics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987); Finn Aaserud, *Redirecting Science: Niels Bohr, Philanthropy and the Rise of Nuclear Physics* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990); David Cassidy, *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg* (New York: W. W. Norton, 1992); Olivier Darrigol, *From “C”-Numbers to “Q”-Numbers: The Classical Analogy in the History of Quantum Theory* (Berkeley: Univ. of California Press, 1992); Mara Beller, *Quantum Dialogue: The Making of a Revolution* (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1999).
- ^{vi} On Bohr’s biological conceptions, see Lily E. Kay, “The Secret of Life: Niels Bohr’s Influence on the Biological Program of Max Delbrück,” *Rivista di storia della scienza* 2 (1985): 487-510; Heilbron; Aaserud.
- ^{vii} Niels Bohr, *Essays 1932-1957 on Atomic Physics and Human Knowledge* (New York: Wiley, 1958, repr. Woodbridge, Conn.: Ox Bow Press, 1987), 9.
- ^{viii} See Wise, esp. 244-47; Aaserud, 82-104.
- ^{ix} On the development of target theory, see Karl G. Zimmer, “The Target Theory,” in *Phage and the Origins of Molecular Biology*, ed. John Cairns, Gunther Stent, and James B. Watson (Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Laboratory, 1966), 33-42; Elof Axel Carlson, *The Gene: A Critical History* (Philadelphia: W. B. Saunders, 1966), 158-65; Karl G. Zimmer, “That Was the Basic Radiobiology That Was,” *Advances in Radiation Biology* 9 (1981): 411-64; Richard H. Beyler, “‘Imagine a Cube Filled with Biological Material’: Reconceptualizing the Organism in German Biophysics, 1918-45,” in *Fundamental Changes in Cellular Biology in the 20th Century: Biology of Development, Chemistry, and Physics in the Life Sciences*, ed. Charles Galperin et al. (Turnhout, Belgium: Brepols, 1999), 39-46; TO, 253-56.
- ^x See FPO, 207-23; TO, 259.
- ^{xi} Ernst Domeier [i.e., Pascual Jordan], “Überschulung und Bürokratie,” *Deutsches Volkstum* 12 (1930): 175-79, on 179.
- ^{xii} Ernst Domeier [i.e., Pascual Jordan], “Technik, Arbeitslosigkeit und Krieg,” *Deutsches Volkstum* 13 (1931): 838-46, on 845.
- ^{xiii} Ernst Domeier [i.e., Pascual Jordan], “Überschulung und Klassenkampf,” *Deutsches Volkstum* 12 (1930): 271-76, on 275.
- ^{xiv} Cf. the psychoanalytic interpretation of fears of the “structureless mass” among right-wing radicals in Weimar Germany in Klaus Theweleit, *Male Fantasies*, trans. Stephen Conway et al., 2 vols. (Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1987-89).

-
- ^{xv} Niels Bohr to Pascual Jordan, 25 Jan. 1930, in Bohr Scientific Correspondence, Niels Bohr Archive (hereafter BSC, NBA).
- ^{xvi} Jordan, "Quantenmechanik und die Grundprobleme"; on the background, see Aaserud, 85-88; FPO, 102-8.
- ^{xvii} Jordan, "Quantenmechanik und die Grundprobleme," 819; for further discussion, see FPO, 108-16; TO, 260-61.
- ^{xviii} Jordan "Quantenmechanik und die Grundprobleme," 820; cf. Pascual Jordan, *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens* (Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1941), 89.
- ^{xix} Pascual Jordan to Niels Bohr, 22 Jun. 1931, in BSC, NBA.
- ^{xx} Hans Reichenbach, "Kausalität und Wahrscheinlichkeit in der Biologie," *Klinische Wochenschrift* 11 (1932): 251-53, on 251-52; discussion in FPO, 125-28.
- ^{xxi} Ludwig v. Bertalanffy, *Theoretische Biologie*, vol. 1, *Allgemeine Theorie, Physikochemie, Aufbau und Entwicklung des Organismus* (Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1932), 106-7, citing Ralph S. Lillie, "Physical Indeterminism and Vital Action," *Science* 66 (1927): 139-44, on 140, citing in turn Pascual Jordan, "Philosophical Foundations of Quantum Theory," trans. J. Robert Oppenheimer, *Nature* 119 (1927): 566-69; discussion in FPO, 128-31.
- ^{xxii} See Aaserud, 94-95; EPQ.
- ^{xxiii} Max Delbrück to Niels Bohr, 30 Nov. 1934, in BSC, NBA. On the Bohr-Delbrück interaction on biophysics, see Kay, "Secret"; Daniel J. Kaughan, "The Influence of Niels Bohr on Max Delbrück," *Isis* 96 (2005): 507-29.
- ^{xxiv} Bohr, 21. For more on Bohr's negative reaction to Jordan, see Heilbron; Aaserud; FPO, 188-89.
- ^{xxv} See FPO, 134-43, 162-71.
- ^{xxvi} E[ugen] Bleuler, "Die Beziehungen der neueren physikalischen Vorstellungen zur Psychologie und Biologie," *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 78 (1933): 152-97.
- ^{xxvii} Otto Meyerhof, "Betrachtungen über die naturphilosophischen Grundlagen der Physiologie," *Naturwissenschaften* 22 (1934): 311-14, on 311; condensed from *Abhandlungen der Friesschen Schule*, new ser., 6 (1934): 36-65.
- ^{xxviii} Erwin Bünning, "Sind Organismen mikrophysikalische Systeme? (Entgegnung an P. Jordan)," *Erkenntnis* 5 (1935): 337-47, on 339; see also *idem*, "Quantenmechanik und Biologie," *Naturwissenschaften* 31 (1943): 194-97; *idem*, "Gesetz und Freiheit in der Physiologie," *Biologia generalis* 18 (1944): 47-64; Erwin Bünning to Max Hartmann, 25 Mar. 1943, Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, Abt. III, Rep. 47, Nr. 268.
- ^{xxix} Max Hartmann, "Philosophie der Naturwissenschaften" (1936), in *Gesammelte Vorträge und Aufsätze* (Stuttgart: Gustav Fischer, 1956), 95-129, on 119-20.
- ^{xxx} Jordan, "Quantenphysikalische Bemerkungen," 215.
- ^{xxxi} See FPO, 310-15.
- ^{xxxii} See FPO, 353-55; TO, 264-67.
- ^{xxxiii} Nikolai W. Timoféeff-Ressovsky to Pascual Jordan, 21 Jun. 1939, in Nachlass Jordan 622, no. 2, Handschriftenabteilung, Staatsbibliothek zu Berlin-Preussischer Kulturbesitz (hereafter SBPK); Pascual Jordan, *Physik und das Geheimnis des organischen Lebens*, 5th ed. (Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1947), 10, 86; interviews with Hansjochem Autrum (20 Feb. 1992) and Georg Melchers (3 Feb. 1992); Robert Rompe to the author, 5 Oct. 1992.
- ^{xxxiv} Werner Heisenberg to Pascual Jordan, 5 Jun. 1941; and Jordan to Heisenberg, 5 Aug. 1942; in Heisenberg Papers, Max-Planck-Institut für Physik; Jordan to Paul Rosbaud, 30 Jul. 1943, in Nachlass Jordan 765, no. 10, SBPK.
- ^{xxxv} N. K. Koltzoff, "Physikalisch-chemische Grundlage der Morphologie," *Biologisches Zentralblatt* 48 (1928): 345-69; discussion in Robert Olby, *The Path to the Double Helix* (Seattle: Univ. of Washington Press, 1974), 17.
- ^{xxxvi} H[ermann] J. Muller, "The Gene as a Basis of Life" [1926 address], in *Proceedings of the International Congress of Plant Sciences* (1929), 1:897-921, repr. in *Studies in Genetics: The Selected Papers of Hermann Joseph Muller* (Bloomington: Indiana University Press, 1962), 188-204, on 189; *idem*, "Physics in the Attack on Fundamental Problems of Genetics," *Scientific Monthly* 44 (1937): 210-14, on 210, 213; discussed in Olby, 18.
- ^{xxxvii} See FPO, 335-37; TO, 264.
- ^{xxxviii} N[ikolai] W. Timoféeff-Ressovsky, K[arl] G. Zimmer, and Max Delbrück, "Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur," *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse, Fachgruppe VI*, new ser. 1 (1935): 189-245; this paper and its (asserted) influence on later developments in genetics itself has an

- extensive historical literature; see inter alia Zimmer, "Target" (1966), 36-38; Olby; M[ax] F. Perutz, "Physics and the Riddle of Life," *Nature* 326 (1986): 558-58, on 556-57; Diane B. Paul and Costas B. Krimbas, "Nikolai V. Timofëeff-Ressovsky," *Scientific American*, Feb. 1992, 86-92, on 88; Lily Kay, "Conceptual Models and Analytical Tools: The Biology of Physicist Max Delbrück," *Journal of the History of Biology* 18 (1985): 207-46; FPO, 337-40; TO, 257-58.
- ^{xxxix} H[ermann] J. Muller, "Gene Mutations Caused by Radiation," in *Symposium on Radiobiology: The Basic Aspects of Radiation Effects on Living Systems*, ed. James J. Nickson (New York: John Wiley & Sons, 1952), 296-332.
- ^{xl} See, e.g., Pascual Jordan, "Zur Quanten-Biologie," *Biologisches Zentralblatt* 59 (1939): 1-39, on 16; idem, "Quantenphysik und Biologie," *Naturwissenschaften* 32 (1944): 309-316, on 313.
- ^{xli} See FPO, 355-83.
- ^{xlii} Linus Pauling and Max Delbrück, "The Nature of the Intermolecular Forces Operative in Biological Processes," *Science* 92 (1940): 77-79, quote on 78; discussed in H[erman] J. Muller, "Résumé and Perspectives of the Symposium on Genes and Chromosomes," in *Genes and Chromosomes: Structure and Organization* (Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Biological Laboratory, 1941), 290-308, on p. 308; Olby, *Path* (1974), 115; Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation* (New York: Simon and Schuster, 1979), 140-41.
- ^{xliii} Jordan, *Physik und das Geheimnis*, 108.
- ^{xliv} Pascual Jordan, "Die Verstärkertheorie der Organismen in ihrem gegenwärtigen Stand," *Naturwissenschaften* 26 (1938): 537-45, on 538-39; idem, *Physik und das Geheimnis*, 46.
- ^{xlv} Pascual Jordan, "Zur Quanten-Biologie," *Biologisches Zentralblatt* 59 (1939): 1-39, on 16.
- ^{xlvi} Pascual Jordan, "Quantenphysik und die Grundprobleme," 313; discussed in EPQ, 147.
- ^{xlvii} Jordan, "Quantenphysikalische Bemerkungen," 239-41; idem, *Anschauliche Quantentheorie: Eine Einführung in die modern Auffassung der Quantenerscheinungen* (Berlin: Julius Springer, 1936), 298-99; cf. Heilbron, 214; Jonathan Harwood, *Styles of Scientific Thought: The German Genetics Community 1900-1933* (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1993), 99-137; FPO, 403-5; EPQ, 148.
- ^{xlviii} Jordan, *Physik und das Geheimnis*, 75. One might note that this remark, though obviously racist, is not specifically anti-Semitic.
- ^{xlix} Jordan, *Physik und das Geheimnis*, 107-8; this point is emphasized by Wise; see also FPO, 259-64. One should note that in 1941 the predicted death of democracy might have seemed by no means an unreasonable conclusion.
- ^l Ralf Dahrendorf, *Society and Democracy in Germany* (New York: Doubleday, 1967), 406.
- ^{li} Detlev J. K. Peukert, *Inside Nazi Germany*, trans. Richard Deveson (New Haven: Yale Univ. Press, 1987), 247-48.
- ^{lii} See TO, 251-52.
- ^{liii} Erwin Schrödinger, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1944; repr. 1992), esp. 8-9, 18-19, 86-90.
- ^{liv} The following section is taken, with some condensations and revisions, from FPO, 462-79; see also TO, 270-71. I would like to thank Dieter Hoffmann for calling my attention to relevant archival material.
- ^{lv} P[ascual] Jordan, "Zukunftsaufgaben der quantenbiologischer Forschung," *Physis* 1 (1942): 64-79, on 66.
- ^{lvi} Wise, 252, reports that in late 1945 Jordan, then in Göttingen, used the possibility that he would be recruited into the Soviet atom bomb project if he returned to Berlin as a bargaining chip with West German academic authorities.
- ^{lvii} Dean of the Medical Faculty, University of Berlin, to Robert Rössle, Secretary of the Academy of Sciences, 31 Jan. 1947, in Akademieleitung 46 (Naturwissenschaftliche Einrichtungen--Institut für Medizin und Biologie, vol. 5), Archiv der Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (hereafter BBAW); see also Franz Kurowski, *Alliierte Jagd auf deutsche Wissenschaftler: Das Unternehmen Paperclip* (Munich: Kristall bei Langen Müller, 1982), 176-77; Paul and Krimbas; Heinz Bielka, *Geschichte der medizinisch-biologischen Institute Berlin-Buch*, 2nd ed. (Berlin: Springer, 2002).
- ^{lviii} Pascual Jordan to Robert Rompe, 20 Sep. 1946; excerpt from protocol of meeting of Mathematical-Natural Scientific Class, 7 Nov. 1946; Academy Secretary Robert Rössle to Jordan, 3 Dec. 1946; Jordan to Rössler [sic, i.e., Rössle], 19 Dec. 1946; copy with handwritten annotations to Rompe; all in Akademieleitung 46, BBAW.

-
- ^{lix} Protocol of meeting of the Mathematical-Natural Scientific Class, German Academy of Sciences, 9 Jan. 1947, in P 3/1, BBAW; President [Johannes Stroux] to Prof. Grigorowsky, Health Department, Soviet Military Government, 3 Feb. 1947, in Akademieleitung 42 (Naturwissenschaftliche Einrichtungen: Institut für Medizin und Biologie, vol. 1), BBAW; Protocol of meeting of the Mathematical-Natural Scientific Class, German Academy of Sciences, 20 Feb. 1947, in P 3/1, BBAW; also excerpt from protocol, and Robert Rössle to President [Johannes Stroux], 24 Feb. 1947, in Akademieleitung 46, BBAW.
- ^{lx} On Jordan's denazification, see Wise, 252.
- ^{lxi} Pascual Jordan to Robert Rompe, 9 Apr. 1947; and Jordan to Robert Rössle, 14 Apr. 1947; both in Akademieleitung 46, BBAW.
- ^{lxii} Protocols of meetings of the Mathematical-Natural Scientific Class, 20 Feb., 13 Mar. and 20 Mar. 1947, in P 3/1, BBAW (recruitment plans); memorandum of meeting with Gen. Sokolow, Prof. Pschnenitschnikow, and Maj. Karpow, 7 Jan. 1948 (recruitment plans); excerpt from protocol of meeting of Mathematical-Natural Scientific Class, 19 Jun. 1947 (Kuhn declines directorship); German Academy of Sciences to Walter Friedrich, 23 Jun. 1947 (offering him the position); memorandum of meeting with Friedrich, 4 Nov. 1947 (conflict with Soviet authorities over direction and organization); all in Akademieleitung 42; Josef Naas to Gen. Makarow, Health Department, Soviet Military Administration, 8 Dec. 1947, in Akademieleitung 42; Memorandum of meeting with Gen. Sokolow, Prof. Pschnenitschnikow, and Maj. Karpow, 7 Jan. 1948, in Akademieleitung 42; all BBAW.
- ^{lxiii} Protocols of plenary meetings of the Academy, 23 Oct. 1947 and 17 Jun. 1948, both in P 1/1, BBAW; cf. précis of meeting with Friedrich, 4 Nov. 1947, in Akademieleitung 42, BBAW (Friedrich informed of state of negotiations with Jordan and others).
- ^{lxiv} Robert Rompe and Josef Naas, evaluations of Pascual Jordan, 4 Oct. 1948, in Akademieleitung 46, BBAW.
- ^{lxv} See Wise, 252-53; FPO, 480-531; Richard H. Beyler, "The Demon of Technology, Mass Society, and Atomic Physics in West Germany, 1945-1957" *History and Technology* 19 (2003): 229-41, on 232-37; Arne Schirmacher, *Dreier Männer Arbeit in der frühen Bundesrepublik: Max Born, Werner Heisenberg and Pascual Jordan als politische Grenzgänger*, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Preprint no. 296 (Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, 2005).

Der gute Nazi: Pascual Jordan und das Dritte Reich

Dieter Hoffmann
Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Boltzmannstraße 22,
D-14195 Berlin
dh@mpiwg-berlin.mpg.de

Mark Walker
Union College, Department of History
Schenectady, N.Y. 12308-3107, USA
walkerm@union.edu

Zu den gängigen Stereotypen bei der Aufarbeitung des Nationalsozialismus, denen auch wissenschaftshistorische Darstellungen lange Zeit gefolgt sind, gehört die Fama, dass fachliche Kompetenz im Dritten Reich ausschließlich an unpolitisches Verhalten gebunden war. Ein kompetenter oder gar exzellenter Wissenschaftler hätte demnach – auch stets in einer gewissen Gegnerschaft zum Dritten Reich gestanden – wobei natürlich auch der Umkehrschluß Gültigkeit beanspruchte. Diese vermeintliche Evidenz wurde und wird häufig am Beispiel der sogenannten "arischen Wissenschaften" exemplifiziert. Allerdings blieb deren Anhängerschaft nicht nur klein, sondern deren Aktivisten waren zumeist auch wissenschaftliche Außenseiter oder problematische Persönlichkeiten. Fast idealtypisch stehen dafür die beiden Repräsentanten der "Deutschen Physik", Philipp Lenard und Johannes Stark – Nobelpreisträger zwar, die jedoch in der Zeit des Dritten Reiches den Zenit ihres wissenschaftlichen Schaffens bereits weit überschritten und sich seit dem Ersten Weltkrieg zunehmend, wissenschaftlich wie politisch, in eine Außenseiterrolle begeben hatten. Ein solches Bild erlaubte, die Wissenschaften und nicht zuletzt ihre (kompetenten) Protagonisten im Dritten Reich undifferenziert als Opfer des NS-Regimes zu stilisieren. Dabei wurde weitgehend verdrängt, dass es auch unter nationalsozialistischer Herrschaft wissenschaftlichen Fortschritt gab und sich zahlreiche kompetente und talentierte Wissenschaftler in diesen „Tausend Jahren“ willentlich und bewusst dem Nationalsozialismus angedient hatten und mannigfache Kollaborationsverhältnisse und Kooperationsbeziehungen mit dem NS-Regime eingegangen waren.

Ein prominentes Beispiel ist der Physiker Pascual Jordan. Als Mitbegründer der Matrizenmechanik und Pionier der Quantenfeldtheorie ließ sich dem frühen und engagierten Parteigänger des Nationalsozialismus kaum wissenschaftliche Kompetenz und Originalität absprechen; auch zählte er keineswegs zu den wissenschaftlichen Außenseitern oder Sonderlingen, sondern war vielmehr im Netzwerk der zeitgenössischen modernen

Physik fest verankert und von seinen Physikerkollegen in hohem Maße akzeptiert. Ebenfalls trifft auf ihn kaum das Bild des weltfremden und politikfernen Wissenschaftlers zu, der ahnungslos vom Nationalsozialismus missbraucht wurde. Insofern ist es nicht von marginalem Interesse, Pascual Jordans Rolle im Dritten Reich im Detail zu dokumentieren. Dabei wird sich der vorliegende Beitrag - in Ergänzung zu den Untersuchungen von Richard Beyler¹ und Norton Wise² – auf die historische Darstellung von Jordans Wirken im Dritten Reich konzentrieren und zudem analysieren, wie Jordans nationalsozialistisches Engagement nach dem Krieg im Sinne technokratischer Umschuld umgedeutet wurde und gewissermaßen eine Neuerfindung seiner Biographie erfolgte. In der Retrospektive führte dies dazu, dass man Pascual Jordan in Nekrologen und anderen biographischen Darstellungen – wenn dort überhaupt die Zeit des Dritten Reiches reflektiert wurde – zum verlorenen Sohn, wenn nicht gar zum guten Nazi hochstilisierte.

Pascual Jordan, geboren am 18. Oktober 1902 in Hannover, hatte 1924 in Göttingen bei Max Born promoviert und sich bereits im folgenden Jahr an der Universität Göttingen habilitiert. Wie seine fast gleichaltrigen Kollegen Werner Heisenberg und Wolfgang Pauli gehörte auch Jordan zu jenen „Wunderkindern“ in der Physik der zwanziger Jahre, die bereits in ihrer Studienzeit mit herausragenden Beiträgen zur Quantentheorie auf sich aufmerksam machten. Jordan hatte zusammen mit seinem Lehrer Max Born im Sommer 1925 maßgeblich dazu beigetragen, den kühnen Ansatz Heisenbergs zur Lösung der Rätsel des Atomaufbaus in eine mathematisch konsistente Theorie zu gießen. Damit konnten erstmals schlüssig und widerspruchsfrei die Grundgesetze der Quantenmechanik formuliert werden. Zwei Jahre später gelang ihm zudem, die Äquivalenz von Matrizen- und Wellenmechanik nachzuweisen und die sogenannte Jordan-Diracsche-Transformationstheorie zu formulieren – seine wohl wichtigste Arbeit aus dieser Gründerzeit der modernen Physik. Ebenfalls in diesen Jahren erkannte Jordan als einer der Ersten, dass der Welle-Teilchen-Dualismus durch Feldquantelung, d.h. die Anwendung der Heisenbergschen „Umdeutung“ physikalischer Größen auf Feldvariable überwunden werden kann. Diese Idee wurde von Jordan zusammen mit Oscar Klein, Eugen Wigner und Wolfgang Pauli konkret ausgeführt, wodurch Jordan ebenfalls zu den Pionieren der Quantenfeldtheorie zählt.

Parallel zu seinen wissenschaftlichen Erfolgen erfolgte der akademische Aufstieg, der ihn bereits im Sommer 1929 – nach kurzer Lehrtätigkeit an der Universität Hamburg – als außerordentlichen Professor für theoretische Physik an der Universität Rostock sah. Er löste Friedrich Hund ab, der dort zwei Jahre gelehrt hatte. Obwohl Jordan als gerade 26-jähriger zusammen mit Pauli und Heisenberg einer der jüngsten deutschen Universitätsprofessoren war, hält seine Karriere den Vergleich mit der seiner gleichartigen Physikerkollegen nicht stand, denn weder der Rang der Universität Rostock, noch seine dortige Stellung waren mit der Reputation und den Wirkungsmöglichkeiten der Leipziger

¹ R. Beyler: From Positivism to Organism: Pascual Jordan's Interpretations of Modern Physics in Cultural Context. PhD-Dissertation Harvard University Cambridge, Ma. 1994; derselbe: Targeting the Organism. The Scientific and Cultural Context of Pascual Jordan's Quantum Biology. *ISIS* 87(1996) 248-273; derselbe: The demon of technology, mass society, and atomic physics in West Germany, 1945-1957. *History and Technology* 19/3(2003)227-239..

² M. Norton Wise: Pascual Jordan: Quantum Mechanics, Psychology, National Socialism, In: M. Renneberg, M. Walker (Hrsgb.): *Science, Technology, and National Socialism*, Cambridge 1994, S. 224-254.

Universität oder der ETH Zürich vergleichbar, an denen Heisenberg bzw. Pauli wirkten. Letzterer hatte Jordan zur Rostocker Berufung auch mit dem ihm eigenen Sarkasmus gratuliert: „Er habe nun also die Aufgabe übernommen, Rostock in eine Metropole des Geistes und des gesellschaftlichen Lebens zu verwandeln. Ich selbst habe mir bis jetzt weniger schwierige und bescheidenere Lebensziele gesetzt. Also viel Glück!“³ Nach dem Untergang des Dritten Reiches bemerkte er dazu ergänzend und in Hinblick auf das nationalsozialistische Engagement einiger Kollegen nicht weniger sarkastisch, dass es für den Heidelberger Chemiker und Nobelpreisträger Richard Kuhn diesbezüglich keine Entschuldigung gebe, doch Jordan geltend machen dürfe, dass er Professor in Rostock war.⁴

Da sich Jordan durchaus der Provinzialität der mecklenburgischen Hansestadt bewusst war, hatte er anfangs die Annahme des Rufes durch Verhandlungen mit den Universitätsbehörden in Rostock und Hamburg hinauszuzögern versucht. Dies insbesondere mit der Hoffnung, unter verbesserten Bedingungen in Hamburg bleiben zu können. Die Hoffnungen zerschlugen sich schnell, so dass er im Herbst 1929 den Rostocker Ruf annahm. Im Übrigen war Jordan keineswegs der Wunschkandidat der Fakultät gewesen, hatte diese ihn doch nur auf Platz 2 der Berufungsliste gesetzt – u.a. „weil sich bei ihm in der Erregung ein Sprachfehler (Stottern) bemerkbar macht.“⁵

Trotz glänzender wissenschaftlicher Leistungen war der junge Jordan so in der geographischen wie wissenschaftlichen Provinz gelandet. Obwohl die Rostocker Universität zu den typischen „Sprungbrett-Universitäten“ in Deutschland gehörte – so waren Jordans Amtsvorgänger W. Lenz, O. Stern, W. Schottky und F. Hund jeweils nur wenige Semester in Rostock geblieben⁶ –, wurde sie für Jordan nicht zum Sprungbrett in seiner akademischen Karriere. Vielmehr musste er dort 15 Jahre ausharren und als er die lang erhoffte und auch höchst ehrenvolle Berufung nach Berlin erhielt, geschah dies in der Götterdämmerung des Dritten Reiches – d.h. in denkbar ungünstigen Zeitläufen, in denen er kaum mehr wirksam werden konnte.

Über die Universität Rostock und den dort herrschenden Mief der deutschen Provinz hatte schon Albert Einstein im Jahre 1919 an seinen Freund Paul Ehrenfest nach Holland berichtet:

„Hier ist starker Antisemitismus und wütende Reaktion, wenigstens bei den ‚Gebildeten‘.“⁷

Und an Max Born schrieb er zur gleichen Zeit voller Sarkasmus:

³ W. Pauli an P. Jordan, Zürich 30.10.1929, In: W. Pauli: Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a., Herausgegeben von K.v. Meyenn et.al., Heidelberg 1979, S. 525.

⁴ Zitiert nach E. Schucking: Jordan, Pauli, Politics, Brecht, and a Variable Gravitational Constant. *Physics Today* 52(1999)26.

⁵ Humboldt-Universität zu Berlin, Archiv. UK Nr. 69, Personalakte P. Jordan (im folgenden HUA), Bl. 9.

⁶ Vgl. D. Hoffmann: Walter Schottkys Wirken an der Rostocker Universität, In: Beiträge zur Geschichte der Universität Rostock, Heft 17, Rostock 1991, S. 60-64.

⁷ A. Einstein an P. Ehrenfest, Berlin 4.12.1919. *Collected Papers of Albert Einstein*, Bd. 9, Princeton 2004, S. 268.

„... bei Gelegenheit der Jubiläumsfeier der Universität hörte (ich) ... arge politische Hetzreden sah recht ergötzliches in Kleinstaat-Politik. Reizend war da zu sehen, wie in zwei Proseniumslogen unter einander die Männern der alten und der neuen Regierung sass. Natürlich wurde die neue von den akademischen Grössen mit Nadelstichen aller erdenklicher Art traktiert, dem Ex-Grossherzog eine nicht endende Ovation dargebracht. Gegen die angestammte Knecht-Seele hilft keine Revolution.“⁸

Auch ein Jahrzehnt später wird sich die politische Atmosphäre in Rostock und an deren Universität nicht viel verändert haben - zumal ja über Mecklenburg das Verdikt Bismarcks hängt, dass dort alle Veränderungen erst mit einer Verzögerung von hundert Jahren ankommen.

Rostock war so für Jordan – auch nach eigener Aussage⁹ - weder wissenschaftlich, noch intellektuell sonderlich interessant. Allerdings wird er wohl den politischen Konservatismus der mecklenburgischen Provinz weniger bedrückend empfunden haben, da dieser mit seiner national-konservativen Weltsicht in Teilen korrespondierte. Diese hatte er an der Wende zu den dreißiger Jahren nicht nur im privaten Kreis geäußert, sondern unter dem Pseudonym Ernst Domeier auch in der völkischen Zeitschrift „Deutsches Volkstum“ öffentlich gemacht. In seinen Beiträgen wurde das generelle Misstrauen des konservativen und nationalistisch geprägten Bildungsbürgertums gegenüber der ungeliebten Weimarer Republik und der Demokratie als Staatsform artikuliert, die man – neben Marxismus und Atheismus bzw. Materialismus - für die Erosion der tradierten sozialen und ethischen Grundwerte verantwortlich machte. Darüber hinaus hing man einem ausgesprochen elitären Bildungskonzept an und beklagte insbesondere den politischen und militärischen Machtverlust Deutschlands nach dem ersten Weltkrieg. Dieser und die Ergebnisse des Versailler Friedensdiktats waren politische Traumata deutscher Bildungseliten, die Jordans publizistische Beiträge nachhaltig beeinflussten.

Keineswegs zufällig wurde Jordan im Januar 1933 Mitglied von Alfred Hugenbergs Deutschnationaler Volkspartei (DNVP) - stärkste Rechtspartei der Weimarer Republik und ein Sammelbecken völkischer und antisemitischer Gruppierungen, wodurch sie Repräsentant von extrem konservativen und nationalistischen Kreisen in der Weimarer Republik war. Die DNVP hatte schon frühzeitig das Bündnis mit den Nationalsozialisten gesucht und gehörte bis zum Rücktritt Hugenbergs im Juni 1933 dem Kabinett Hitlers an. Auch Jordan stand – wie es in einem Schreiben der Studentenschaft der Universität Rostock aus dem Jahre 1936 heißt – „bereits vor der Machtübernahme ... mit einer Reihe von Amtsleitern des N.S.D.St.B., und der Studentenschaft in kameradschaftlicher Fühlung“¹⁰; zudem war er unmittelbar vor der Selbstauflösung der DNVP am 1. Mai 1933 in die NSDAP eingetreten. Der Parteieintritt war weniger opportunistischem Kalkül geschuldet, sondern entsprach wohl eher seiner persönlichen Anerkennung, dass die NSDAP und speziell Hitler das bislang zersplitterte nationalkonservative Lager nun geeint hatte und man sich so eben der siegreichen Fraktion anschloss. In diesem Sinne stellte er in der Einführung zu seinem Buch „Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens“

⁸ A. Einstein an Max Born, Berlin 8.12.1919. Ebenda, S. 280.

⁹ Interview P. Jordan mit Th. S. Kuhn, Hamburg 20.6.1913. Archive for the History of Quantumphysics, S. 16.

¹⁰ Studentenschaft der Universität Rostock an den Rektor der Universität, Rostock 29.2.1936, HUA, PA Jordan 69/II, Bl. 27.

fest: „Der Nationalsozialismus hat nicht nur zwischen Nationalismus und Sozialismus – zwei Begriffen, die für das Vorstellungsvermögen der Nachkriegsjahre in vollkommenem Gegensatz standen – eine Synthese gefunden: er hat auch in den vielfältigen anderen Streitfragen, welche Deutschland zerrissen und zerspalteten, nicht einfach der einen oder anderen der streitenden Parteien Recht gegeben, sondern auf einer höheren Ebene neue, überraschende Lösungen gefunden.“¹¹

Ob sein Eintritt in die NSDAP auch mit dem Vorsatz geschah, so Einfluss zu gewinnen und die Partei gewissermaßen von Innen her beeinflussen oder gar zähmen zu wollen, dafür gibt es keine zeitgenössischen Belege, sondern lediglich die absichtsvollen Bekundungen aus der Nachkriegszeit. Allerdings scheint Jordans Entscheidung für die NSDAP keineswegs verbal oder dem allgemeinen Opportunismus geschuldet gewesen sein. Dafür sprechen nicht nur seine zahlreichen öffentliche Bekundungen und Elogen auf den Nationalsozialismus aus den folgenden Jahren, sondern auch die Tatsache, dass er sich im Herbst 1933 ebenfalls der SA anschloss und sich dort als Rottenführer engagierte, der dort „wegen seines Dienstefers und seines kameradschaftlichen Wesens allgemein beliebt“ war.¹² Solch Engagement war für einen deutschen Professor und international hochangesehenen Gelehrten alles andere als normal bzw. üblich.

Jordan ließ es zudem mit solchen institutionellen Bekenntnissen nicht bewenden, sondern trug auch mit publizistischen Beiträgen zur Propagierung nationalsozialistischer Ziele bei. So nahm er im Mai 1933 in der Rostocker Universitäts-Zeitung zur Wandlung der Universität Stellung und stellte fest, dass „es heute nicht mehr zur Diskussion (steht), ob eine die Universität in den Rahmen des neuen nationalsozialistischen Staates einfügende Reform stattfinden soll oder nicht; sondern es handelt sich nur noch darum, die Formen und Wege zu bestimmen, in denen eine solche Eingliederung zu geschehen hat ... unter der fast unübersehbare großen und weitreichenden Mannigfaltigkeit der Probleme, die sich hier ergeben, (ist) eine bestimmte Notwendigkeit klar zu erkennen: die nachdrückliche Umstellung der gesamten Universitätsarbeit auf die wehrpolitischen Aufgaben der Gegenwart.“¹³

Dazu konform ging seine Vorlesungsankündigung „Anfangsgründe der Ballistik“ für das Wintersemester 1933/34, die zu den ersten Lehrveranstaltungen der Universität mit wehrpolitischem Inhalt gehörte; 1939 wird von Jordan nochmals eine solche angekündigt: „Mathematisches Seminar unter besonderer Berücksichtigung der Wehr- und Flugwissenschaft“.¹⁴ Überhaupt muss die Überzeugung von der wehrpolitischen Bedeutung der modernen Physik für Jordans damaliges Denken als zentral angesehen werden. Im Vorwort seiner 1935 erschienenen Schrift „Physikalisches Denken in der neuen Zeit“ griff er dieses Thema ebenfalls auf und stellte dazu fest:

„Die stille Gelehrsamkeit des mathematischen und physikalischen Forschers scheint so weit, wie irgend möglich, vom Getriebe unserer bewegten Zeit entfernt – obwohl ja ihre Ergebnisse auf dem Wege der technischen Anwendung in Flugzeugen, Radiotechnik und

¹¹ P. Jordan: Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. Braunschweig 1941, 6.

¹² Studentenschaft der Universität Rostock an den Rektor der Universität, Rostock 29.2.1936, HUA, PA Jordan 69/II, Bl. 27.

¹³ Rostocker Universitäts-Zeitung vom 9.5.1933, S.3.

¹⁴ Vorlesungsverzeichnis der Universität Rostock.

Waffen aller Art die stärksten und schärfsten Machtmittel für die gewaltigen Kämpfe unseres Jahrhunderts liefern ... die wissenschaftliche Leistungshöhe eine Nation (ist) eine unentbehrliche Unterlage ihrer technischen Fähigkeiten und ihrer wirtschaftspolitischen und wehrpolitischen Behauptungsmöglichkeiten geworden.“¹⁵

Später diagnostiziert er sogar, „daß in immer ausgesprochenem Maße die modernen Forschungslaboratorien zu Machtfaktoren von kriegsentscheidender Bedeutung werden“ und dass „dieser Zusammenhang von Wissenschaft und technischer Kriegsrüstung für die Staatsmänner Europas wie für die Gesamtheit der Nationen der Gegenwart und Zukunft der Hauptanlaß einer steigenden Schätzung und Bewertung der wissenschaftlichen Forschung sein (dürfte).“¹⁶

Dass solche militaristischen Sprüche damals keineswegs selbstverständlich waren, und schon gar nicht in akademischen Kreisen, macht eine Rezension des Buches durch Rembert Ramsauer deutlich. Dieser, als Vertreter der sogenannten Deutschen Chemie ein Nazi-Aktivist ganz anderen Typs¹⁷, kritisiert Jordans Ansicht, den Krieg zur objektiven Probe für die Höhe wissenschaftlicher Kenntnisse der Völker hoch zu stilisieren, als „sinzerstörenden Gedanken“: „Wenn echte Kultur und Geistigkeit nicht ist, mag es als Antrieb zu wissenschaftlicher Forschung wohl nichts anderes geben als individuelle Freude beim Einzelnen und Kriegabsichten der Staatsführung. Aber einmal abgesehen von solcher Verkennung des Wesens völkischer Kultur, - wird bei solcher Begründung des Wertes der Wissenschaft „in der neuen Zeit“ das Ausland Jordan die „hundertprozentige Friedensliebe“ (S. 51) Deutschlands glauben können?“¹⁸

Sechs Jahre später, als Nazi-Deutschland den zweiten Weltkrieg vom Zaun gebrochen hatte und die deutsche Blitzkriegsstrategie vermeintliche Triumphe feiern konnte, wird Jordan im Vorwort zu seiner Schrift „Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens“ noch deutlicher und macht sich sogar zum Propagandisten der Aggression, wenn er schreibt: „... wir sind nicht gewillt in der Verknüpfung zwischen Wissenschaft und militärischer Gewalt einen Missbrauch zu sehen, nachdem militärische Macht ihre zwingende, aufbauende Kraft im Schaffen eines neuen Europas erwiesen hat.“¹⁹

Jordan hat sein Engagement für den „neuen Staat“ aber keineswegs auf die Propagierung der wehrpolitischen Notwendigkeiten wissenschaftlicher Forschung beschränkt, vielmehr fiel seiner Meinung nach „den Akademikern von heute die Aufgabe zu, diese Notwendigkeiten wissenschaftlicher Forschung aus dem Sinn des neuen Staates heraus neu zu begreifen, und sie in lebendige Beziehung zu den Inhalten und Aufgaben dieses neuen Staates zu setzen.“²⁰

¹⁵ P. Jordan: Physikalisches Denken in unserer Zeit. Hamburg 1935, S.7f.

¹⁶ Ebenda, S. 46.

¹⁷ M. Bechstedt: „Gestalthafte Atomlehre“. Zur „Deutschen Chemie“ im NS-Staat, In: H. Mehrrens, St. Richter (Hrsg.): Naturwissenschaft, Technik und NS-Ideologie. Frankfurt/Main 1980, S. 149ff.

¹⁸ R. Ramsauer: Besprechung von. Jordan, Pascual, Physikalisches Denken in der neuen Zeit. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 1(1935/36) 343.

¹⁹ P. Jordan: Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. Braunschweig 1941, S. 9.

²⁰ P. Jordan: Die Wandlung der Universität. Rostocker Universitäts-Zeitung vom 9.5.1933, S. 4.

Zu diesen Aufgaben und Inhalten zählte Jordan vor allem den „Vierjahresplan deutscher Wirtschaft und deutscher Technik“. Dieser 1936 inaugurierte Plan sollte Deutschlands Entwicklung zu einem autarken Wehrstaat beschleunigen, d.h. die Autarkie bei Roh- und Grundstoffen sichern und die deutsche Wirtschaft und Wehrmacht binnen vier Jahren „einsatzfähig“, d.h. „kriegsfähig“ machen. Für Jordan war dies „nur von einer auch in der Wissenschaft führenden Nation zu lösen“.²¹ In diesem Sinne warb er in seinen Publikationen für das Aufrüstungs- und Autarkieprogramm des NS-Staates – so wenn er feststellt: „... den Gesamtbereich wirtschaftlicher Tätigkeit in den Aufbau nationaler Machtstellungen einzubeziehen und das Wirtschaftsleben nach politischen – und letztlich militärischen – Gesichtspunkten zu organisieren. Das bedeutet für die wissenschaftliche Forschung eine weitere Verstärkung ihrer politischen Bedeutung, sowohl durch die erhöhte Dringlichkeit, die damit allen wirtschaftlich-technischen Aufgaben erteilt wird, als auch durch die Fülle neuer Aufgaben, die - wie die Ersatzerfindung für Rohstoffe, die innerhalb des eigen nationalen Machtbereichs fehlen – erst durch diese Umgestaltung der wirtschaftlichen Beziehungen neu entstehen.“²²

An anderer Stelle kann man noch prononcierter lesen: „Die beherrschenden Geschehnisse im Ringen des jungen Großdeutschen Reiches – Vierjahresplan, Aufrüstung und Krieg – haben der naturwissenschaftlichen Arbeit ihren festen Platz im völkischen Leben angewiesen. Und die deutsche Naturwissenschaft – deutsche Chemie, deutsche Physik, deutsche Geologie uff. – hat diesen Platz auszufüllen gewusst: Hinter den wunderbaren Siegen der nationalsozialistischen Wehrmacht steht als eine der gestaltenden Voraussetzungen deutscher Waffen Überlegenheit neben dem deutschen Arbeiter die Weltmacht Deutsche Wissenschaft.“²³

Solche Erklärungen machen Jordan unzweifelhaft zum Wissenschafts-Ideologen der nationalsozialistischen Vierjahrplanpolitik wie des Dritten Reiches überhaupt. Dies ungeachtet der Tatsache, dass ihm persönlich kein spezieller Platz innerhalb der Vierjahrplanbehörde oder der NS-Forschungspolitik zugewiesen war und er als theoretischen Physiker in diesem Rahmen auch keine offizielle Funktion bekleidete; dies blieb Kollegen aus angewandten Fachrichtungen wie Abraham Esau oder Peter Adolf Thiessen, später auch Walther Gerlach vorbehalten. Dennoch hat auch Jordan mit seinen Publikationen und deren prononcierten Kommentaren das nationalsozialistische Herrschaftssystem aktiv mitgetragen, und er war damit alles andere als nur „technokratischer Mitläufer“ oder politischer Opportunist. Dies wird zudem durch das Faktum gestützt, dass sich von den politischen und weltanschaulichen Essentials – Ablehnung der Demokratie bzw. der Weimarer Republik, Revision des Versailler Vertrags (auch mit militärischen Mitteln), Wiederherstellung deutscher (militärischer und ökonomischer) Macht und Größe, Antisemitismus –, die das politische Programm des Nationalsozialismus charakterisieren, fast alle in Jordans Schriften wieder finden. Lediglich die bekannten antisemitischen NS-Stereotype werden von Jordan nicht bedient – zumindest nicht in seinen Publikationen und anderen öffentlichen Äußerungen. Ob dies auf seine akademische Sozialisation in Göttingen zurückzuführen ist, wo als Jude nicht nur Max Born zu seinen Lehrern gehörte, oder dafür familiäre Prägungen bzw. ethisch-moralische

²¹ P. Jordan: Olympiade der Wissenschaft. Der Student in Mecklenburg-Lübeck v. 5.12.1936, S. 9.

²² P. Jordan: Physikalisches Denken in unserer Zeit. Hamburg 1935, S. 47.

²³ P. Jordan: Naturwissenschaft im Umbruch. Deutschlands Erneuerung 25(1941)452.

Überzeugungen dafür bestimmend waren, lässt sich rückblickend nicht mehr ergründen; zumal es von Jordan selbst dazu keine Stellungnahmen gibt. Hingegen ist dokumentiert, dass Jordan im April 1933 seinen Lehrer Max Born und James Franck in Göttingen besuchte und sich dabei kritisch über die Entlassungsmaßnahmen geäußert haben soll. Letzteres geht aus einer Briefnotiz von Jordans Mutter an dessen Schwester über diesen Besuch hervor: „P. ist ausser sich, er sagt, Leute, die der Fakultät Weltruhm erworben haben, sollen fort und können nicht ersetzt werden ... Er hat auf dem Schreibtisch eine Disposition liegen, anscheinend will er irgendeinen Schritt tun, der ihm hoffentlich nicht selbst den Hals bricht.“²⁴ Dies ist offenbar nicht geschehen und ob bzw. wie Jordan seine persönlichen Betroffenheit über die Vertreibungsmaßnahmen auch öffentlichen Ausdruck verliehen hat, darüber ist konkretes nicht bekannt. Glaubt man einen Brief Hans Kopfermanns vom 23. Mai 1933, dann waren damals ohnehin „alle an der Wissenschaft Beteiligten gegen die antisemitischen Massnahmen der Regierung“ – „abgesehen von einigen überzeugten Nationalsozialisten und einer geringen Zahl von Leuten, die hoffen, nun zu Amt und Würden zu kommen“.²⁵

Folgt man Jordans eigenen Bekundungen, so hat er 1933 nicht nur gegen die Entlassung seiner jüdischen Lehrer und Kollegen opponiert, sondern damals auch die Emigration erwogen. In seinem Brief an N. Bohr vom Mai 1945 nennt er an Gründen, die ihn schließlich zum Bleiben veranlasst hätten:

- „1) I rather could not depart with my old mother (she died in 1942).
- 2) My known Sprachfehler (12 years ago much worse than today) made me many difficulties in profession and in daily life. These difficulties were to multiply abroad.
- 3) I doubted me as an eventual voluntary emigrant to be justified to charge the organisation created for helping those who were inevitably forced to emigrate.
- 4) I believed to a false theory about the probable evolution of the nazists party after 1933. I thought the radicalism shown at the beginning would evade with time and a tolerable situation would return by steps after some years; I hoped to be able to accelerate this evolution to a certain little extent. When I had to convince myself that on the contrary the tendencies grew more and more radical, there remained no possibility to emigrate.“²⁶

Angesichts der oben zitierten Passagen aus den Jordanschen Schriften jener Zeit fällt es schwer, dieser Argumentation zu folgen und sie ist wohl eher als eine jener allzu bekannten Schutzbehauptungen der Nachkriegszeit zu werten. Der am Schluss angeführte Punkt 4) kommt wahrscheinlich der historischen Wahrheit am nächsten, implizit spiegelt sich darin eben jene Faszination, die der Nationalsozialismus und nicht zuletzt die Person Adolf Hitler damals zweifellos auf Jordan ausgeübt hat - womit Jordan nicht allein dasteht. Was ihn von anderen Zeitgenossen unterscheidet, ist sein propagandistisches Eintreten für die politischen Ziele des Nationalsozialismus. Dieses Eintreten brachte ihn im übrigen auch in

²⁴ P. Jordan an m. Born, Hamburg 15.8.1948 mit Abschrift eines Briefes der Mutter Jordans vom 20.4.1933. Staatsbibliothek zu Berlin. Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung Nachlaß M. Born, Nr. 353, Bl.9R (Nachdruck in: D. Hoffmann. Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248, MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 37).

²⁵ H. Kopfermann an N. Bohr, Kopenhagen 23.5.1933. Niels Bohr Archive Copenhagen.

²⁶ P. Jordan an N. Bohr, Göttingen Mai 1945. Niels Bohr Archive Copenhagen (Nachdruck in: D. Hoffmann. Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248, MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 29)

Konflikt mit einigen Parteistellen und insbesondere mit konservativen bzw. radikalen Strömungen in der Partei. Weniger mit der Partei als solche und ihren grundsätzlichen Zielen, wollte er doch – wie er selbst gegenüber Bohr feststellt²⁷ - zur Evolution bzw. Ent-Radikalisierung der NSDAP beitragen und mit seinem Eintreten für die NSDAP – wie Jordans Mutter 1933 schrieb²⁸ – „einiges Unheil verhüten“. Dabei ging es Jordan nicht nur darum, mäßigenden Einfluss auf die Parteipolitik zu nehmen, sondern vor allem das Potential der Moderne und nicht zuletzt das der modernen Physik der NSDAP anzudienen. Als seine Schrift „Physikalisches Denken in der neuen Zeit“, im Völkischen Beobachter positiv besprochen wurde, sandte er beispielsweise die Rezension absichtsvoll „mit freundl. Grüßen“ an den „Pg. Bacher“, dem Leiter der Hochschulabteilung im Reichs-Erziehungsministerium.²⁹

Die Aufmerksamkeit bzw. die Unterstützung von Leuten wie Bacher war für Jordan deshalb von Bedeutung, weil seine Schrift bei den Vertretern der sogenannten Deutschen Physik bzw. arischen Wissenschaften und ihren Anhängern in der NSDAP eine kritische Aufnahme gefunden hatte. In ihrem „Zentralorgan“, der 1935 gegründeten „Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft“, wurde in der schon zitierten Rezension des Chemikers Rembert Ramsauer (nicht zu verwechseln mit dem Physiker und späteren Vorsitzenden der Physikalischen Gesellschaft Carl Ramsauer) u.a. gegen den programmatischen Titel polemisiert, da er den „Eindruck erweckt, als stehe der Inhalt in einem Zusammenhang mit dem Umbruch in Deutschland.“³⁰

Noch stärker war ein Aufsatz des Herausgebers Kurt Hildebrandt mit Jordan ins Gericht gegangen.³¹ Er setzte sich kritisch mit Jordans Wissenschaftsbegriff auseinander und griff insbesondere seinen dezidierten Positivismus an. Auch wenn die Auseinandersetzung weitgehend auf einer erkenntnistheoretisch-philosophischen Ebene verblieb und den akademischen Diskurs kaum verließ, wird die weltanschauliche Stoßrichtung des Beitrags in solchen Feststellungen des Autor deutlich, „daß hinter dem Positivismus der Gegenwart die große Weltmüdigkeit, der sinkende Lebenstrieb steht“ und „daß die objektive Wissenschaft nicht leidet, sondern nur fruchtbringender sich entfaltet, wenn sie sich einordnet in das schöpferische Geistesleben, das nicht auf die Persönlichkeit des Einzelnen und des Volkes verzichten kann.“³² Weitere kritische Beiträge der Zeitschrift³³ trugen dazu bei, dass sich Jordan als ein bevorzugtes Angriffsziel dieser ideologisch und politisch einflussreichen Gruppe herausgestellt fühlte - wie er wohl insgesamt in dieser Kritik „den Versuch einer politischen Diffamierung der gesamten mathematisch-physikalischen

²⁷ Ebenda.

²⁸ P. Jordan an m. Born, Hamburg 15.8.1948 mit Abschrift eines Briefes der Mutter Jordans vom 20.4.1933. Staatsbibliothek zu Berlin. Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung Nachlaß M. Born, Nr. 353, Bl.9R (Nachdruck in: D. Hoffmann. Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248, MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 37).

²⁹ Bundesarchiv Berlin-Lichterfelde, REM J 107(PA P. Jordan), Bl. 9356.

³⁰ R. Ramsauer: Besprechung von Jordan, Pascual, Physikalisches Denken in der neuen Zeit. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 1(1935) 342-343.

³¹ K. Hildebrandt: Positivismus und Natur. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 1(1935) 1-22.

³² Ebenda, S. 18/19.

³³ K. Hildebrandt: Positivismus und Vitalismus. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 1(1935) 242-243.

Forschung (sah)³⁴. Da ihm nicht zuletzt die politischen Implikationen der Hildebrandtschen Kritik bewusst waren, nahm er den Fehdehandschuh auf und stellte in der Mecklenburger Studentenzeitschrift unter der Überschrift „Olympiade der Wissenschaft“ polemisch klar:

„Aber in der Naturwissenschaft ist es bis heute noch möglich geblieben, daß veraltete Theorien und verschimmelte Hypothesen aus dem vorigen Jahrhundert von neuem aufgetischt und als spezifisch zeitgemäß erklärt werden – ohne daß, wie es ein müßte, ein gesundes Gelächter die einzig passende Antwort gibt und derartige Urgroßväterbärte abrasiert.“³⁵

In den Vorbemerkungen zu seinem Buch „Physikalisches Denken in der neuen Zeit“ hatte er diesbezüglich ebenfalls sehr deutliche Worte gefunden und sich zudem als der bessere Nationalsozialist herausgestellt:

„... es scheint doch eine kurze Antwort angebracht auf das Bestreben, ein Vergnügen an einer Diffamierung der mathematisch-physikalischen Forschung ausgerechnet als angebliche Konsequenz nationalsozialistischer Einstellung hinzustellen. Wir leben im Zeitalter des technischen Krieges: Ein Versuch der Sabotage an Deutschlands führender Stellung auf dem Gebiete der mathematisch-physikalisch-chemischen Forschung muß deshalb nach denselben Grundsätzen beurteilt werden, die auch für die Beurteilung jeder anderen gegen die Wehrkraft des nationalsozialistischen Staates gerichteten Zersetzungsbearbeitung maßgebend sind.“³⁶ Deutliche Worte, die in der Urfassung offenbar noch schärfer formuliert waren, denn auf Intervention von Hildebrandt, hinter der wohl auch höhere NS-Stellen standen, sahen sich Verlag und Autor veranlasst, Jordans Polemik abzuschwächen.³⁷ Paul Rosbaud erinnert sich in der Nachkriegszeit in einem Bericht an Samuel Goudsmit an diese Vorgänge:

„Jordan was always very aggressive ... Nazis like Bieberbach and K.L. Wolff had to suffer a lot under Jordan's intellect, and I remember how we enjoyed a little pamphlet by Jordan in which, in the last moment, though printed, the foreword had to be omitted as too aggressive against Nazi wisdom.“³⁸

Jordan hatte sich mit seiner scharfen Polemik die Gruppe der Deutschen Physiker zu unversöhnlichen Feinden gemacht und so ist es nicht zufällig, dass er bis zu ihrem politischen Niedergang Anfang der vierziger Jahre zum personifizierten Gegenstand ihrer Angriffe auf die moderne Physik blieb. Als 1936 Jordans Buch „Die Physik des 20. Jahrhunderts“ erschien³⁹ und darin der Überzeugung Ausdruck gegeben wurde, dass „die moderne Physik und die für sie charakteristische Umwälzung Jahrhunderte alter naturwissenschaftlicher Vorstellungen ... ein integrierender Bestandteil der sich

³⁴ P. Jordan: Physikalisches Denken in der neuen Zeit. Hamburg 1935, S.9.

³⁵ P. Jordan: Olympiade der Wissenschaft. Der Student in Mecklenburg-Lübeck v. 12.1936, S. 8.

³⁶ P. Jordan: Physikalisches Denken in der neuen Zeit. Hamburg 1935, S.9.

³⁷ K. Hildebrandt: In eigener Sache. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 1(1935) 342.

³⁸ AIP, Niels Bohr Library, Goudsmit Papers, Box 27, Folder 41.

³⁹ P. Jordan: Die Physik des 20. Jahrhunderts. Einführung in die Gedankenwelt der modernen Physik. Braunschweig 1936.

entfaltenden neuen Welt des zwanzigsten Jahrhunderts“ sei⁴⁰, nahm Hugo Dingler⁴¹ dies zum Anlass, im Rahmen einer Rezension „prinzipiell“ mit der modernen Physik bzw. deren ungesicherten erkenntnistheoretischen Grundlagen abzurechnen.⁴² Nach bewährtem Ritual ging Jordan auf Dingers ablehnende Kritik im Vorwort zur zweiten Auflage ein, wobei er polemisch klar stellte, in Dingers Ablehnung ein „Positivum zu sehen, und dass es mir überaus peinlich gewesen wäre, wenn Dingler unfolgerichtigerweise etwa mein Buch günstig beurteilt hätte.“⁴³ Auch Dingler verstärkte mit einer längeren Mitteilung in einer der folgenden Ausgaben „Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft“ seine Kritik, die aber nur noch ein weiteres Mal die beiden unversöhnlichen Standpunkte dokumentierte.⁴⁴ An diesem Disput ist über den erkenntnistheoretischen Rahmen hinaus interessant, dass Jordan eigentlich derjenige war, der mehr noch als Dingler den vermeintlich akademischen Diskurs verließ und weltanschauliche und ideologische bzw. politische Argumenten in die Auseinandersetzung einbrachte. Dies schloss ein, dass er Dingler in der Sprache des Dritten Reiches beim Wissenschaftsministerium bzw. bei Parteistellen zu denunzieren wusste - so in Briefen vom Februar 1938, wo er von „einer gewissen weltanschaulichen Metamorphose“ Dingers spricht, der „vor der Machtergreifung die „gewohnte Tatkraft“, den „Fleiß und Scharfsinn“ der jüdischen Rasse in seinen philosophischen Schriften nachdrücklich hervorgehoben hat“⁴⁵ und sein Hauptwerk „Der Zusammenbruch der Wissenschaft“ (München 1926) „auch sonst zahlreiche Verbeugungen und Anbiederungsversuche gegenüber dem Judentum“ enthält und „stolz darauf (ist), daß der oberste Rabbiner von Wien als „kompetentester“ Beurteiler die Dingersche Schrift anerkannt habe“.⁴⁶ Weiterhin spricht Jordan von Dingers „projüdischer Propaganda“ und „dem mit geradezu jüdischer Sensations- und Reklamemache gewählten Titel“ seines Hauptwerkes⁴⁷, das keineswegs "der positiven Aufbauarbeit im Sinne nationalsozialistischer Kulturpolitik dienen“ könne.⁴⁸ Mit einem Beitrag der Mecklenburger Studentenzeitung hatte er seine Polemik gegen Dingler zudem in die breite Öffentlichkeit getragen und hinsichtlich der opportunistischen Wandlung von Zeitgenossen wie Dingler polemisch festgestellt, dass

„deren Hauptbedürfnis dahin geht, ihre vor der Machtergreifung gezeigte politisch-weltanschauliche Haltung in wohlthätige Vergessenheit zu versenken, und die (nunmehr) zu diesem Zwecke stürmische Beweise ihrer nunmehr garantiert hundertundfünfzigprozentigen Gesinnung ablegen.“⁴⁹

⁴⁰ Ebenda, S. VII.

⁴¹ Zu H. Dingler Vgl.: G. Wolters: Opportunismus als Naturanlage: Hugo Dingler und das ‚Dritte Reich‘, In:, S. 257-327.

⁴² H. Dingler: Die „Physik des 20. Jahrhunderts“. Eine prinzipielle Auseinandersetzung (Zu einem Buche von P. Jordan). Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 3(1937) 321-335.

⁴³ P. Jordan: Die Physik des 20. Jahrhunderts. 2. Erweiterte Auflage. Braunschweig 1938, S. VIII.

⁴⁴ H. Dingler: Pascual Jordan, „Die Physik des 20. Jahrhunderts“. Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft 4(1938)389-393.

⁴⁵ P. Jordan an den Rektor der Universität Rostock, Rostock 23.2.1938. AHU, Personalakte P. Jordan, PA 69./II, Bl. 54.

⁴⁶ P. Jordan an den Gaudozentenbundsführer Gißel, Rostock 10.2.1938, Ebenda, Bl. 56.

⁴⁷ Ebenda.

⁴⁸ Ebenda, Bl.55.

⁴⁹ P. Jordan: Olympiade der Wissenschaft. Der Student in Mecklenburg-Lübeck v. 12.1936, S. 8.

Von einem solchen Opportunisten und „fanatischen philosophischen Propagandisten des Judentums“ will sich Jordan deshalb – wie er in offiziellen Briefen wiederholt erklärt⁵⁰ - als „Parteimitglied und SA-Mann“ keine „weltanschaulichen Belehrungen und Zensuren“ erteilen lassen.

Damit nicht genug, denn in einem Brief an Fritz Kubach, dem damaligen Leiter des Amtes Wissenschaft und Facherziehung der Reichsstudentenführung und späteren Reichsstudentenführer, wird Jordan noch deutlicher und nimmt die Diffamierung Dingers zum Anlaß, sich als der bessere Nationalsozialist den entsprechenden Parteistellen anzudienen und sich dabei exzessiv auch antisemitischer Stereotype zu bedienen:

„Nicht nur ein Philosoph, der sein philosophisches Lebenswerk früher als in engster Parallelität zur jüdischen Gesetzeslehre stehend charakterisiert und sich durch den Beifall eines Rabbiners geschmeichelt gefühlt hat, ist ungeeignet als Mitarbeiter und Berater des nationalsozialistischen Wissenschaftsaufbaues. Sondern dieselbe Nicht- Eignung besteht z.B. auch für den ehemaligen Ehemann einer Jüdin, oder einem Mitarbeiter Georg Bernhards, oder einen Mann, der seine finanziell Abhängigkeit von zionistischen Kreisen anerkannt hat, oder der bis 1932 mit fanatischer Folgerichtigkeit für die Verjudung deutscher Universitäten gewirkt hat, oder der selber in verdacht jüdischer Abstammung steht, oder nach der Machtergreifung einen Agenten der jüdischen Weltführung zu mehrstündiger Geheimunterredung empfängt, usw. usw. Ich bin fest überzeugt, daß wir beide uns über die Notwendigkeit, derartige Leute von einer Beeinflussung nationalsozialistischer Kulturarbeit fernzuhalten vollkommen einig sind ...

Viel wichtiger noch als diese negativen Notwendigkeiten sind jedoch die positiven Aufgabenstellungen nationalsozialistischer Wissenschaftsführung, im Sinne einer geistigen Durchdringung wissenschaftlicher Arbeit durch den Nationalsozialismus, und umgekehrt, im Sinne eines umfassenden Einbaues deutscher Wissenschaft und Forschung in das nationalsozialistische Kulturschaffen. Abgesehen von der – allerdings hochbedeutsamen – Verknüpfung naturwissenschaftlicher Arbeit mit dem nationalsozialistischen im Rahmen des Vierjahresplans, sind wir heute auf keinem gebiete mehr so im Rückstand, wie in der Einordnung naturwissenschaftlich-mathematischer Arbeit in die nationalsozialistische Kulturpolitik. Das liegt nicht etwas in der Natur der Sache, sondern in der Folge der Sabotagearbeit gewisser getarnter Judenfreunde, denen wir insbesondere auch zu verdanken haben, daß die von der jüdischen Kulturpropaganda erfundene Einstein-Legende nicht etwas zerstört und überwunden, sondern im Gegenteil noch fester in die Köpfe eingehämmert worden ist. Die positiven Aufgaben und Notwendigkeiten, wie sie sich insbesondere aus den großen Richtlinien der Rosenbergschen rede ergeben, können hinsichtlich ihrer Inangriffnahme und Lösung nicht getrennt werden von der Notwendigkeit einer Beseitigung der Verwirrung, welche durch Leute wie Dingler planmäßig herbeigeführt worden ist.“⁵¹

⁵⁰ P. Jordan an den Rektor der Universität Rostock, Rostock 23.2.1938. AHU, Personalakte P. Jordan, PA 69,II, Bl. 54; P. Jordan an den Gaudozentenbundsführer Gißel, Rostock 10.2.1938, Ebenda, Bl. 56.

⁵¹ P. Jordan an F. Kubach, Rostock 28.3.1938 (Abschrift). Universität Konstanz, Philosophische Archiv, Nachlass Hugo Dingler. Ebenda Bl.57-59. Gereon Wolters (Konstanz) machte uns auf diesen Brief aufmerksam.

Jordan wurde nicht gehört – wahrscheinlich waren die Allianzen von Kubach und entsprechender Parteistellen zu Dingler und der Deutschen Physik zu stark. Auf jeden Fall erklärt Jordans Auseinandersetzung mit Dingler und den mit ihm verbündeten Vertretern der Deutschen Physik, warum Jordan nach eigener Nachkriegsbekundung „neben Planck und Heisenberg der am stärksten seitens einflussreicher Parteiorgane (VB, Schwarzes Korps usw. usw.) angegriffene Physiker“⁵² gewesen war und dass diese Angriffe kaum etwas mit politischer Distanz oder gar Gegnerschaft zum Nationalsozialismus zu tun hatten – man rieb sich vielmehr an weltanschaulichen Differenzen und an der falschen Wissenschaftspolitik des Ministeriums und seiner Gefolgsleute; zudem stellte das Ministerium auch nur ein Machtzentrum in der polykratischen Herrschaftsstruktur des NS-Regimes dar, das zwar für Jordans Hochschullaufbahn eine Schlüsselposition einnahm, doch in Konkurrenz zu anderen Machtfaktoren keineswegs eine existenzbedrohende Wirkungen zu entfalten vermochte. Problematisch und mit einem fatalen Beigeschmack behaftet, bleibt ebenfalls Jordans Wortwahl, auch wenn sie wohl eher den taktischen Gegebenheiten der aktuellen Auseinandersetzung als eigener Überzeugung geschuldet war.

Werner Heisenberg hatte Jordan im Übrigen geraten, auf Dingers Angriffe – wenn überhaupt - ironisch zu antworten:

„Wenn man sie überhaupt schriebe, müsste sie etwa so lauten: „Herr Dingler hat im Gegensatz zur bisherigen theor. Physik die richtige Methode, Physik zu treiben entdeckt. Wir freuen uns auf die grossen Entdeckungen, die er nun offenbar in der nächsten zeit publizieren wird.“⁵³

Jordan hat diesen Rat offensichtlich nicht befolgt, sondern in der eben dokumentierten Art reagiert. Darüber hinaus versuchte er in der Folgezeit eine breite Allianz gegen Dingler & Co. zu schmieden, in die er u.a. Walther Gerlach und Paul Rosbaud einbeziehen wollte. Letzterer schlug im Sommer 1941 diesbezüglich vor, „eine offene Stellungnahme in Form einer kurz gehaltenen Denkschrift oder eines persönlichen Briefes an diejenige Stelle zu richten, die letzten Endes für alle Fragen zuständig ist.“⁵⁴ Im folgenden Jahr kam es dann tatsächlich zu einer Denkschrift in dieser Sache, die allerdings von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) und ihrem 1940 neu gewählten Präsidenten Carl Ramsauer getragen wurde.⁵⁵ Dass daran P. Jordan oder P. Rosbaud unmittelbar beteiligt waren, ist bislang nicht bekannt und eher unwahrscheinlich, denn engere Kontakte Jordans zur DPG oder zu Ramsauer sind nicht aktenkundig, zumal Jordan damals nicht einmal Mitglied der DPG war.

⁵² P. Jordan an Max Born, Hamburg 23.7.1948. Staatsbibliothek zu Berlin, Preussischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlaß M. Born, Mappe 353.

⁵³ W. Heisenberg an P. Jordan Leipzig 5.2.1938. Staatsbibliothek zu Berlin. Preussischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlaß P. Jordan, Mappe 494.

⁵⁴ P. Rosbaud an P. Jordan, Berlin 12.9.1941. Staatsbibliothek zu Berlin. Preussischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlaß P. Jordan, Mappe 583.

⁵⁵ Vgl. D. Hoffmann: Die Ära Ramsauer, In: D. Hoffmann, M. Walker (Hrsgb.): Physiker zwischen Autonomie und Anpassung. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft im Dritten Reich. Weinheim 2007, S. 188ff.

Trotz aller unerquicklichen Begleitumstände, die damals von NS-kritischen Kollegen durchaus wahrgenommen wurden⁵⁶, hat Jordan die Auseinandersetzung mit Dingler und der Deutschen Physik durchaus Anerkennung und Respekt bei seinen Physikerkollegen eingetragen – und dies sollte nicht zuletzt in der Nachkriegszeit positive Wirkung zeigen, worauf später noch näher einzugehen ist. Aktuell führte sie aber dazu, dass sich Jordan damit und nicht zuletzt durch seine aggressive und unkonziliante Art persönliche Feinde in den weltanschaulich und ideologisch geprägten NS-Hierarchien schuf – namentlich in der Reichsstudenten- und Dozentenführung sowie in der Person F. Kubachs. Diese verfügten in der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre über erhebliche Macht und öffentlichen Einfluss, wovon das Berufungsgeschehen um die Sommerfeld-Nachfolge in München⁵⁷ und die Pressekampagne von Johannes Stark und seinen Anhängern gegen die sogenannten „weißen Juden in der Wissenschaft“ im „Völkischen Beobachter“ oder in der SS-Zeitschrift „Das schwarze Korps“ zeugen.⁵⁸ Dies hat sicherlich dazu beigetragen, dass Jordan damals bei anstehenden Berufungen übergangen wurde und man in parteiamtlichen Beurteilungen aus jener Zeit wiederholt Feststellungen wie diese finden kann:

„... seine Arbeiten, insbesondere seine weltanschaulichen Stellungnahmen über die Grundlage und Bedeutung der Physik (sind) nicht ohne ganz erheblichen Widerspruch geblieben. Ein endgültiges Urteil über ihn kann zurzeit noch nicht abgegeben werden.“⁵⁹

Solche Stellungnahmen wurden damals von der NS-Studenten- und Dozentschaft im Rahmen von Berufungsverhandlungen, aber auch bei Anträgen für Auslandsreisen abgegeben und sollte die politische Zuverlässigkeit des jeweiligen Kandidaten sichern. Eine solche Reise führte Jordan im Jahre 1936 nach Kopenhagen und die Umstände dieser Reise machen ebenfalls sein konformes und opportunistisches Verhalten in dieser Zeit deutlich.⁶⁰

Für den Sommer hatte Niels Bohr zu einer jener legendär gewordenen Physikerkonferenzen eingeladen, die seit Ende der zwanziger Jahre einen erlesenen Kreis von Bohr-Schülern sowie interessierte Fachkollegen zum Meinungsstreit über die aktuelle Entwicklung in der modernen (Quanten)Physik zusammenführte. Die Tagung sollte diesmal zusammen mit dem „Zweiten Kongreß für Einheit der Wissenschaft“ stattfinden, dessen Thema „Das Kausalproblem mit besonderer Berücksichtigung in Physik und Biologie“ nicht zuletzt den Kreis um Niels Bohr besonders interessierte. Auf diesen inhaltlichen Zusammenhang weist auch die Einladung hin, die Bohr im Frühjahr 1936 an interessierte Fachkollegen, darunter auch an Pascual Jordan verschickt hatte:

„Ich möchte Ihnen gerne mitteilen, dass eine Konferenz über aktuelle Fragen der Atomphysik in den Tagen vom 14. bis 20 Juni hier am Institut abgehalten wird. Wir rechnen mit dem Besuch von einer größeren Anzahl der alten Mitarbeiter und möchten uns besonders freuen, wenn Sie auch teilnehmen könnten...Übrigens findet, wie Sie vielleicht

⁵⁶ Vgl. R. Rompe: Betrifft Berufung Prof. Dr. Pascual Jordan. Berlin 4.X.48. ABBAW.

⁵⁷ Vgl. F. Litten: Mechanik und Antisemitismus. München 2000.

⁵⁸ Vgl. J. Stark: ‚Weisse Juden‘ in der Wissenschaft. Das Schwarze Korps v. 15.7. 1937; Anonym: Kehrseite der Medaille. Das Schwarze Korps v. 18.11.1937.

⁵⁹ Dozentschaft der Universität Rostock an den Rektor, Rostock 23.8.1937. HUA, Bl. 74.

⁶⁰ Vgl. auch D. Hoffmann: Zur Teilnahme deutscher Physiker an den Kopenhagener Physikerkonferenzen nach 1933 sowie am 2. Kongreß für Einheit der Wissenschaft, Kopenhagen 1936. NTM 25(1988) 49-55.

schon gehört haben, in der darauf folgenden Woche, 21. -28. Juni, hier ein Kongress statt für wissenschaftliche Philosophie, wo besonders die Frage der Kausalität in Physik, Biologie und Psychologie diskutiert werden soll. Auch bei diesem Kongress ist Ihre Teilnahme ja besonders erwünscht, und ich freue mich dabei Gelegenheit zu bekommen, wieder über die Probleme, woran wir beide so tief interessiert sind, Gedanken mit Ihnen austauschen zu können. Man hat mich gebeten, in das Organisationskomitee einzutreten und einen einleitenden Vortrag zu halten. Im Auftrage des Komitee's will ich Ihnen hiermit auch gern in sehr formaler Weise unsere dringliche Einladung zur Teilnahme an den darauf folgenden Diskussionen schicken.“⁶¹

Mit dieser Doppeleinladung hatte Bohr für die deutschen Teilnehmer und namentlich für Pascual Jordan ein Problem aufgeworfen: Konnte man sich in den physikalischen Diskussionen noch einigermaßen und zumindest nach außen politisch „neutral“ verhalten, so war dies in den anstehenden Diskussionen des Philosophiekongresses nur schwerlich zu realisieren; nicht nur die den Kongress repräsentierende philosophische Richtung, der Neopositivismus, stand im offensichtlichen Gegensatz zu den vom Nationalsozialismus favorisierten philosophischen Denkrichtungen, mehr noch waren deren führende Repräsentanten (R. Carnap, Ph. Frank, O. Neurath, H. Reichenbach, M. Schlick) wegen ihrer jüdischen Herkunft vielfach gerade erst zur Emigration aus Deutschland gezwungen worden und vertraten antifaschistische Einstellungen; hinzu kam, dass das Kongressthema gerade je Problemfelder berührte, die auch in der Auseinandersetzung zwischen Jordan und den Vertretern der Deutschen Physik thematisiert wurden. Dies spiegelt sich auch in dem Brief Jordans, der dem vorgesetzten Ministerium Meldung über die ergangene Einladung erstattete:

„Hochgeehrter Herr Parteigenosse! Der Unterzeichnete erstattet hierdurch Meldung, dass er durch Prof. *N. Bohr* in Kopenhagen eingeladen worden ist, teilzunehmen an

- 1) einer im Kopenhagener Institut für theoretische Physik vom 14. bis 20. Juni stattfindenden Konferenz über aktuelle Fragen der Atomphysik
- 2) einem in Kopenhagen vom 21. bis 28. Juni stattfindenden Kongress für wissenschaftliche Philosophie.

Zugleich mit dieser Meldung richte ich ergebenst die Anfrage an Sie, ob Sie meine Teilnahme an diesen Veranstaltungen genehmigen würde...

Meine Teilnahme an der erstgenannten Veranstaltung ist mir im wissenschaftlichen Interesse hochgradig erwünscht; sie wird mir Gelegenheit geben, mich zu unterrichten über die neusten Ergebnisse ausländischer Forscher in Bezug auf Probleme, die auch von mir bearbeitet werden.

Der an zweiter Stelle genannte Kongress wird sich insbesondere mit philosophischen Fragen der modernen Physik (sowie Beziehungen zur Biologie usw.) und mit den von mir entwickelten diesbezüglichen Auffassungen beschäftigen. Einige der zu erwartenden ausländischen Kongressteilnehmer haben meinen Auffassungen gegenüber eine

⁶¹ Bundesarchiv Berlin-Lichterfelde, Reichserziehungsministerium Nr. 2744, Atomphysikkongresse Kopenhagen 1936/37/38 (im folgenden BA, REM, Atomkongress), Bl. 13.

gegnerische Haltung angenommen, was teilweise durch abweichende weltanschauliche Einstellung bedingt ist. Aus diesem Grund würde ich eine Genehmigung meiner Teilnahme auch an diesem Kongress sehr begrüßen. Eine Überlastung mit dringlicher Arbeit macht es mir allerdings z. Zt. noch ungewiss, ob ich von dieser Genehmigung sächlich werden Gebrauch machen können...⁶²

Obwohl für den Pg Jordan „in persönlicher und politischer Hinsicht nicht die geringsten Bedenken vorliegen“, genehmigte ihm das Ministerium zunächst nur die Teilnahme an der Physikerkonferenz und erbat für den Philosophiekongress weitere Informationen.⁶³ Diese lieferte dann Jordan bereitwillig in einem Schreiben vom 25. Mai:

„Ich gelange zu der Überzeugung, dass ich es vorziehen möchte, die diesbezügliche Einladung abzulehnen. Erstens nämlich schließe ich aus der Rückfrage b) (‘Welche deutsche Wissenschaftler nehmen teil?’) dass sonstige deutsche Wissenschaftler bislang noch nicht die Genehmigung ihrer Teilnahme beantragt haben, so dass ich gegebenenfalls wahrscheinlich der einzige deutsche Teilnehmer wäre, was mir nicht angenehm wäre. Zweitens ist meine Information über die Organisation des Kongresses sehr mangelhaft, so dass sie dem Ministerium – sofern dort anderweitige Informationen hierüber nicht vorliegen – keine ausreichende Unterlagen bieten dürfte für die Entscheidung, ob die Teilnahme eines deutschen Vertreters an diesem Kongress wünschenswert ist. Die an mich ergangene Einladung ist nicht offiziell von der Kongressleitung, sondern von Prof. Bohr persönlich ausgesprochen. Auch eine offizielle Tagesordnung habe ich nicht erhalten. Der Kongress ist international; an seiner Spitze steht Carnap – Prag; die übrigen Veranstalter sind, wenn ich recht im Bilde bin, hauptsächlich Franzosen, Engländer, Tschechen. Der erste ähnliche Kongress hat 1935 in Paris stattgefunden; damals nahm von deutscher Seite Prof. Scholz- Münster teil, der den beiliegenden Bericht verfasste. Der Charakter des bevorstehenden Kongresses ist meines Wissens unpolitisch. Einige der vermeintlichen Kongressteilnehmer stehen jedoch der materialistischen Weltanschauung nahe und ich möchte aus den erläuterten Gründen meine Teilnahme doch für unzweckmäßig halten. Ich denke also Prof. Bohr zuschreiben, dass meine derzeitige Arbeitsbelastung meine Teilnahme an diesem Kongress unmöglich macht, und hoffe, hierfür die Bewilligung des Ministeriums zu finden.“⁶⁴

Nach einer Terminverschiebung bzw. Verkürzung der Physikerkonferenz, über die Bohr in einem Brief von 7. Juni 1936 informiere⁶⁵, konnte Jordan nicht mehr, ohne sein Gesicht zu verlieren, den Einwand des Zeitmangels vorschieben, so dass er sich am 8. Juni erneut an das zuständige Erziehungsministerium wandte, um den „autoritativen Rat des Reichsministers“ einzuholen, da er „nicht übersehen kann, ob es dem Ministerium erwünscht oder nicht erwünscht wäre, wenn das Vorhandensein politischer Bedenken als Grund dieser Ablehnung den Ausländern bekannt würden“.⁶⁶

⁶² BA, REM, Atomkongress, Bl. 1.

⁶³ BA, REM, Atomkongress, Bl. 1.

⁶⁴ BA, REM, Atomkongress, Bl. 15.

⁶⁵ BA, REM, Atomkongress, Bl. 18.

⁶⁶ BA, REM, Atomkongress, Bl. 19.

Per Telegramm und mit der Auflage, „Bericht über Konferenz und Kongressverlauf nach Rückkehr vorlegen“⁶⁷, wurde P. Jordan schließlich auch die Teilnahme Kopenhagener Philosophiekongress genehmigt.

Charakterisieren schon diese Ausschnitte aus der Jordanschen Korrespondenz schlaglichtartig die politischen Zustände im nationalsozialistischen Deutschland und vor allem die Zwiespältigkeit der Persönlichkeit Jordans, so macht der im Anschluss an den Kopenhagenaufenthalt verfertigte fünfseitige Reisebericht vom 6. Juli 1936 vollends deutlich, in welchem Maße Jordan bereits war, mit den NS-Behörden zu kooperieren. Ausführlich ging er in dem Bericht auf seine Kontakte mit den entsprechenden Auslandsdienststellen der NSDAP und der Deutschen Gesandtschaft in Kopenhagen ein; auch kommentierte er in politisch eindeutiger Weise das Auftreten der starken italienischen Gruppe, die „sämtlich faschistische Parteimitglieder waren (und) bezeichnender Weise ... strengstens den Gebrauch der englischen Sprache“ vermieden.⁶⁸ Vergleichsweise wenig berichtete er indes über das eigentliche Konferenzgeschehen – hier wurde eigentlich nur Heisenbergs Vortrag über Schauer in der kosmischen Höhenstrahlung, den Jordan absichtsvoll zum „offenkundigen Höhepunkt der Konferenz“ hochstilisierte, und natürlich sein eigener Beitrag zum Neutrinoproblem erwähnt. Sehr viel ausführlicher wird hingegen der Philosophiekongress analysiert:

„Unter den zahlreichen Zuhörern war zu unterscheiden:

- A) Ein Teil der Teilnehmer der vorangegangenen physikalischen Konferenz, welche – ebenso wie ich – vor allem den Vortrag Prof. N. Bohrs mit hören wollten, ohne jedoch offizielle Kongressteilnehmer zu sein.
- B) Ein weiterer Kreis sehr passiver Zuhörer und Teilnehmer.
- C) Der Kreis der eigentlich aktiven Kongressteilnehmer

N. Bohr – Kopenhagen, steht diesem Kreis an sich fern, und sogar ziemlich ablehnend gegenüber. Der Wunsch der Kongressleitung, durch N. Bohr über die neuste Entwicklung in der Physik unterrichtet zu werden, dürfte mitbestimmend gewesen sein für die Wahl Kopenhagens als Tagungsort. Im uebrigen ergab sich eine gewisse Beteiligung Prof. Bohrs an der Eröffnung usw. des Kongresses aus dessen Stellung als repräsentativer Wissenschaftler Dänemarks.

Der von mir früher irrigerweise als Kongressleiter angesehen R. Carnap – Prag befindet sich auf einer Amerika-Reise. Die Leitung des Kongresses lag in der Hand von Jörgensen – Kopenhagen. Ferner gehörten zu diesem Kreis von bekannteren Persönlichkeiten Ph. Frank sowie M. Schlick, der von seiner beabsichtigten Abreise zum Kongress in Wien ermordet wurde, von einem anscheinend psychopathischen früheren Schüler.

Zum größten Teil war mir der Teilnehmerkreis des Kongresses unbekannt. Eine einheitliche Beurteilung scheint aber auch deshalb nicht möglich, weil dieser Kreis sehr ungleichmäßig zusammengesetzt ist, derart, dass eine einheitliche Tendenz weder in fachwissenschaftlicher noch in weltanschaulicher Beziehung ausgeprägt ist. Jedoch ist, wie

⁶⁷ BA, REM, Atomkongress, Bl. 22.

⁶⁸ BA, REM, Atomkongress, Bl. 25RS.

ich schon früher darlegte, innerhalb dieses Kreises auch die materialistische Weltanschauung zum Teil deutlich vertreten. Bestimmt gilt es von O.Neurath (Haag, früher Wien, wahrscheinlich Jude), der durch seine Rührigkeit eine gewisse Rolle in diesem Kreis spielt, obwohl er fachlich (als Soziologe, von marxistischer oder quasimarxistischer Richtung) ein Außenseiter des vorwiegend mathematisch-naturwissenschaftlich interessierten Kreises ist. Wie früher bemerkt, hat Neurath schon seit Jahren eine gehässig-kritische Stellung gegenüber von mir vertretenen wissenschaftlichen Thesen eingenommen.

Selbstverständlich war der Kongress rein wissenschaftlich gerichtet, also unpolitisch und weltanschaulich neutral. Die verschiedenen Vorträge gruppieren sich um das Thema des Kausalitätsproblems. Es ist aber wohl trotzdem von Interesse, die im Hintergrund mitschwingenden weltanschaulichen Fragen etwas näher zu betrachten, nachdem wir in Deutschland in Bezug auf die (oft unbewussten) weltanschaulichen Hintergründe rein wissenschaftlicher Fragen aufmerksam geworden sind.

In diesem Sinne ist nun hervorzuheben, dass offensichtlich gerade in den Kreisen der wissenschaftlichen Anhänger einer materialistischen Weltanschauung eine lebhaft **Beunruhigung** besteht aufgrund der Ergebnisse der modernen physikalischen Forschung (Atom- und Quantenphysik). Die modernen physikalischen Erkenntnisse stehen im diametralen Gegensatz zu beliebtesten, Jahrhunderte alten naturwissenschaftlichen Thesen der materialistischen Weltanschauung (Auf diese Liquidierung der Grundthese der materialistischen Philosophie durch die moderne Atomphysik ist übrigens von W. Heisenberg im Völkischen Beobachter kurz hingewiesen worden). Diese moderne wissenschaftliche Entwicklung und die dadurch ausgelöste Beunruhigung und Besorgnis im materialistischen Lager dürfte auch vom politischen Standpunkt aus aufmerksame Beobachtung verdienen. Allerdings ist ja selbstverständlich die Niederrichtung des Bolschewismus – der gerade jetzt wieder bei verschiedenen Nachbarvölkern so drohend sein Haupt erhebt - in erster Linie eine Sache politischer Willensbildung und weltanschaulich-blutsmäßiger Kampfkraft, welche nicht durch wissenschaftliche Beweisführungen ersetzt werden können. Trotzdem aber scheint es ein bedeutungsvolles Zeichen der Zeit zu sein, dass die materialistische Weltanschauung – als wissenschaftliche Theorie betrachtet – gerade in demjenigen Wissenschaftsgebiete als unhaltbar und der wissenschaftlichen Erkenntnis widersprechend entlarvt wird, welches seit der Renaissance als ihre sicherste Domäne gegolten hat.

Um Missverständnisse oder Gerüchtebildung im Ausland zu vermeiden, scheint es mit dringend wünschenswert, dass Tatsache und Inhalt dieser Berichterstattung im Ausland in keiner Weise bekannt werden. Ich habe es deshalb der größeren Sicherheit halber streng vermieden, mit Kameraden oder Kollegen über diesen Bericht zu sprechen, und erlaube mit... auch Sie um vertrauliche Behandlung der Angelegenheit zu bitten.⁶⁹

Dass man damals auch anders berichten konnte und sich nicht als Instrument der Nazis missbrauchen lassen musste, machten die Reiseberichte der anderen Teilnehmer an der Kopenhagener Physikerkonferenz deutlich. So ist z.B. derjenige Heisenbergs in einem sehr sachlichen Ton abgefasst, vermeidet jegliche politische Stellungnahme und beschränkt sich allein auf die Kommentierung des wissenschaftlichen Konferenzgeschehens; gänzlich

⁶⁹ BA, REM, Atomkongress, Bl. 26-27.

ausgespart bleibt der Philosophiekongress, obwohl Heisenberg auch an ihm teilgenommen hatte– wie aus einer Zeitungsmeldung⁷⁰ sowie einem Schreiben der Deutschen Gesandtschaft Kopenhagen⁷¹ hervorgeht.

Über seine Reise nach Kopenhagen hinaus hat Jordan in den dreißiger Jahren noch zahlreiche weitere Auslandsreisen unternommen, die ihn u.a. nach Charkow, Paris und Zürich führten. Noch im Sommer 1939 wurde ihm die Teilnahme am Internationalen Kongreß für Mikrobiologie in New York bewilligt, doch konnte die Reise wegen des Kriegsausbruchs nicht mehr realisiert werden. Zu diesen Reiseanträgen wurde zwar verschiedentlich seitens des NS- Dozentenbund, hinter dem nicht zuletzt Jordans Intimfeind Fritz Kubach stand, kritisch Stellung bezogen und weltanschauliche Bedenken erhoben⁷², doch ist kein Beispiel bekannt, dass das Ministerium Jordans Reiseanträge aus politischen Gründen abgelehnt hat. Überhaupt kann man feststellen, dass sich die massiven weltanschaulichen Angriffe gegen Jordan auf die zweite Hälfte der dreißiger Jahre konzentrierten und so eher temporärer Natur waren. So war noch Anfang 1936 sein Extraordinariat an der Universität Rostock in eine ordentliche Professur umgewandelt worden, wobei die entsprechende Anfrage an Kanzlei des Stellvertreter des Führers– wie in solchen Fällen üblich – ohne weitere Kommentare oder Rückfragen bestätigt wurde.⁷³ Im entsprechenden Antrag des Dekans an das Mecklenburgische Staatsministerium heißt es, „dass die Beförderung von Prof. Jordan zum Ordinarius nur der hervorragenden Stellung entspricht, die er im Rahmen unserer Hochschule längst einnimmt“⁷⁴, auch in den eingeholten Gutachten werden keinerlei politische oder weltanschauliche Bedenken gegen Jordan erhoben: so bezeugte die Studentenschaft, dass Jordan „in ehrlicher Überzeugung zur nationalsozialistischen Bewegung steht“⁷⁵, und im Gutachten der Dozentschaft heißt es sogar: „Politisch ist J. in jeder Weise zuverlässig. Er ist bereits früher weitgehend politisch interessiert gewesen.“⁷⁶ Erst im Sommer 1937, als die Vertreter der Deutschen Physik eine groß angelegte Offensive gegen die Vertreter der modernen Physik eröffnet hatten⁷⁷ und Jordan u.a. in der Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft als solcher diffamiert worden war, fühlte sich derselbe „Kamerad Gißel“ zur Feststellung veranlasst, dass „ein endgültiges Urteil über ihn (Jordan – d.A.) zurzeit noch nicht abgegeben werden kann.“⁷⁸

In dieser Zeit haben die Auseinandersetzungen mit H. Dingler und den Vertretern der Deutschen Physik wohl auch die Karriere Jordans behindert, denn als an der Berliner

⁷⁰ Berlingske Tidende v. 17.Juni 1936.

⁷¹ BA, REM, Atomkongress, Bl. 30.

⁷² Beispielsweise zur Vortragsreise Jordans nach Zürich im Frühjahr 1939, Siehe: Politisches Archiv des Auswärtigen Amtes Berlin. J. Lemmerich machte uns auf diese Dokumente aufmerksam.

⁷³ Vgl. Die Bundesbeauftragte für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik, MfS-HA IX711, PA 2697, Bl. 15.

⁷⁴ Dekan an Mecklenburgische Staatsministerium, Abtlg. Unterricht, Rostock 15.4.1936 der HU, PA j, Bl. 46.

⁷⁵ Studentenschaft der Universität Rostock an den Rektor, Rostock 29.2.1936, Ebenda, Bl. 27.

⁷⁶ Gutachten des Leiters der Dozentschaft der Universität Rostock (Gißel), Rostock 20.3.1936, Ebenda Bl. 26ff.

⁷⁷ Vgl. A. Beyerchen: Wissenschaftler unter Hitler. Physiker im Dritten Reich. Berlin 1982, S. 196ff.

⁷⁸ Dozentschaft an den Rektor der Universität Rostock, Rostock 23.8.1937. Ebenda Bl. 74.

Universität im Herbst 1936 die Nachfolge Erwin Schrödingers beraten wurde, sprach sich die eingesetzte Kommission für die Berufung Jordans aus.⁷⁹ Allerdings wurde dieser Vorschlag vom Ministerium nicht umgesetzt, sondern die Professur weiterhin von jüngeren theoretischen Physikern vertreten. Erst als es 1943 um die Nachfolge für Max von Laue ging, griff man den damaligen Personalvorschlag wieder auf und das Ministerium fragte bei Jordan an, ob er bereit wäre, „diesem Ruf folge zu leisten.“⁸⁰ Jordan akzeptierte das ehrenvolle Angebot natürlich und wurde zum Wintersemester 1944/45 als ordentlicher Professor für theoretische Physik an die Friedrich-Wilhelms Universität in Berlin berufen. Angesichts der katastrophalen Zeitumstände hat Jordan in Berlin nur noch eingeschränkt wirken können – von seinen wenigen Vorlesungen ist zudem widersprüchliches bekannt. So berichtet Werner Luck, dass diese wegen Jordans Vorliebe für komplizierte mathematische Gleichungen und deren ausführlicher Erörterung „für die Hörer unerfreulich waren“ und es – etwa im Gegensatz zu Heisenberg⁸¹ - zu ihm „auch keine persönlichen Kontakte“ gab.⁸²

Im Übrigen hatte nicht erst die Berliner Berufung deutlich gemacht, dass Jordans akademischer Stern wieder im Aufsteigen begriffen war. Bereits Anfang der vierziger Jahre war der Einfluss der Deutschen Physik und ihrer Ideologen immer stärker marginalisiert und die moderne Physik sukzessive rehabilitiert worden, so dass die Angriffe auf Jordan und die anderen Vertreter der modernen Physik zurück gingen bzw. kein öffentliches Forum mehr fanden. Mit politisierenden Physikern a la Johannes Stark oder Fritz Kubach ließ sich zwar sehr gut eine nationalsozialistische Revolution durchführen, für den autarken Wehrstaat und zur Entwicklung von moderner Technologie und innovativen Waffensystemen waren indes Physiker vom Typ eines Pascual Jordan stärker gefragt. Die ideologisch motivierte Nichtachtung und Diskriminierung der modernen theoretischen Physik nahm so im Zeichen von forcierter Aufrüstung und Kriegspolitik kontinuierlich ab und deren Protagonisten konnten sich wieder eines zunehmenden Einflusses und wachsender Akzeptanz bei den politischen Mächtigen erfreuen. Symptomatisch für diesen Wandel war die Wiederaufnahme der Verleihung der Planck-Medaille durch die Physikalische Gesellschaft, wobei es keineswegs zufällig war, dass 1943 - nach fünfjähriger Zwangspause - Pascual Jordan mit dieser höchsten deutschen Physik-Auszeichnung geehrt wurde. Mit der Verleihung an einen Pionier der modernen Physik und dezidierten Anhänger des Nationalsozialismus demonstrierte die Physikalische Gesellschaft sowohl ihre wissenschaftliche Autonomie wie auch ihre politische Loyalität gegenüber der politischen Macht.⁸³

Jordans Berufung nach Berlin markierte so nur den Endpunkt einer Entwicklung und zeigte, dass die weltanschaulichen Angriffe auf die Person Jordan endgültig zu den Akten gelegt waren. In Berlin bekleidete Jordan nicht nur einen der angesehensten

⁷⁹ Bericht über die Kommissionssitzung wegen der Nachfolge Schrödingers, Berlin 19.8.1936. HUA, PA Schrödinger Nr. 248/III, Bl. 12.

⁸⁰ Brief des Reichsministeriums für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung an P. Jordan, Berlin 18. November 1943. HUA, Personalakte Jordan, PA J 69/I, Bl. 119.

⁸¹ W. Luck: Heisenberg als Lehrer in schwieriger Zeit. *Physikalische Blätter* 38(1982) 130-131.

⁸² W. Luck: Erich Schumann und die Studentenkompagnie des HWA, In: *Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften* Nr. 27/2001, S. 5.

⁸³ Vgl. R. Beyler, M. Eckert, D. Hoffmann: Die Planck-Medaille, In: D. Hoffmann, M. Walker (Hrsgb.). *Physiker zwischen Autonomie und Anpassung*. Weinheim 2006, S. 217ff.

Physiklehrstühle Deutschlands und hatte damit endlich die ihm zustehende berufliche Anerkennung erfahren, er konnte nun auch das ungeliebte Rostock und die wissenschaftliche Provinz hinter sich lassen. Dieser hatte er sich schon bei Kriegsausbruch dadurch zu entziehen versucht, dass er sich freiwillig zum Militär meldet. Jordans Entschluss waren sicherlich weniger eine Konsequenz seiner wehrpolitischen Auffassungen, sondern hing sicherlich auch mit der Rolle der Wehrmacht im Dritten Reich zusammen. Für viele, nicht zuletzt national-konservativ eingestellte Vertreter des Bürgertums stand diese in einer gewissen Distanz zum NS-Regime und wurde als Hoffnungsträger für eine bessere Zukunft Deutschlands angesehen. So liest man in einem Brief Walter Grotrians an Lise Meitner über die Motive, die ihn bewogen hatten, sich ebenfalls 1939 freiwillig zur Wehrmacht zu melden:

„Als die Wehrmacht wieder aufgezoogen wurde, habe ich mich freiwillig zur Luftwaffe gemeldet. Weil ich das Wiedererstehen einer Wehrmacht in vernünftiger Form, begrüßte und außerdem hoffte, daß sich in der Wehrmacht ein Gegenpol gegen den Nazismus bilden würde.“⁸⁴

Ganz ähnlich wird Jordan gedacht haben und in diesem Sinne versuchte er sich auch nach dem Kriege gegenüber N. Bohr zu rechtfertigen, dass „in reality Wehrmacht und NSDAP were sharply opposite – as indicated later by the events of the 20. July.“⁸⁵ Darüber hinaus verband Jordan mit seiner freiwilligen Meldung wohl auch die Hoffnung, sich aus der politischen Schusslinie zu nehmen. Jordan tat zunächst seinen Dienst in meteorologischen Einheiten der Luftwaffe und bekleidete dabei den Rang eines Majors. Jordans Familie verließ damals ebenfalls Rostock und zog zu Verwandten nach Salzburg. Jordan ist nie wieder nach Rostock zurückgekehrt und als ihn der Direktor des Physikalischen Instituts im Herbst 1953 zu Vorträgen an die Universität einlud, ließ sich die Absage politisch verbrämen, „weil wiederholt in ostzonalen bzw. russischen Zeitschriften unfreundliche Kritiken betreffs meiner wissenschaftlichen Arbeit erschienen sind“.⁸⁶

Im Zentrum von Jordans wissenschaftlichen Interessen rückte an der Wende zu den vierziger Jahren wieder die Biophysik⁸⁷ und seine Verpflichtungen bei der Luftwaffe scheinen ihm für entsprechende Studien ausgiebig Zeit gelassen zu haben – so ist das Vorwort seines 1941 erschienen Buches „Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens“ wohl nicht zufällig mit „z.Zt. in einem Fliegerhorst“ gezeichnet.⁸⁸

Im Herbst 1942 wurde Jordan nach Peenemünde kommandiert, wo er Berechnungen zu Windtunnel-Experimenten auszuführen hatte. Peter P. Wegner, mit dem er das Büro teilte, erinnerte sich:

⁸⁴ W. Grotrian an L. Meitner, Potsdam 29.12.1947, zitiert in: D. Hoffmann: „Kopenhagen“ war kein Einzelfall, In: M. Frayn: Kopenhagen, Göttingen 2001, S. 185.

⁸⁵ P. Jordan an N. Bohr, Göttingen Mai 1945. Niels Bohr Archive Copenhagen (Nachdruck in: D. Hoffmann. Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248, MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 29)

⁸⁶ P. Jordan an P. Kunze, Hamburg 23.10.1953. Archiv der Universität Rostock, Personalakte P. Jordan, Bl. 51.

⁸⁷ Vgl. R. Beyler: Targeting the Organism. The Scientific and Cultural Context of Pascual Jordan's Quantum Biology. ISIS 87(1996) 248-273

⁸⁸ P. Jordan: Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. Braunschweig 1941, S. 10.

„Jordan sat in front of his typewriter all day composing a textbook on algebra without ever consulting notes. Usually toward the end of the day he would suddenly recall the original purpose of his assignment at Peenemünde. He had never worked in fluid dynamics, but rather than read books as I did, he proceeded to derive the equations of motion of supersonic flows. He delighted in the discovery of such phenomena as shock waves.“⁸⁹

Ein anderer Bekannter aus jener Zeit war Paul Rosbaud, Herausgeber der Naturwissenschaften und englischer Spion, der Jordan über Peenemünde ausgehorcht haben und die gewonnenen Informationen direkt an die westlichen Alliierten weitergegeben haben soll.⁹⁰ Von Rosbaud weiß man auch, dass Jordan über seine Abkommandierung nach Peenemünde nicht glücklich war und seine Versetzung betrieb. In Jordans politischem Lebenslauf von 1948 liest man dazu absichtsvoll:

„Im Kriege habe ich mich in einjährigen schwierigen Auseinandersetzungen mit vorgesetzten militärischen Stellen der Mitarbeit an V-Waffen oder Atomenergie entzogen.“⁹¹

Rosbaud berichtet, dass Jordan 1943

„sent at once a cry for help to the so-called „Wannsee-Verein“, a club of scientists working under Hasse’s direction for the navy. He was very happy when he was transferred, against the will of a very stubborn colonel, to the navy, and there he did nothing else but develop his cosmology along with Unsöld.“⁹²

Neben seinem kosmologischen Hobby beschäftigte sich Jordan in der Forschungsabteilung der Marine unter Helmut Hasse aber auch mit Fragen der Höchstdruckphysik, deren Erkenntnisse nicht nur zur Entwicklung konventioneller Waffen dienen sollten, sondern offenbar auch im Kernwaffen-Kontext diskutiert wurden⁹³; dabei konnte er sein in Peenemünde gewonnenes Wissen über Schockwellen sicherlich gut einbringen. In Berlin, wo das Marine-Forschungsinstitut am noblen Wannsee residierte, konnte er zudem seine neuen Verpflichtungen als frisch berufener Professor der Friedrich-Wilhelms Universität optimal nachkommen. Darüber hinaus stellte er auch wieder engeren Kontakt zur Gruppe um Nikolai Timoféef-Ressovsky vom Bucher Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung, her, mit dem er sich seit 1935 intensiv über biophysikalische Fragen und Problemen der Anwendung der Quantentheorie auf die Biologie ausgetauscht hatte. Diese Kontakte sollten für seine Berufplanung in der Nachkriegszeit von Belang werden.

Das Kriegsende erlebte Jordan in Göttingen, wohin das Forschungsinstitut der Marine in den letzten Kriegswochen evakuiert worden war; dort fand auch das Wiedersehen mit der Familie statt, für die die Stadt in den nächsten Jahren zum festen Wohnsitz wurde. Für

⁸⁹ P.P. Wegener: The Peenemünde Wind Tunnels. New Haven 1996, S. 28.

⁹⁰ Vgl. A. Kramish: Der Greif. München 1989, S. 196f.

⁹¹ P. Jordan: Politischer Lebenslauf. Staatsbibliothek Berlin, bereits publiziert in: D. Hoffmann: Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248 MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 35.

⁹² American Institute of Physics, Niels Bohr Library, Goudsmits Papers, Box 27, Folder 41.

⁹³ Vgl. R. Karlsch: Hitlers Bombe. München 2005, S. 156f.

Jordan selbst war klar, dass mit dem Untergang des Dritten Reiches auch seine akademische Karriere infrage gestellt war, denn trotz aller Konflikte hatte er sich in diesen Jahren doch allzu sehr mit der politischen Macht eingelassen und die Ziele des Nationalsozialismus propagiert. Dieses Engagement galt es nun umzudeuten und gewissermaßen eine neue Biografie für die vergangenen Tausend Jahre zu erfinden. Jordan hat sich dieser Aufgabe sehr schnell und vor allem offensiv gestellt, wobei er dabei auf seine allseits anerkannte wissenschaftliche Fachkompetenz und seine Vernetzung in der internationalen scientific community zurückgreifen konnte.

Bereits im Mai 1945, einen Monat nach der Besetzung Göttingens durch englische Truppen und wenige Tage nach der Kapitulation Hitler-Deutschlands, schrieb er den schon oben zitierten Brief an Niels Bohr, in dem er

„to give a short coherent account of what I did during these black 12 years. Certainly some misunderstandings of my tendencies by old friends abroad have been inevitable.“⁹⁴

In vier Paragraphen legte er dann dar, warum er nicht emigrierte (§1), in welchem Maße er als Repräsentant der modernen Physik Angriffe seitens der Deutschen Physik ausgesetzt war und die ihn, wäre er nicht Mitglied der Partei gewesen, unter Umständen sogar ins Konzentrationslager gebracht hätten (§2), dass sein Buch „Die Physik des XX. Jahrhunderts“ mit seiner Würdigung von Relativitäts- und Quantentheorie eine Antwort auf Rosenbergs „Mythos des XX. Jahrhunderts“ war und von vielen Studenten und Kollegen auch so verstanden wurde, ja dass „the number of persons imprisoned or murdered by the SS is so great that there seems to be no necessity to say it was really a little hazardous to attack in such a manner the standard book of nazistic Weltanschauung.“ (§3) und last but not least versucht der §4 den Unterschied zwischen Militarismus und Nazismus in Deutschland zu erklären sowie die Differenzen zwischen Partei und Wehrmacht herauszustellen.

Abschließend fühlte sich Jordan noch gemüßigt festzustellen:

„Naturally it may be sound a little cheap to give these explanations now, after all is over, and I do not want to clear myself of all possible objections whether all did was necessary and good taste or not. I did what I did, but I hope that you, who know me for long time, will understand that my intentions at least were good, and that my attitude will not cause on your side any personal misgiving.“

Der Brief wurde wohl auch an W. Pauli und J. v. Neumann sowie M. Born gesandt, doch gibt es weder von Bohr, noch von den anderen Adressaten zeitnahe und dokumentierte Rückäußerungen darauf. Jordan geht auf darauf in einem Brief aus dem Jahre 1952 an die Hamburger Universität ein⁹⁵ und Born erwähnt in seiner Korrespondenz mit Jordan des Jahres 1957, dass er unmittelbar nach Kriegsende einen Brief von Jordan bekommen habe,

⁹⁴ P. Jordan an N. Bohr, Göttingen Mai 1945. Niels Bohr Archive, Copenhagen, Bohr Papers, folder P. Jordan, bereits publiziert in: D. Hoffmann: Pascual Jordan im Dritten Reich – Schlaglichter. Preprint 248 MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin 2003, S. 29-32.

⁹⁵ W. Pauli an P. Willer, Zürich, 8.5.1952. Karl von Meyenn stellte mir eine Kopie des Briefes zur Verfügung.

auf der anderen Seite der Front, gar nichts davon gehört. Ich schickte Ihnen als Antwort die Liste meiner Verwandten und Freunde, die durch die Nazis zu Grunde gegangen sind und Sie antworteten, dass Sie nichts davon geahnt hätten und erschüttert seien.⁹⁶

Ein ähnliches Befremden wird der Brief wohl auch bei anderen Adressaten ausgelöst haben, so dass man es für besser hielt, darauf nicht zu antworten. Auf jeden Fall aber war mit diesem Brief die Strategie festgelegt: Es sollte der Eindruck manifestiert werden, dass Jordan im Dritten Reich fortgesetzt politischen Angriffen seitens der nationalsozialistischen Machthaber ausgesetzt war, um so sein Engagement für den Nationalsozialismus vergessen bzw. in den Hintergrund treten zu lassen. Parallel dazu wurden natürlich in den Neuauflagen seiner Bücher konsequent alle nationalsozialistischen Bezüge und Anklänge an die *Lingua Tertii Imperii* konsequent getilgt. Dies wurde auch schon von einigen Zeitgenossen durchaus kritisch wahrgenommen. So merkte Ursula Martius, eine im Dritten Reich rassistisch diskriminierte Physikstudentin, in einem Beitrag der „Deutschen Rundschau“ kritisch an, dass bei der Neuherausgabe der Bücher Stellen wie „Wir sind nicht gewillt, in der Verknüpfung der Wissenschaft mit der militärischen Macht einen Missbrauch zu sehen, nach dem die militärische Macht ihre zwingende aufbauende Kraft im Schaffen eines neuen Europas erwiesen hat (P. Jordan, früher Berlin, heute Professor in Hamburg, >Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens<, Braunschweig 1941) und ähnliche Dinge gestrichen“ seien.⁹⁷ Solche Stimmen waren damals jedoch in der Minderheit und Jordan konnte sich relativ schnell und erfolgreich, in den deutschen Wissenschaftsbetrieb re-integrieren. Unterstützt wurde er dabei von einflussreichen Kollegen und Freunden in West wie Ost, die auf seine wissenschaftliche Kompetenz nicht zu verzichten gedachten.

So liest man in einem Brief von Robert Pohl an Max Born vom Sommer 1948: „Wir bemühen uns augenblicklich, Jordan hier fest in Göttingen zu verankern.“⁹⁸

Die Bemühungen der Göttinger Kollegen liefen indes ins Leere, obwohl Jordan schon im Herbst 1946 durch Werner Heisenberg, den es damals ebenfalls nach Göttingen verschlagen hatte und dort das Max-Planck-Institut für Physik leitete, „politische Absolution“ erteilt worden war:

„Ich kenne Herrn Jordan seit über 20 Jahren durch die gemeinsame Arbeit an wissenschaftlichen Problemen und durch viele persönliche Unterredungen über wissenschaftliche, politische und viele andere Fragen. Als im Jahre 1933 die Hoffnung auf eine Niederlage des Nationalsozialismus aufgegeben werden mußte, hat sich auch von den Menschen, die sich der ungeheuren Gefahren des neuen Systems bewußt waren, ein nicht unerheblicher Teil entschlossen, in nationalsozialistische Organisationen einzutreten, in der Hoffnung, daß ihnen auf diese Weise gelingen könnte, Einfluß auf das politische Geschehen zu gewinnen, und von den Unglücken, die drohend bevorstanden, wenigstens ein Teil zu verhindern. Die Menschen dieser Gruppe mußten naturgemäß gelegentlich Konzessionen an die Parteidoktrin in Kauf nehmen, konnten sich aber häufig tatsächlich einen gewissen Einfluß bewahren, auf den alle, die rein ablehnend waren, von vornherein verzichteten. Zu

⁹⁶ M. Born an P. Jordan, Bad Pyrmont 30.10.1957. Staatsbibliothek Berlin, Preussischer Kulturbesitz, Born-Nachlass.

⁹⁷ U.M. Martius: Videant consules ... Deutsche Rundschau 70(1947) S. 99.

⁹⁸ R.W. Pohl an M. Born, Göttingen 13.8.1945. Ebenda Box 591.

der Gruppe derer, die in der geschilderten Weise Einfluß zu bewahren hofften, gehörte auch Herr Jordan. Als einflußreiche Parteilinien den Angriff gegen die moderne Physik eröffneten, die sie als "jüdisch", "dogmatisch", "talmudistisch" bezeichneten, ist Herr Jordan in Wort und Schrift energisch für die moderne Physik eingetreten. Die Tatsache, daß dieser Angriff nach einer Reihe von Jahren, aber noch während der nationalsozialistischen Herrschaft aufgegeben worden ist, verdanken die Physiker nicht zum wenigstens dieser Wirksamkeit Jordans.

Auch habe ich während der ganzen Zeit des Nationalsozialismus häufig mit Jordan in voller Offenheit über alle politischen Probleme gesprochen und niemals mit der Möglichkeit gerechnet, daß er etwa ein Nationalsozialist sein könnte."⁹⁹

Ganz ähnliches liest man in einem Schreiben Robert Rompes, der mit Jordan in Buch in Kontakt gekommen war und der nun in der Sowjetischen Besatzungszone großen wissenschaftspolitischen Einfluss besaß.¹⁰⁰ Dieser wollte Jordan wieder nach Buch holen und beide hatten im Herbst 1946 ein Konzept für ein großes Forschungsinstitut für Biophysik und medizinische Biophysik ausgearbeitet, das der im Aufbau befindlichen Deutschen Akademie der Wissenschaften angegliedert werden sollte.¹⁰¹ In den entsprechenden Beratungen der Akademie wurde natürlich auch Jordans nationalsozialistische Vergangenheit thematisiert, die eigentlich die Übernahme einer Leitungsfunktion ausschloss.¹⁰² Dennoch wurde im Sommer 1948 seitens der Sowjetischen Militäradministration (SMAD) eine „politische Stellungnahme über Herrn Prof. Jordan“ angefordert, da von dieser sein Einsatz in der Sowjetischen Besatzungszone geprüft und seine „fachliche Beurteilung durch die SMAD bereits in positivem Sinne erledigt“ wurde.¹⁰³ Diese wurde dann von Rompe sowie von Joseph Naas, dem einflussreichen Direktor der Akademie der Wissenschaften erstellt. Beide waren nicht nur langjährige Mitglieder der Kommunistischen Partei, sondern hatten auch im aktiven Widerstand gegen die Nazis gestanden. Dennoch gaben beide eine sehr beschönigende Darstellung von Jordans Verhalten im Dritten Reich. Diese gründet sich nicht allein auf den wechselseitigen freundschaftlichen Beziehungen und der persönlichen Wertschätzung, die insbesondere zwischen Jordan und Rompe bestanden, sondern sie lässt sich wohl vor allem mit der damaligen Atmosphäre des Kalten Krieges und dem damit verbundenen politischen Systemwettbewerb erklären. So ist Rompe wohlwollend und psychologisierend darum bemüht, „Jordans politisches Verhalten während der Nazi-Zeit“ aus den „Besonderheiten seiner Persönlichkeit“ und seiner Herkunft zu erklären:

„Jordan stammt aus Kreisen der bürgerlichen Intelligenz ... Bürgerlichen Einfluss entwachsen, weist seine publizistische Tätigkeit zunächst alle Zeichen dieses Herkommens auf – trotzdem sind in ihr Gedanken enthalten, die die Fesseln dieser Tradition sprengend, als fortschrittlich anzusehen sind, wie z.B. in seinen kosmologischen Arbeiten, oder seinen Ausführungen über das Verhältnis von Theorie und Praxis in der Physik. Seine Entwicklung als politisch denkender Mensch ist hinter seiner wissenschaftlichen – wie so häufig in bürgerlichen Kreisen – zurückgeblieben. Bei ihm ist diese Situation noch

⁹⁹ W. Heisenberg, 1946. MPI für Physik München, Nachlaß W. Heisenberg.

¹⁰⁰ Vgl. D. Hoffmann: Die Graue Eminenz der DDR-Physik. Physik Journal 4(2005) 10, 56-58.

¹⁰¹ Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Akademieleitung, Naturwissenschaftliche Einrichtungen, Bd.5 (im folgenden: ABBAW).

¹⁰² Protokoll der Math.-nat. Klasse vom 20.2.1947. ABBAW.

¹⁰³ Vermerk für Herrn Direktor Naas, Berlin 24.8. 1948. ABBAW.

besonders gefördert worden durch ein – offenbar angeborenes – psychisches Leiden, welches auch für seine gelegentlich auftretenden Sprechhemmungen verantwortlich ist. Dieses zwang ihn, von seiner Schülerzeit an, zu einem gewissen Abschliessen vor nicht bekannten Menschen und erschwerte ihm die Erweiterung seines Horizontes in gesellschaftlicher Hinsicht. Der geniale Jordan ist durch diesen Defekt immer äusserst abhängig gewesen von dem engsten Kreis vertrauter Menschen, die ihn umgaben. Dieses hat sich zweimal ungünstig für ihn ausgewirkt. Einmal während seiner Amtszeit als Professor für theoretische Physik in Rostock, die etwa von 1932 – 1939 gedauert hat. Hier herrschte eine Atmosphäre der Unterwerfung unter den Nazismus an der Universität, der sich Jordan zumindest formal nicht zu entziehen wusste, - er trat der NSDAP bei. – Aber Freunde, die ihn aus diesen Jahren gekannt haben, versichern, dass es bei dem formalen beitriff blieb. Jedenfalls versuchte Jordan mit einigem Erfolg, in mehr oder weniger geschickter Weise, in seinen zahlreichen Publikationen aus jener Zeit gegen die Verfehlung der theoretischen Physik durch die Nazis anzugehen ... Dass er, um überhaupt die Möglichkeit der Drucklegung seiner Schriften mit derartig polemischen Auslassungen zu haben, auch einige Konzessionen einflachtet, war seiner Ansicht nach ein Opfer, das sich lohnte. Die zweite ungünstige Periode begann mit seiner Einberufung als Luftwaffen-Meteorologe zu Beginn des Krieges. Hier kam Jordan in Fliegerkreise, deren Art zu denken und zu leben ihn zu einem gewissen Zugeständnis an das Abenteuerertum dieser Menschen veranlasste, das seinen Niederschlag in den Schriften dieser Jahre fand. Das bemerkenswert und Gute an Jordan war jedoch, dass er in Kreisen antifaschistisch eingestellter Wissenschaftler als unbedingt verlässlich galt und jede offene Kritik aus diesen Kreisen an seinen Schriften sich gefallen liess, häufig auf sie einging und Veröffentlichungen unterliess ... Jordan hat in der ganzen Zeit des Naziregimes seinen antifaschistischen und jüdischen Freunden die Treue gehalten, hat sich innerlich, trotz seiner Zugehörigkeit zur NSDAP niemals zu dieser bekannt.¹⁰⁴

Naas, der Jordan erst nach Kriegsende kennen gelernt hatte, vermied hingegen jeden direkte Erörterung der nationalsozialistischen Vergangenheit Jordans, so dass hier die Diktion des Kalten Krieges und der damalige Kampf um die Geister deutlich hervortritt:

„Herr Jordan wird eine wesentliche Belebung der physikalischen Arbeit der Ostzone und speziell in Berlin bringen. Seine idealistischen Auffassungen im Bereich der Physik sind nicht sein letztes Wort. Es ist geplant, ihn in engen Kontakt mit führenden Genossen ... zu bringen ... Ich bin der Auffassung, dass sich aus solchen Begegnungen eine günstige Entwicklung bei Herrn Jordan ergeben wird, weil er zu jenen lebendigen Physikern gehört, die ihre Ansichten überprüfen und entwicklungsfähig sind ... Die Berufung von Herrn Jordan bedeutet, ihm einen Kredit einzuräumen. Ich bin der Ansicht, dass dieses Risiko von uns gewagt werden muss. Im Gegenteil scheint mir der Einfluss der westlichen Atmosphäre für Jordan gefährlich; wir tun gut, ihn diesem Einfluss zu entziehen und unter den unsern zu bringen.“¹⁰⁵

Auch ein anderer anerkannter Nazi-Gegner bemühte sich damals um Jordan. Wolfgang Gentner, der 1946 einen Ruf als Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Freiburg erhalten hatte, versuchte Jordan – beide hatten sich auch schon in den dreißiger

¹⁰⁴ R. Rompe: Betrifft Berufung Prof. Dr. Pascual Jordan. Berlin 4.X.48. ABBAW.

¹⁰⁵ J. Naas: Betrifft Berufung des Herrn Professor Pascual Jordan, Berlin 4.X.48. ABBAW.

Jahren kennen und schätzen gelernt – nach Freiburg zu holen und beim Wiederaufbau der dortigen physikalischen Forschung von seiner fachlichen Exzellenz zu profitieren.¹⁰⁶ Beim Verfolgen dieses Ziels wollte sich Gentner für Jordan sogar bei Frederic Joliot-Curie verwenden, denn auch in der Französischen Besatzungszone stand Jordans NS-Belastung seiner akademischen Re-Integration entgegen. Als Regierungsmitglied und Hoher Kommissar für Atomenergie in Frankreich hätte Joliot sicherlich über den nötigen politischen Einfluss und die entsprechende Macht verfügt, eine solche Entscheidung bei den französischen Besatzungsbehörden durchsetzen zu helfen. Fachliche Kompetenz und „Sauberkeit im Kreis der Kollegen“ wurden auch hier über die allseits wohl bekannte politische Belastung gestellt – ein im Übrigen damals (wie auch in jüngerer Zeit) sehr häufig anzutreffendes Verhaltensmuster in Akademikerkreisen.¹⁰⁷

Dass Jordan schließlich weder nach Ost-Berlin noch nach Freiburg ging, dafür war nicht mangelnder oder ins Leere laufender politischer Einfluss verantwortlich, sondern die Tatsache, dass auch noch eine dritte Universität Jordan umwarb. Schon seit 1946 hatte nämlich auch die Universität Hamburg, in der britischen Besatzungszone liegend, die Fühler nach Jordan ausgestreckt.¹⁰⁸ Nach einem Vortrag im Sommer 1946 wurde durch den Direktor des Instituts für theoretische Physik, Wilhelm Lenz, vorgeschlagen, dass der Rektor „Herrn Professor Pascual Jordan ... eine auf drei Jahre bemessene Gastprofessur angeboten wird.“¹⁰⁹ Dies geschah dann auch umgehend, wobei man sich bewusst war, dass man in Konkurrenz zu anderen Universitäten und Institutionen stand. Nachdem im April die Berufungsverhandlungen erfolgreich abgeschlossen werden konnte, trat Jordan seine dreijährige Gastprofessur zum 1. Mai 1947 an. Jordans politische Belastung scheint in Hamburg nicht besonders thematisiert worden zu sein – im bereits oben zitierten Schreiben von Lenz wird lediglich kurz vermerkt, dass Jordan „allerdings relativ früh in die Partei und die S.A. eingetreten (ist), ohne im weiteren Verlauf irgendwelche Aemter zu übernehmen; dagegen hat ihm die Lenard-Gruppe wegen seines selbstverständlichen Eintretens für die grosse Leistung Einsteins bei seinen Buchpublikationen jeweils Schwierigkeiten zu bereiten gesucht“; weiterhin ist nach Einschätzung von Lenz „zu erwarten, dass die Militärregierung seinen „Fragebogen“ nicht beanstanden wird.“¹¹⁰

Wie aus einem Brief an Max Born hervorgeht, hatte Jordan 1947/48 anscheinend erfolgreich ein Spruchkammerverfahren durchlaufen und ist offenbar als Mitläufer bzw. als gering belastet eingestuft worden.¹¹¹ Seinem Lehrer schrieb er diesbezüglich:

„Mein offizielles Entnazifizierungsverfahren hat zu einem 90%ig, aber nicht 100%ig befriedigenden Ergebnis geführt: es bedeutet keinerlei Benachteiligung in meinen hiesigen

¹⁰⁶ Vgl. D. Hoffmann, U. Schmidt-Rohr: Wolfgang Gentner: Ein Physiker als Naturalist, In: D. Hoffmann, U. Schmidt-Rohr (Hrsgb.): Wolfgang Gentner. Festschrift zum 100. Geburtstag. Heidelberg 2006, S. 26.

¹⁰⁷ Vgl. M. Ash: Wissenschaftswandlungen in politischen Umbruchszeiten – 1933, 1945 und 1990 im Vergleich. Acta Historica Leopoldina 39(2004) 75-95.

¹⁰⁸ P. Jordan an H. Schimank, Göttingen 1.6.1946. Universität Hamburg, Hans Schimank-Gedächtnis-Stiftung, NL Schimank, Korrespondenz Jordan.

¹⁰⁹ W. Lenz an den Rektor der Universität Hamburg, Hamburg 6.8.1946. Staatsarchiv Hamburg, Hochschulwesen, Dozenten- und Personalakten, IV 2076, Personalakte P. Jordan, Bl. 2.

¹¹⁰ Ebenda.

¹¹¹ Die Akten des Verfahrens konnten bislang nicht gefunden werden

Betätigungen, könnte mir aber bei Gelegenheit beabsichtigter Auslandsreisen hinderlich sein. Ich folge deshalb dem Rat des hiesigen offenbar sehr klugen und netten Rechtsanwalts Samuel, der mir empfiehlt, Berufung einzulegen, indem er sagt, dass nach den vorliegenden Verhältnissen der nicht 100%ige bisherige Verlauf angesichts der allgemeinen Handhabung ein grotesker Fall sei. Meine Frage ist nun, ob Sie es für möglich halten würden, dazu beizutragen – z.B. durch Bestätigung irgend eines Punktes aus meiner eigenen Darstellung, die ich ihnen in Abschrift beilege.¹¹²

Ob Max Born auf dieses Ansinnen reagiert hat, ist nicht bekannt bzw. dokumentiert. Auf jeden Fall hat Jordans politische Belastung im Klima der frühen Bundesrepublik keine Rolle gespielt und war für seine weitere akademische Karriere belanglos; auch konnte er schon bald wieder ins Ausland reisen und entsprechende Vortragseinladungen annehmen. Als es 1950 darum ging, Jordan permanent an die Universität zu binden und seine auslaufende Gastprofessur in ein Ordinariat umzuwandeln, findet sich in dem mehrseitigen Antrag der Fakultät keinerlei Hinweis mehr auf die NS-Verstrickungen Jordans – lediglich seine wissenschaftlichen Meriten werden in aller Ausführlichkeit gewürdigt.¹¹³

Im Übrigen ist auch Werner Heisenberg als externer Gutachter dieser Linie gefolgt und spricht in seinem Gutachten nur euphemistisch davon, dass Jordans „besondere Begabung zur verständlichen Darstellung komplizierter Sachverhalte ... manchmal zu etwas schnellen und nicht sorgfältige abgewogenen Formulierungen kommt, so hat er doch viel dazu beigetragen, dass sich ein gewisses Verständnis für die schwierigen Entwicklungen der modernen Naturwissenschaft auch in weiten Kreisen anbahnt.“¹¹⁴

Im Gegensatz dazu fasst die ebenfalls angeforderte Stellungnahme Wolfgang Paulis das bisher Gesagte fast brennglasartig zusammen:

„Die Aufgabe, ein Gutachten über Prof. Pascual Jordan abzugeben ist schon deshalb keine leichte, weil seine Persönlichkeit widerspruchsvolle Züge aufweist. Nach dem Kriege waren wohl alle, die ihn persönlich kannten darüber einig, dass man ihm ermöglichen soll, seine Forschungen fortzusetzen. Denn alle waren sich darüber einig, dass diese Forschungen als wertvoll angesehen werden müssen.

Ich kann aber nicht verschweigen, dass es für viele schwierig war, ihm auf seinen Wegen bis 1945 zu folgen. Er hat in populärwissenschaftlichen Büchern oft in unvermittelter und objektiv nicht berechtigter Weise politische Gesichtspunkte hineingezogen (Vergleich einer Zelle mit dem Staat, des Zellkerns mit dem Führer etc), was insbesondere bei Schweizer Gelehrten und Studenten Anstoss erregt hat. Hierzu kamen Erörterungen über Waffen, die sich manchmal zur kriegerischen Fanfaren gesteigert haben, auch innerhalb der Diskussion wissenschaftlicher und philosophischer Fragen. Die alles geschah in der Form, die auch in der damaligen Zeit in Deutschland einigermaßen ungewöhnlich war und bei der ein gewisser Stich ins Komische nicht fehlte. Er selbst schien seine Äußerungen nicht ganz

¹¹² P. Jordan an M. Born, Hamburg 23.7.1948. Staatsbibliothek zu Berlin, Preussischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlaß M. Born, Mappe 353.

¹¹³ W. Blaschke an den Rektor der Universität Hamburg P. Harteck, Hamburg 3.1.1953. Staatsarchiv Hamburg, Hochschulwesen, Dozenten- und Personalakten, IV 2076, Personalakte P. Jordan, Bl. 25-27.

¹¹⁴ W. Heisenberg an den Dekan der Mathematisch-naturwiss. Fakultät der Universität Hamburg, Göttingen 21.4.1952. MPI für Physik München, Nachlaß W. Heisenberg.

ernst zu nehmen, und sandte Ende 1945 an mich und Prof. J. v. Neumann eine lange Verteidigungsschrift nach Princeton, lange bevor irgend jemand in England oder in den Vereinigten Staaten Zeit hatte, sich mit Jordan zu beschäftigen. Angesichts dieses etwas wankelmütigen Charakters von P. Jordan schien es damals den englischen Behörden nicht wünschenswert, ihm den Unterricht der akademischen Jugend zu überlassen. Um ihn aber die Fortführung seiner Forschungen zu ermöglichen, verfiel man auf den auch von mir sehr begrüßten Ausweg, für ihn eine Forschungsprofessur zu empfehlen.

Gerade wegen des opportunistischen Charakters seiner früheren politischen Zutaten zu seinen populär wissenschaftlichen Veröffentlichungen sehe ich aber keine Gefahr darin, ihm in der gegenwärtigen Situation auch die Lehrtätigkeit innerhalb des Rahmens einer zweiten Professur für theoretische Physik zu überlassen ... Für mich ist es entscheidend, dass P. Jordan durch seine früheren Arbeiten aus seiner Göttinger Zeit (vor 1933) über die Grundlagen der Quantenmechanik und der heute im Mittelpunkt des Interesses stehenden Feldquantisierung auch international bekannt geworden ist und dass Deutschland heute nur über sehr wenige theoretische Physiker von einem solchen Rang verfügt. Bei kritischer Abwägung aller Umstände schiene es mir nicht richtig, wenn der zu Westeuropa gehörige Teil Deutschlands heute an einem Mann wie P. Jordan vorübergehen würde.“¹¹⁵

Dennoch gab es gerade in der internationalen Physikergemeinschaft mannigfaltige Vorbehalte gegen Jordan und dass ihm trotz wiederholter Nominierungen der Nobelpreis versagt blieb, liegt wohl auch in solchen Ressentiments mitbegründet. So kritisiert beispielsweise Erwin Schrödinger in einem Brief an Arnold Sommerfeld aus dem Jahre 1949 Jordans kosmologische Ideen und sieht darin „eine eigenartige (weil doch sehr partielle) Schädigung des Intellekts durch Jahrelange Imbibition von Naziphilosophie“.¹¹⁶ Philipp Frank wiederum spricht in einem Brief an Helen Dukas nur vom „... ‚ehemaligen‘ Nazi ...“ Pascual Jordan.¹¹⁷ Für andere, wie z. B. den niederländischen Physiker Jacob Clay, stellte die NS-Vergangenheit Jordans ein so gravierendes Problem dar, dass er sogar auf eine Kongressteilnahme verzichten wollte, „falls einer oder mehrere zugegen sein werden wie z.B. Pascual Jordan“.¹¹⁸ Auch für Lise Meitner war die Nazi-Vergangenheit Pascual Jordans nicht vergessen, merkt sie doch in einem Brief an Max von Laue aus dem Jahre 1958 spitz an, dass sie sich Pascual Jordan nur schwer „als Festredner für Einstein“ vorstellen könne.¹¹⁹

Auch dieser Alptraum einer Emigrantin sollte sich im Übrigen erfüllen, denn zwei Jahrzehnte später, auf dem Berliner Festakt zum 100. Geburtstag Einsteins im Jahre 1979 war Jordan dann Ehrengast des Senats von Berlin (West).¹²⁰

Pascual Jordans Liaison mit dem Nationalsozialismus schien nun endgültig vergessen. Eine Liaison, die quer zur gängigen wissenschaftshistorischen Interpretation des Dritten Reiches liegt, da sie alle Züge des Ungewöhnlichen zeigt. Gewöhnlich werden die Pioniere der

¹¹⁵ W. Pauli an P. Willer, Zürich 8.5.1952, Vgl. auch W.Pauli: Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a.. Heidelberg 1999 Band IV, S. 175.

¹¹⁶ E. Schrödinger an A. Sommerfeld, 13.2.1949, In. A. Sommerfeld: Wissenschaftlicher Briefwechsel, herausgegeben von M. Eckert und K. Märker. Berlin, Diepholz 2004, S. 639.

¹¹⁷ Ph. Frank an H. Dukas, 1950. Albert Einstein Archives. The Jewish National and University Library, Hebrew University Jerusalem, Nr. 16410.

¹¹⁸ J. Clay an W. Gentner, 7.2.1952. MPI für Kernphysik Heidelberg, Nachlaß U. Schmidt-Rohr.

¹¹⁹ L. Meitner an M.v.Laue, Cambridge 17.1.1958. MPG, Nachlaß M. v. Laue.

¹²⁰ St. Wolff (München) danke ich für diesen Hinweis.

modernen Physik nicht mit der NS-Ideologie in Verbindung gebracht, wogegen die ausgewiesenen Vertreter derselben in Gestalt der sogenannten Deutschen Physik in einer erklärten Gegnerschaft zu den revolutionären Umbrüchen in der Physik der ersten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts standen. Die Biografie Pascual Jordan zeigt, dass die diesbezüglichen Verhältnisse im Dritten Reich sehr viel differenzierter waren und Jordan jene Affinitäten dokumentiert, die durchaus zwischen den modernsten Entwicklungen in der Wissenschaft und der reaktionären Ideologie des Nationalsozialismus bestanden. Insofern ist Pascual Jordan ein wichtiges und lehrreiches Beispiel einer Wissenschaftlerkarriere im Dritten Reich.

Dreier-Männer-Arbeit in der frühen Bundesrepublik: Max Born, Werner Heisenberg und Pascual Jordan als politische Grenzgänger¹

Arne Schirmmacher
Deutsches Museum, Forschungsinstitut
D-80538 München
a.schirmmacher@deutsches-museum.de

Zusammenfassung

In Gegenüberstellung der Historiographie zweier bedeutender Entwicklungen der Geschichte Deutschlands im 20. Jahrhundert – der Formulierung der Quantenmechanik im Jahre 1925 und der Auseinandersetzungen um die Atombewaffnung der Bundesrepublik 1957 – wird die Frage gestellt, in welchem Ausmaß eine gemeinsame Wissenschaftskultur in der Lage war, politische Differenzen zwischen den deutschen Physikern zu überbrücken. Die Auseinandersetzung von Max Born, Werner Heisenberg, Pascual Jordan und anderen in privaten Briefen wie in öffentlichen Auftritten und Schriften spiegeln einen doppelten Diskurs, den über die Atombewaffnung der Bundesrepublik auf der einen Seite und den über das Schreiben der Geschichte der Quantenmechanik auf der anderen. Er offenbart verschieden Weisen, wissenschaftliche Arbeit und moralische Verantwortung miteinander in Beziehung zu setzen. Weder die Politik noch die Physik konnte sich einer Prägung durch die Auseinandersetzungen über die Atombewaffnung in der frühen Bundesrepublik entziehen.

¹ Der Vortrag liegt bereits seit 2005 in einer erweiterten und mit Dokumenten ergänzten Form als MPI-Preprint 296 vor. In gekürzter und überarbeiteter Form ist der Beitrag inzwischen erschienen unter dem Titel *Physik und Politik in der frühen Bundesrepublik Max Born, Werner Heisenberg und Pascual Jordan als politische Grenzgänger*. Siehe *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 30 (2007), Heft 1, S. 13–31.

Pascual Jordan: der Forscher als Wissenschaftspublizist

Reinhard Breuer
Spektrum der Wissenschaft
Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg
breuer@spektrum.com

Jordan und seine Zeit

Im Schatten des eminenten wissenschaftlichen Werkes von Pascual Jordan liegt ein weiteres Œuvre, das jedoch kaum jemandem bekannt ist: seine Arbeiten als Wissenschaftspublizist. Dieses darf man sich nicht als ein gelegentliches Auftreten vor Laien vorstellen. Vielmehr könnte jeder professionelle Wissenschaftsautor und -journalist (im heutigen Sinne des Wortes) stolz sein, würde er auf ein vergleichbares Volumen an populärwissenschaftlichen Publikationen zurückblicken.

Neben der schiereren Menge an Artikeln, Vorträgen, monothematischen Büchern überrascht auch die fulminante Themenbreite. Kaum ein Thema des naturwissenschaftlichen Weltbildes gab es, zu dem er nicht etwas zu sagen hatte, und das gilt nicht nur für die Physik, sondern auch für Grenzgebiete wie Religion, Parapsychologie, Psychotherapie, Erkenntnistheorie, Gehirnforschung, Willensfreiheit oder außerirdisches Leben. Eine Liste seiner wichtigeren Buchpublikationen findet sich in Anhang 1.

Was man sich auch noch klar machen muss, ist die Zeit. In Jahren zwischen 1935 und 1970, in denen Jordan fast ohne Unterbrechung intensiv als Publizist wirkte, gab es noch keinen Berufsstand des „Wissenschaftsjournalisten“. Die Kommunikation gegenüber der Öffentlichkeit wurde eher sporadisch von wenigen Wissenschaftlern übernommen. Eigene Wissenschaftsressorts in den Medien waren unbekannt, sie entstanden erst im Zuge des amerikanischen Raumfahrtprojektes für die Reise zum Mond in den 1960er Jahren.

Schon seit Mitte der 1930er Jahre begann Jordan, populäre Bücher zu publizieren, die sogleich in mehreren Auflagen erschienen. Selbst während des zweiten Weltkrieg hielt er diese Tätigkeit aufrecht, um nach dem Krieg seine Produktion noch wesentlich zu steigern. Seine Rolle hat für mich zwei Komponenten: als Kommunikator und als Missionar. Einerseits berichtet Jordan über neueste Resultate aus der Forschung und verdichtet sie zum Weltbild. Andererseits scheut er sich nicht, auch seine persönliche Sicht der Dinge vorzustellen – was bisweilen auch zu unhaltbaren Aussagen bzw. Bekenntnissen führt.

Das Handwerk des populären Schreibens musste er sich selbst beibringen. Dazu verrät er in seinem Buch „Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage“ (1963) das Wesentliche: „Dass ich mich bemüht habe, mein Buch ohne Misshandlung der deutschen Sprache abzufassen, mag manchen Zeitgenossen geradezu als entschuldigungsbedürftig erscheinen. Ich bin aber schon in meiner Jugend durch Eduard Engels „Deutsche Stilkunst“ davon überzeugt worden, dass der überschwängliche Gebrauch nutzloser Fremdwörter und die

sich darin aussprechende unzureichende Beherrschung der deutschen Sprache ein sicheres Zeichen der Halbbildung ist.“

Dem ist auch aus heutiger Sicht nur zuzustimmen – dabei ist dies doch keineswegs selbstverständlich. Auch heute begegne ich nicht selten Wissenschaftlern, welche die Kommunikation mit der Öffentlichkeit immer noch als verkappten Dialog mit den Kollegen missverstehen. Sie konzipieren einen populärwissenschaftlichen Artikel als Fachpaper ohne Formeln und sind befremdet, wenn ihre Texte ihnen stark bearbeitet (oder neu geschrieben) zur Abstimmung vorgelegt werden. Die freundlichste Ablehnung einer Autorisierung hieß noch: „Kein Kollege würden mir glauben, dass ich das geschrieben habe.“ Natürlich würde man heute nicht mehr so schreiben wie Pascual Jordan. Jeder Profischreiber geht heute (zumeist) bewusster und methodischer mit der Dramaturgie und jener Mischung aus narrativen und didaktischen Elementen um, mit denen man heute seinen Leser fesseln möchte. Aber für Wissenschaftler, die ja vor allem das Handwerk der Forschung und nicht des populären Schreibens gelernt haben, wäre es schon hilfreich, würden sie die Klarheit des Jordanschen Schreiben beherrschten.

Ich selbst bin Pascual Jordan zweimal begegnet: Einmal, 1974 im Hamburg, hatte ich nach einem Vortrag die Ehre, mit Kollegen zu ihm nach Hause in die Isestraße eingeladen zu werden. Ein zweites Mal erlebte ich ihn etwas später in München auf einer DPG-Tagung. Zumeist saß er bei Tisch, an dem Frau Jordan das Regiment führte, und schien sich sehr über die Tischgespräche zu amüsieren. Er hielt einen Abendvortrag über „Wissenschaft und Öffentlichkeit“. Als ich ihn hinterher um das Manuskript für meine Berichterstattung für die „Süddeutsche“ bat, schaute er mich freundlich an – und drückte es mir in die Hand.

Mein Blick auf Jordans Publizistik kann nur der Blick von heute aus sein, nicht eigentlich ein Rückblick, sondern eine Projektion seiner Arbeiten aus der Situation des Wissenschaftsjournalismus der Gegenwart. Dabei möchte ich Pascual Jordan selbst in Kernaussagen zu Worte kommen lassen.

Wie alles anfing ... „der 24-Jährige“

Nach meinem Eindruck liegt die „Urszene“ für Jordans Lust an der populären Kommunikation bereits in seinem Habilitationsvortrag von 1927, in einem Alter, in dem sich heutige Physikstudenten erste Gedanken zur Diplomarbeit machen. Darin klingen die Themen an, die ihn ein Leben lang begleiten werden: Quantenphysik und Biologie.

„Wir müssen die Wahrscheinlichkeiten ... zurückführen auf Elementarwahrscheinlichkeiten. Erst dann werden wir behaupten können, diese Gesetze wirklich verstanden zu haben; erst dann werden wir entscheiden können, unter welchen Bedingungen und in welcher Weise der Zeitpunkt eines Quantensprunges determiniert und wann er nicht determiniert ist. Erst dann werden wir genau übersehen, was im physikalischen Geschehen kausal bestimmt ist, und was dem Zufall überlassen ist.“ Und „für die Zwecke der Biologie muss das Kausalitätsprinzip und das Kausalitätsproblem anders und komplizierter formuliert werden.“

Zum Thema Quantenbiologie verweise ich nur auf den Beitrag dieser Tagung von Richard H. Beyler. Jordan war seiner Zeit nicht nur in der Forschung häufig voraus, auch publizistisch. Im Jahre 1935 erschien seine „Physik des 20. Jahrhunderts“, unter dem neuen Titel „Atom und Weltall“ noch 1956 in 9. und höherer Auflage. Die stürmischen Jahre der Quantenphysik liegen gerade kurze Zeit zurück, da riskiert Jordan „in einer systematischen Gesamtübersicht den Gedankeninhalt der modernen Physik“ zu erläutern. Kausalität, Objektivierbarkeit, Komplementarität stellt er in den Mittelpunkt und bettet sie doch in den größeren metaphilosophischen Rahmen des letzten Kapitels „Physik und Weltanschauung“ ein, meditiert über das Ende von Materialismus, Positivismus und Religion. Es wäre wünschenswert, dass alle moderne Wissenschaftsjournalisten wenigstens diesen Stand des physikalischen Wissens erreichen würden, bevor sie über Kausalität, Relativität, Objektivierbarkeit oder Komplementarität und Unschärferelation schreiben.

Es sind diese Konzepte oder Begriffe, die immer wieder im Zuge modischen Namedroppings für alles Mögliche erhalten müssen („Alles ist relativ!“ „Wegen der Unschärfe können wir ja gar nichts genau wissen.“). In seiner „Physik des 20. Jahrhunderts“ wird zu diesem Fundamentalkonzepten bereits das Wesentliche gesagt. Welche Rolle bleibt der klassischen Physik im Lichte der neuen Quantenphysik? Die klassische Physik wird keineswegs durch die Neuerungen obsolet, vielmehr bleibt sie ein fester Bestandteil physikalischer Forschung:

„Es bleibt also die klassische Physik der unentbehrliche Rahmen, von welchem aus überhaupt erst ein Vordringen in die Welt der Quanten und Atome möglich wird.“ Wir dürfen nicht übersehen, „dass die atomphysikalischen Elementargesetze erst dann einen fassbaren Inhalt gewinnen, wenn sie in konkreter Anwendung an den festen Rahmen der Makrophysik angeschlossen werden.“

„Also werden wir in Kauf nehmen müssen, dass die Messungen an atomaren Objekten grundsätzlich immer „gefälscht“ sind in dem Sinne, dass mit der Durchführung des Beobachtungsprozesses ein verändernder Eingriff in das Objekt naturgesetzlich verknüpft ist.“

Zu dieser oft missverstandenen Fälschung sagt Jordan aber auch gleich das Wesentliche, diese Bezeichnung sei ja nun eben nicht angebracht:

„Denn es handelt sich ja nicht um störende Beeinflussung, die irgendwie durch vorläufige ‚derzeitige‘ Mängel unserer Beobachtungstechnik bedingt ist; sondern diese Schranken einer idealen, das Objekt selbst unbeeinflusst lassenden Beobachtungsmöglichkeiten sind ja ... naturgesetzlich bedingt; sodass wir den atomaren Objekten selber einen gewissen Charakter der ‚Unbestimmtheit‘ ... ihres physikalischen Verhaltens zuschreiben müssen, durch welche die Konstruktion eines objektivierten Bildes der atomphysikalischen Abläufe unmöglich gemacht wird.“

Jordans These von den zwei Kulturen

Was Jordan schon früh beschäftigt haben muss, ist die wachsende Distanz zwischen Natur- und Geisteswissenschaften. Eine Reihe von Vorträgen für Radio Bremen publiziert er 1954 unter dem Titel „Forschung macht Geschichte“; und mindestens fünf Jahre vor C.P. Snows berühmtem Vortrag „Die zwei Kulturen“ von 1959 notiert Jordan:

„Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften, diese beiden auseinander klaffenden Hälften unseres Bildungsbesitzes, werden zu ihrer sinngemäßen Verbindung kommen, wenn wir naturwissenschaftliche Erkenntnisse nicht nur als Fertiges hinnehmen, sondern sie als historisch Gewordenes verstehen und sie in ihrer geschichtlichen Tiefendimension erfassen; umgekehrt wird uns der Ablauf der Menschheitsgeschichte erst dadurch als ein trotz aller Aufspaltung in Einzelgeschehnisse umfassend zusammenhängender Vorgang sichtbar, dass wir die fortschreitende Erweiterung menschlichen Erkenntnisvermögens als ein Grundthema der historischen Entwicklung sehen.“

„... es wäre besser, wenn wir uns endlich einmal eingestehen wollten, dass diese Zweiteilung eine Torheit und ein grundsätzlicher Fehler unseres Bildungswesens ist. Dieser Fehler hindert uns heute, ein Geschichtsbewusstsein zu entwickeln in solcher Weise, wie unsere Zeit es nötig hätte.“

Er hat es deutlich gesagt, als die „Zwei-Kulturen-These“ wurde es unter Snows Namen Allgemeingut, und bis heute hat sich diese Kluft weiter dramatisch verschärft. Daher beobachten wir heute ein wachsendes Unverständnis in der Allgemeinheit für das wissenschaftliche Weltbild. Die großen Themen – etwa Stammzellen, Klonen, Genomik, Genfood, aber auch Künstliche Intelligenz, Bemannte Raumfahrt oder Nanoforschung – werden zumeist in Form medialer Panikattacken abgehandelt. Aufklärung oder auch nur Sachkunde ist zumeist weniger gefragt.

Zwei Jahre später erscheint „Der gescheiterte Aufstand“, ein echtes Produkt der Nachkriegszeit. Jedenfalls äußert Jordan im Vorwort wie sonst nirgends das ganz persönliche Gefühl der Zerrissenheit, der Fragmentierung, beschreibt das Verantwortungsproblem der Wissenschaftler und erklärt das „Ende der Ideologien“:

„Not, Elend und Verbrechen“ sind „niemals aus menschlicher Kraft grundsätzlich oder in weiterem Ausmaß zu beseitigen. Die Hybris ideologischer Neukonstruktionen der Welt kann das Unglück nur vergrößern; alles Streben zum Guten – das notwendig ist, um wenigstens ein Überwuchern der Finsternisse abzdämmen – bleibt in seinen Möglichkeiten beschränkt, von Fall zu Fall einzelne Übelstände zu mildern. Nur fragmentarisches Handeln ist möglich – genau so, wie nur fragmentarische Erkenntnis möglich ist.“

Diese Abhandlung fällt zeitlich in das Vorfeld der Erklärung der „Göttinger 18“ vom April 1957 wider die atomare Aufrüstung der Bundeswehr, bei der Jordan eine abweichende Haltung einnahm und auch öffentlich vertrat. Er nahm damit eine Isolation von vielen seiner früheren Freunde auf sich (siehe Beiträge in dieser Tagung). Zum Thema der Selbstgefährdung der Menschheit nimmt Jordan einen optimistischen Standpunkt ein – wie er eben von seinen Kollegen nicht geteilt wurde:

„ In einer päpstlichen Kundgebung ist ausgesprochen worden, das die furchtbare neue Waffe geeignet sei, die ganze Menschheit mit Vernichtung zu bedrohen. Diese Kundgebung bezog sich auf das 12. Jahrhundert und auf die damals zur Verbreitung gelangte Armbrust. Sie ermöglichte es, Tod und Vernichtung in Form von Pfeilen über die unerhörte Entfernung von 40 Schritt zu schleudern – während konventionelle Waffen höchstens 30 Schritt Reichweite besaßen. Dennoch hat die Menschheit die Armbrust überstanden.“

Möglicherweise beruht dieses nicht zugeschriebene Zitat auf einer gerne kolportierten Legende, wie auf der Veranstaltung angemerkt wurde.

Jordan und die religiöse Frage

Ein Thema, das auch heute noch zahlreiche Wissenschaftler beschäftigt, ist der Grenzbereich zwischen Wissenschaft und Religion. Nach einem Streitgespräch zu diesem Thema in „Spektrum der Wissenschaft“ erreichten innerhalb von 48 Stunden unser Online-Forum knapp tausend E-Mails, überwiegend von Akademikern. In seinem Werk „Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage“ hat Jordan einen Steilangriff auf dieses heikle Thema unternommen. Ich will seinen Gedankengang kurz nachvollziehen.

Nach einigen *Disclaimers*, was er nicht beabsichtige – weder Bekenntnis, Bewertung, Propaganda noch ein eigenes System – untersucht Jordan zunächst die geläufige These:

„Naturwissenschaft und Religion haben nichts miteinander zu tun.“

Der Autor widerlegt dies:

„Auch das Durchdenken der weltanschaulichen Bedeutung seiner Erkenntnisse ist eine Aufgabe, die der Naturwissenschaftler selber angreifen muss.“ „Der Prozess, den die Naturwissenschaftler der Religion gemacht haben, ist revisionsbedürftig.“

Die These sei aber nur ein Wunsch: „Nicht wenige Menschen möchten gerne, dass Naturwissenschaft und Religion nichts miteinander zu tun hätten ... Jedoch wird auch dieser Wunsch eine Untersuchung der Verhältnissen nicht verhindern dürfen; im Gegenteil erfordert er eine Prüfung seiner Erfüllbarkeit.“ Nun analysiert er Möglichkeiten einer Definition von Religion. Religion sei für manche die „Anerkennung eines höchsten Absoluten“. Für andere könnte Religion darin bestehen, „dass man gelegentlich wehevollte Stimmungen hat oder dass man mit Goethe das Unerforschliche ‚ruhig verehrt‘. Alle so verstandenen Begriffsbestimmungen fallen für unsere Betrachtungen aus, weil sie kein Problem ergeben.“

Als eine weitere mögliche Definition setzt er das Moralische als den eigentlichen Kern des Religiösen an: eine Art „Moral plus Allegorie“. Die Moral werde dabei in allegorischer Einkleidung unter die Leute gebracht. Anders gesagt, könnte man jetzt sagen, „dass die zwei Ebenen, auf denen Naturwissenschaft und Religion liegen sollen, die Ebene der Tatsächlichkeit und die Ebene der Werte“ seien. Aber auch dagegen wendet sich Jordan:

„Ich glaube freilich, das wäre immer noch falsch: denn man kann nicht von Werten sprechen, ohne auf die Frage der Freiheit einzugehen – und die hat ebenso mit der Tatsächlichkeit, wie mit den Werten zu tun.“

Diese Sichtweise sei also nur eine untaugliche Rückzugsposition, ihr fehlten vor allem das Kultische, also „Gebete und Opfer“. Denn für Jordan drückt sich im Kult das Eigentliche aus: nämlich ein Urteil über die Tatsächlichkeit der Welt – nicht nur über Werte, sondern auch über die Struktur der Wirklichkeit. So formuliert er also die Kernfrage so:

„Wie verhält sich die von kultisch handelnden, betenden Menschen durch dieses Tun ausgedrückte Weltbeurteilung zur wissenschaftlichen Naturerkenntnis?“

Leider behandelt er diese Frage dann in dem Buch nicht, statt dessen erläutert er die Entwicklung der Naturwissenschaften und kehrt im Schlusskapitel zur Quanten-Biologie und zum Problem der Willensfreiheit zurück. Er stellt dazu die Frage: Ist eine maschinenmäßige Determinierung des Einzelnen widerlegbar? Schließlich gibt es steuernde Effekte einzelner Quantensprünge im biologischen Geschehen durch Mutationen, Strahlenschäden, Verstärkerwirkungen und molekulare Giftwirkung.

Fatalerweise endet das Werk dann aber, nach einer Betrachtung der Psychoanalyse Freuds, zu diesem Thema mit der *non sequitur* Apodiktion: „Verdrängung als Beispiel von Komplementarität erkennend, müssen wir die menschliche Willensfreiheit als beweisbare und bewiesene Tatsache betrachten.“ Erst im Nachwort kehrt Jordan zur Religion zurück. Zitat:

„Nicht ohne Grund heißt dieses Buch ‚Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage‘. Es war meine Absicht, darzulegen, dass alle Hindernisse, alle Mauern, welche die ältere Naturwissenschaft auf dem Wege zur Religion angerichtet hatte, heute nicht mehr da sind. ... Das Buch hatte keineswegs die Aufgabe, zu erörtern, was uns erwartet, wenn wir diesen nunmehr wieder freien Weg tatsächlich gehen. Wir begnügen uns damit, diesen Weg als frei erkannt zu haben – aber die Zuständigkeit des Verfassers endet hier, und wir bleiben stehen vor der Religion. ... Was ich vorführen wollte, war die Untersuchung logisch-sachlicher Verhältnisse: Bekenntnisse auszusprechen, ist im ganzen Buch durchaus vermieden worden.“

Dass Jordan auch Humor nicht scheute, zeigt er in diesem Buch beim Thema Religion und außerirdische Lebewesen:

Die Frage, ob es außerirdisches Leben gibt, ist von katholischen Theologen wiederholt hinsichtlich ihrer religiösen Bedeutung erörtert worden... Diese haben teilweise versucht, den Gedanken auszuführen, dass die gedachten Bewohner anderer Himmelskörper zu einem sündenfreien Leben befähigt und deshalb nicht erlösungsbedürftig seien. Da jedoch der zweite Hauptsatz der Thermodynamik auch auf den fraglichen anderen Himmelskörpern gilt, so kann nicht bezweifelt werden, dass auch dortige etwaige organische Wesen sowohl dem Schicksal des Todes als auch dem biologischen Grundgesetz des Fressens und Gefressenwerdens unterliegen; die Vorstellung, dass Lebewesen unter diesem Gesetz ein einerseits mit Schmerzen beladenes, aber dennoch sündenfreies, nicht erlösungsbedürftiges Leben führen könnten, scheint mir von religiösem Betrachten aus bedenklich, obwohl sie theologisch vertreten worden ist.“

Wer viel schreibt, exponiert sich, und auch einem so brillanten Naturforscher entgleiten dann gelegentlich die Maßstäbe. Das folgt nun dem bekannten Spruch, dass jeder Wissenschaftler ein Laie außerhalb seines eigenen Fachgebietes ist. Von Journalisten erwartet man sozusagen konstitutiv nichts anderes. Sie sind bestenfalls „Experten auf Zeit“, wenn sie, gestützt auf persönlichen fachlichen Hintergrund oder langjährige Erfahrung, ihr Thema gut recherchiert und einigermaßen, also wenigstens qualitativ verstanden haben. Ein typisches Problem unserer Zeit ist jedoch, dass Wissenschaftler, die sich den Medien zur Verfügung stellen, von diesen dann aber zu allem möglichen befragt werden. Nicht alle Persönlichkeiten können dieser publikumsträchtigen Versuchung widerstehen. Und so äußert sich Mancher eben auch zu Themen, bei denen er bestenfalls informierter Laie ist. Eingesetzt wird aber seine Autorität als Fachmann – eines anderen Gebietes.

Auch in den 1950er und 1960er Jahren, mit der wachsenden Bedeutung von Wissenschaftsthemen in der Öffentlichkeit, ist Jordan – vielleicht aus falsch verstandener „Offenheit“ gegen alle Themen, die sich ihm aufdrängten – dieser Versuchung ab und zu erlegen. Statt Vorsicht walten zu lassen und womöglich auf persönliches Unwissen zu verweisen oder eine Frage als noch ungelöst zu bezeichnen, unterliefen auch Jordan Behauptungen, die schon zu seiner Zeit unhaltbar waren. Ein Beispiel findet sich etwa in

„Erkenntnis und Besinnung – Grenzbetrachtungen aus naturwissenschaftlicher Sicht“ von 1972. Zur „Einordnung der Parapsychologie“ (S. 207) schreibt Jordan:

„Ich fühle mich keineswegs als ein isolierter Einzelner unter meinen wissenschaftlichen Fachkollegen, wenn ich meinerseits dazu neige, die Tatsächlichkeit der parapsychologischen Erscheinungen in einer gewissen Breite anzuerkennen. ... Dazu gehört insbesondere, dass ich dazu neige, die Telepathie oder Gedankenübertragung als eine Sache anzusehen, die ähnlich gut bewiesen und begründet ist wie etwa die ebenfalls erstaunlichen, ebenfalls früher von nicht wenigen Beurteilern als unreal angesehenen Wirkungen der Hypnose. ... Die Erforschung parapsychologischer Beziehungen hat mit Recht Wert darauf gelegt, das Vorkommen von Hellsehen als einer ausdrücklich nicht auf Telepathie zurückführbaren parapsychischen Fähigkeit diesbezüglich Veranlagter zu beweisen. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, möchte ich sagen, dass ich auch diesen Beweis als erfolgt ansehen möchte.“ (S. 213)

Pascuals Mondfahrt

Ein Mensch, der die dramatischsten Jahre der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts miterlebt und mitgestaltet hat, fasziniert – auch in seinen nichtfachlichen Äußerungen – durch seine Zeitgenossenschaft. Pascual Jordan hat immer wieder Zeugnis abgelegt in Geburtstagswürdigungen, Nachrufen, Jubiläumsreden und sogar persönlichen Erinnerungen: etwa an Bohr, Born, Einstein, Heisenberg, von Laue, Heitler, Oberth, Pauli, Hahn – um nur einige zu nennen. Eine Autobiographie hat er jedoch leider nie geschrieben. Auf zwei Beispiele will ich zum Schluss eingehen. Sie scheinen mir typisch für diesen Menschen, dem das Skurril-Humorvolle nicht fremd war, der sich aber eher scheute, über Persönliches zu sprechen. Das eine betrifft die Rede zum 50. Jahrestag des Hamburger Instituts für Theoretische Physik der Universität; das andere eine Jugenderinnerung, die Jordan nur in die Sammlung „Begegnungen“ eingeschmuggelt hat.

Der Theoretiker Wilhelm Lenz hatte schon bald nach der Gründung der Hamburger Universität den dortigen Lehrstuhl übernommen. Als sein Assistent Wolfgang Pauli wegging, wurde Pascual Jordan 1927 dessen Nachfolger. Lenz habe „zwei verschiedene menschliche Typen in ihrem inneren Verhältnis zur Physik“ unterschieden: „Den in erster Linie auf Gewinnung neuer Erkenntnisse drängenden aktiven Typ, sowie denjenigen, „der vor allem der liebevoll betrachtenden Versenkung in schon vorhandene Erkenntnisse Genuss und Befriedigung“ verdanke. „Lenz bekannte sich dazu, diesem anderen Typus anzugehören.“ Besonders plastisch wird Jordan bei einer persönlichen Erinnerung an Lenz:

„Eine ihm auferlegte Belastung durch nervöse Erkrankungen konnte durch Hilfe des berühmten Wiener Psychologen S. Adler behoben werden, fand dann aber gewissermaßen Ersatz in einer starken Neigung zu Erkältungen, die ihm eine große Empfindlichkeit gegen jede geringste Zugluft verursachte. Jedoch passte es irgendwie zum Bilde seiner überlegenen, zugleich liebenswerten und vornehmen Persönlichkeit, dass er sich nicht scheute, dieser Empfindlichkeit freien Lauf zu lassen, ohne die Entwicklung eines etwas schrullenhaft zugespitzten Eindrucks zu fürchten. Ich erinnere mich, dass ich ihn ... in einem kalten Winter in seiner Wohnung verabredungsgemäß besuchte; ich glaube, er hatte mir zu diesem Zweck einen Wohnungsschlüssel geliehen. Verwundert stand ich in seinem Schlafzimmer, das mir menschenleer zu sein schien – bis aus einer über dem Kopfkissen seines Bettes liegenden Spitzenbespannung seine Stimme tönte und mich anredete. Er hatte es vorgezogen, im Bett auch mit dem Kopf unter Wärmeschutz zu liegen. – Nicht nur mir, sondern auch anderen Physikern war schon in einem Kriegswinter bekannt geworden, dass Lenz sich in einem seiner Zimmer aus Holzlatten und Papier einen würfelförmigen Verschlag gebaut hatte, dessen Kantenlänge von weniger als drei Metern es erlaubte, in diesem winzigen Raum doch eine behagliche Temperatur zu erzeugen. Er hatte mitunter ein oder zwei Gäste in diesem geheizten Miniraum.“

Mit autobiografischen Bemerkungen geizte Jordan. In seinen „Begegnungen“ findet sich daher etwas überraschend der sehr persönliche Text „Frühe Liebe zum Mond“.

„In den Wachträumen meines dreizehnten Lebensjahres war ich natürlich der Kapitän der ersten Reise zum Mond – und ich nahm an, dass ich dann etwas über neunzig Jahre sein würde. ... In Wirklichkeit werde ich nicht neunzig sein, wenn demnächst die ersten Pioniere – ohne mich mitzunehmen – auf dem Mond landen. ... In Peenemünde hatte ich gesehen, dass für den Antrieb von Großraketen keineswegs eine vorherige Lösung der Kernenergieprobleme nötig war – in den „Ofen“ eingespritzte Mengen von Alkohol und flüssigem Sauerstoff taten es auch. So wusste ich nach dem Kriegsende, dass der Weg zum Monde gangbar war. Ich habe mitunter davon gesprochen – staunende Ungläubigkeit erweckend ... Inzwischen ist mein Kindheitstraum zur Wirklichkeit geworden – die frühe Liebe hat ihre Erfüllung gefunden, wenn auch leider ohne mich.“

Was bleibt? Es gilt: Wie dem Schauspieler flieht die Nachwelt auch dem Wissenschaftspublizisten keine Kränze. Aber Jordans „Physik des 20. Jahrhunderts“, das früheste seiner Bücher für einen allgemeinen Leserkreis, hat vielleicht noch Bestand über seine Zeit hinaus. Seine Befürchtungen über das Auseinanderdriften von Geistes- und Naturwissenschaften sind durch die weiter zunehmende Spezialisierung seit den 1950er Jahren mehr als bestätigt. Diese Fragmentierung sorgt weiter für eine wachsende Kommunikationsbarriere zwischen der Öffentlichkeit und der Forschung. Unverständnis und Misstrauen sind die natürliche Folge dieser partiellen Sprachlosigkeit. Potenziell kritische Themen werden dann nicht mit Sachkenntnis, sondern mit Sensationalismus und Untergangstheorien verhandelt.

Wissenschaftsjournalisten allein werden diese Dichotomie nicht beheben können; im Verlagsgewerbe bilden sie eine Randgruppe. Es wird zunehmend die Aufgabe der Wissenschaftler sein, selbst zu Kommunikatoren ihres Faches zu werden. Wenn mehr Forscher wie Pascual Jordan sich diese Aufgabe zu eigen machten, würde ich für die Zukunft des gefährdeten Projekts der Aufklärung und für die verbesserte Integration der Wissenschaften als Kulturdisziplin mehr Hoffnung haben.

Anhang 1

Populärwissenschaftliche Bücher (Auswahl)

- 1935 Physikalisches Denken in der neuen Zeit
- 1935 Die Physik des 20. Jahrhunderts, *später* Atom und Weltall (1956, ab 9. Aufl.)
- 1941 Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens.
- 1947 Die Herkunft der Sterne (2. Aufl.)
- 1945? Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens
- 1947 Verdrängung und Komplementarität
- 1947 Das Bild der modernen Physik
- 1949 Physik im Vordringen
- 1952 Schwerkraft und Weltall
- 1954 Forschung macht Geschichte
- 1956 Der gescheiterte Aufstand
- 1963 Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage
- 1966 Die Expansion der Erde
- 1969 Albert Einstein: sein Lebenswerk und die Zukunft der Physik
- 1970 Schöpfung und Geheimnis
- 1971 Die weltanschauliche Bedeutung der modernen Physik
- 1971 Wie frei sind wir? Naturgesetz und Zufall ...
- 1971 Begegnungen
- 1972 Erkenntnis und Besinnung

Jordan's „Excursion“ into Geophysics

Wolfgang Kundt
Insitut für Astrophysik der Universität Bonn
e-mail: wkundt@astro.uni-bonn.de

August 2006

Abstract

Jordan's interest in a possible ongoing expansion of Earth was aroused by Dirac's hypothesis of a variability of Eddington's large numbers during cosmic times, in particular by the possibility of a decreasing gravitational coupling constant $G(t)$. A natural generalization of the Einstein-Maxwell field equations of gravity and electromagnetism leads to the Jordan-Thiry-Brans-Dicke equations in which $G(t)$ enters as an additional scalar variable. A decreasing $G(t)$ would give rise to an expanding Earth, which is occasionally thought to help understand plate tectonics, and is actively considered until today. But plate tectonics can be – and ought to be – understood as a special mode of of a settling planet, via arrays of volcanic overpressure pipes rising from its molten core (also called 'hotspots'), and there is so far no indication of an expanding Earth (either by direct, or by indirect measurements, at a level of $10^{-2.7}$). On the contrary, a decreasing $G(t)$ is in conflict with the (non-evolving) luminosity of stars at early cosmic times (including our Sun), with the (marginal) mechanical stability of the dinosaurs, and with the (tidally controlled) history of the Earth-Moon system.

1. Memories of Pascual Jordan

The first twenty years of my scientific life, 1951-71, were strongly shaped by Pascual Jordan, the dominant lecturer of my classes in theoretical physics at Hamburg University, my supervisor for the diploma, ph.d., and habilitation, later as the head of the weekly 'Relativitätstheorieseminar', and as the scientific father who cared equally for the mental and physical wealth of his scholars. Through him, I benefitted from close collaboration with Jürgen Ehlers – a master of knowledge and deep understanding – and with Engelbert Schücking – a stimulating person of unusually wide-spread insights. Through Jordan's fame, all of us made early contacts with leading scientists in other countries. His standard guided us during our approach to top insight, and kept us in perfect working mood. Throughout my scientific life, I have met dozens of top scientists who looked back at their early careers with mixed memories, ranging from months of depression to considerations of suicide; only a small minority had predominantly positive memories, and hardly any had memories as glorious as me: We lived in a free world of opening insights into the wonders of nature.

Jordan made major discoveries already as a youngster, ranging from the uncertainty relation in quantum mechanics, and the equivalence of Heisenberg's matrix mechanics with Schrödinger's wave-function approach (as different representations in Hilbert space), through (Jordan-) Fermi-Dirac statistics, nuclear theory, statistical mechanics, the quantization of the electromagnetic field, general relativity, cosmology, fundamental ideas in biophysics and geophysics, all the way to the introduction and/or promotion of new mathematical structures, like Jordan algebras and skew lattices. Clearly, with so many successes at hand, he was a strong believer in the monotonic progress in science: Every new scientific generation builds their insight onto that of the preceding one, not via major revisions, rather via successive improvements, leaving established truth unaltered.

Yet Jordan's work tended to stay at some distance from applied research, which must face the complexities of real life, and which can be characterized by an utterance of Thomas Gold that "for every complex physical problem there exists at least one simple, intuitive, and well presented wrong solution". The Copernican revolution is the classical case, and the expansion of Earth may fall into the same category. Seventy-nine further such problems – with 'alternative' solutions – are collected at the end of Arne Richter's (1998) 'Understanding Physics', or in the 2nd edition of my 2001 book 'Astrophysics'.

Despite Jordan's almost unrivalled simultaneous successes in theoretical physics and mathematics, he occasionally lacked public recognition, cf. Silvan Schweber (1994) who calls him the "unsung hero among the creators of quantum mechanics", or Pais (1986); achievement and acknowledgement are not always proportional, in particular during politically haunting years.

2. Does the Earth expand ?

There was a convincing chain of thoughts that led Jordan to consider a possible ongoing expansion of Earth, which he then pursued through some twenty years, in books and journals, and whose influence is still noticeable today, see Scalera & Jacob (2003) and a meeting on this subject at Theuern castle on 24-25 May 2003, organized by Karl-Heinz Jacob, in honour of Ott Christoph Hilgenberg.

This chain of thoughts started from Eddington's 'large numbers', the ratio $e^2 / G m_e m_p = 10^{39.4}$ of electric over gravitational attraction between electron and proton in the hydrogen atom – a dimension-less constant of nature – and the number $N \approx 10^{79}$ of baryons in the observable universe, an important cosmological constraint, both of which should be derived by a future theory. Similar large numbers are the mass density of nuclear matter ρ_N in terms of the critical mass density ρ_{crit} of the universe, $\rho_N / \rho_{\text{crit}} = 10^{43.7}$, and the cosmic length scale R in terms of the reduced Compton wave length $\lambda_p := h/2\pi m_p c = 10^{-13.7}$ cm of the proton, $R / \lambda_p \approx 10^{42}$. For these four big numbers, Dirac (1937) considered a possible evolutionary dependence of the form: $G(t)^{-1} \sim \rho_{\text{crit}}^{-1} \sim M(t)^{1/2} \sim R \sim t$, among them a temporal decrease of the gravitational coupling constant $G = G(t)$ (w.r.t. the electric one).

Jordan (1955) took Dirac's suggestion of this cosmic evolution seriously, and found a convincing formulation in his eleven-component scalar-tensor generalization of Einstein's field equations whose consequences he pursued persistently. He occasionally asked us, his seminar members, for help in this pursuit, with only modest success because in those days, we still faced various problems with a deeper, coordinate-independent understanding of Einstein's simpler, 10-component theory. (Among the signposts of our goals were the theorems of isometry, and of complementarity between symmetries and invariances).

How could one test whether or not Einstein's theory should be generalized to allow for a cosmologically varying strength of gravitational interactions ? Jordan concentrated on a possible expansion of Earth, resulting from a decreasing $G(t)$, and found support by the fact that Wegener's hypothesis of moving continents – most clearly indicated by South America receding from Africa – was contradicted by Harold Jeffreys' pointing out that the known horizontal forces, necessary for such motions, fell short of the needs by several orders of magnitude: an expanding Earth would help. So Jordan studied plate tectonics, whose observational vindication was achieved during the 1950s, (≤ 1962), via confirmed 'spreading axes' (Press & Siever, 1985; Strobach, 1991).

The surface of Earth shows two preferred levels, differing by 4.7 Km in altitude, which can be interpreted as reminiscent of a once smaller, purely continental planet without ocean basins. Various authors have quantified the radius of the early Earth, among them Horst Fritsch, Christoph Hilgenberg, Karl Luckert, Leo Maslov, James Maxlow, Ilton Perin, Giancarlo Scalera, Klaus Vogel, and Paul Wesson, see Scalera & Jacob (2003), and arrived at expansion ratios ranging from 1.5 to 3.7 (J.M.), with 2 as a preferred number since the Triassic (-0.2 Gyr).

Assuming spin angular-momentum conservation – i.e. ignoring partial angular-momentum transfer to the Moon's orbit – expansion ratios of {2, 3.7} correspond to respective lengths of the day of $P = \{6, 1.75\}$ h, the latter close to the centrifugal limit of $P \geq \pi / (G\rho)^{1/2} = 1.52$ h. To me, such expansion ratios look forbiddingly large, in particular when spin losses to the Moon and (strong) early solar wind are likewise taken into account. There also enters the stability problem of the dinosaurs and the archaeopteryx, whose bones would not have supported a several times larger body weight, implied by a several times larger terrestrial gravity acceleration $g = G M / R^2$. Jordan's confidence in a plausible theory (of a decreasing G) was stronger than in the reality of possibly conflicting evidence (which he did not pass over in silence, though), and discussed it in several articles and books (1952/55, 1964, 1966/71, 1963/72).

Cannot a present expansion of Earth be directly monitored ? A doubling of its radius in 0.2 Gyr would correspond to an average radial increase of 1.6 cm/yr, whilst the lunar laser experiment measures an increase of distance between the surfaces of Earth and Moon of 3.7 cm/yr (Chown, 1999). For a constant $G(t)$, this growth rate of lunar separation would correspond to a spindown of Earth of 2.3 ms/century. Solar tides exert a similar braking torque, of amplitude 1/5 that of the Moon but of smaller effective viscosity (or Q-factor, because nearer to the elastic range), so that the total growth rate of the length-of-the-day (LOD) should equal 2.5 ms/century, whereas only 1.7 ms/century are measured. This (large) discrepancy tends to be interpreted as due to a decreasing moment of inertia J_2 of Earth, caused by the melting of polar ice masses. Rightly so ? Or does the Moon shrink ?

A decreasing G would make the Earth expand, but also the lunar orbit, and lunar radius. As a result, it would add three contributions of different signs to the changing distance between the surfaces of Earth and Moon, of uncertain net sign, and could fall into the sub-cm range, still in the noise of measurements.

A somewhat higher accuracy is reached by geodesists using VLBI who can measure a 1.7 cm/yr recession of North America from Europe (due to plate motion). The ITRF is now reliable at the 1mm/yr level, or even 0.2mm/yr level when all stations are evaluated collectively (J.Campbell: private communication, Altamimi et al, 2002). Apparently, the above considered average rate of 3.2π cm/yr of circumferential increase of Earth can be ruled out at the level of 0.2%.

Similarly inconclusive to the lunar laser experiment are palaeontological determinations of the number of days in a month, and the number of months in a year, obtained by counting growth rings of bivalves, molluscs,

porites, stromatolites, and stromatoporoids (Rosenberg & Runcorn, 1975). They can be adjusted to an uncertain history of the lunar tidal deceleration whose major uncertainty is the Earth's Q-factor which measures its inelasticity, and may have varied between 12 and 200 (depending on the share of its oceans wobbling near resonance). Has our Moon formed from a terrestrial accretion disk – like most of the other ≥ 134 moons in the solar system – or has it been struck loose by an early impact, as is nowadays often claimed? I learned from Hannes Alfvén that the latter possibility is unlikely: Collision fragments inside a planetary disk tend to collide repeatedly in the sequel, \leq twice per orbit, until their relative speeds have sufficiently decreased for renewed fusion.

3. Further Constraints on a decreasing G

A decreasing G would not only give rise to an expansion of the Earth-Moon system, but also to an expansion of all the other planets and moons in the solar system, as well as to an expansion of their orbits. For Earth, a formerly closer proximity to the Sun would have raised its average temperature T_{\oplus} – presently, $T_{\oplus} = 278$ K $(\text{AU}/r)^{1/2}(\alpha/\epsilon)^{1/4} \approx 289$ K for a mean (optical) absorptivity $\alpha \approx 0.7$, and a mean (infrared) emissivity $\epsilon \approx 0.6$ – beyond the range of liquid water at its surface if its distance r was smaller than now by some 5% (cf. Kundt, 2004). If dry, terrestrial life would not have formed.

A related problem arises for a once closer lunar orbit: its former gigantic tidal deformations – rising as r^{-6} with decreasing separation r – would have left detectable traces, and would have required an intolerably high spin rate (short length of the day) of the young Earth, for too close an early Moon, in order to have pushed it to its present distance.

Jordan acknowledges that George Gamow and Edward Teller have raised doubts in letters to him about a decreasing G because it would have increased the luminosity of the early Sun. It would likewise have increased the luminosities of all stars in the early Universe – an effect that has not been noticed – out to redshifts of at least $z = 6$: Rough proportionalities of a star's central pressure p , temperature T , and nuclear burning rate ϵ_N yield $p \sim G M^2 / R^4$, $T \sim p / \rho$, and $\epsilon_N \sim \rho T^n \sim p T^{n-1}$, with n ranging between 4 and more than 20 (depending on the dominating reactions), so that at fixed M , ϵ_N grows with G as a high power, $\epsilon_N \sim G^{8z^2}$ for our Sun; (note that R shrinks with increasing G). Again, terrestrial life would have been prevented by an evaporation of its oceans.

Ter Haar's objection to a dry planet Earth, that clouds could stabilize its climate, is qualitatively correct – by lowering α/ϵ in above formula for T_{\oplus} – but would fail quantitatively for a significant evolution of G , cf. Rampino & Caldeira (1994).

4. Plate Tectonics

Plate tectonics is as controversial a subject as an expansion of Earth, ever since its discovery by Wegener some 75 years ago, cf. Bercovici et al (2003a,b) who defend the mainstream wisdom of thermally driven, ordered large-scale convection of at least the upper mantle, down to a depth of 410 Km. This interpretation is built on the knowledge that every solid material yields to an applied stress on sufficiently long timescales (whose transition value differs from substance to substance), i.e. changes from elastic to viscous behaviour, but ignores the fact that for plate tectonics, the required horizontal forces either vanish (for symmetry reasons), or at least have vanishing spatial and/or (long-time) temporal averages. It also ignores the fact that the plates do not move continually, rather are forced apart piecewise and abruptly along the spreading lines ('midocean ridges'), once every 50 yr through some 50 cm, say. Bercovici (2003) even mentions these shortcomings in his abstract but continues reviewing 'mantle convection', and still calls his approach 'self-consistent', in the absence of any known better explanation.

A better explanation of plate tectonics has been given by Jessner & myself, so I think, in 1986, by detecting that the boundary layer between rock and its underlying melt is unstable to the growth of thin vertical tubes, or 'hot fingers' through which lava can melt its way up to the surface, making use of 'overhead stoping' and of convective heating from below. In the case of Earth, this mechanism is facilitated by dissolved hydrocarbons and dissolved radioactive salts whose low specific weights enhance buoyancy, and whose chemical and decay reactions help heating. The mechanism works because near the ceiling of a growing finger, the ambient rock is nearer to its melting point because of a higher temperature – convective heat transport in the melt is faster than conduction in the rock – and a higher pressure, because the melt is lighter. A growing hot finger exerts an increasingly higher pressure near its top onto its (heavier) surroundings, hence tears the ceiling, and grows by overhead stoping. Convective replacement from below keeps it molten. Near the surface of Earth, the overpressure of a tube amounts to the difference of its column weight from that of the replaced material, hence can be gigantic.

Jessner and I proposed this mechanism as the general explanation of all modes of volcanism, stimulated by Gold's ideas on abiogenic hydrocarbons, cf. (1999). It explains how mountains can be forced up to heights of almost 10 Km – occasionally on the timescale of one year – and how volcanoes can eject rocks at up to sonic

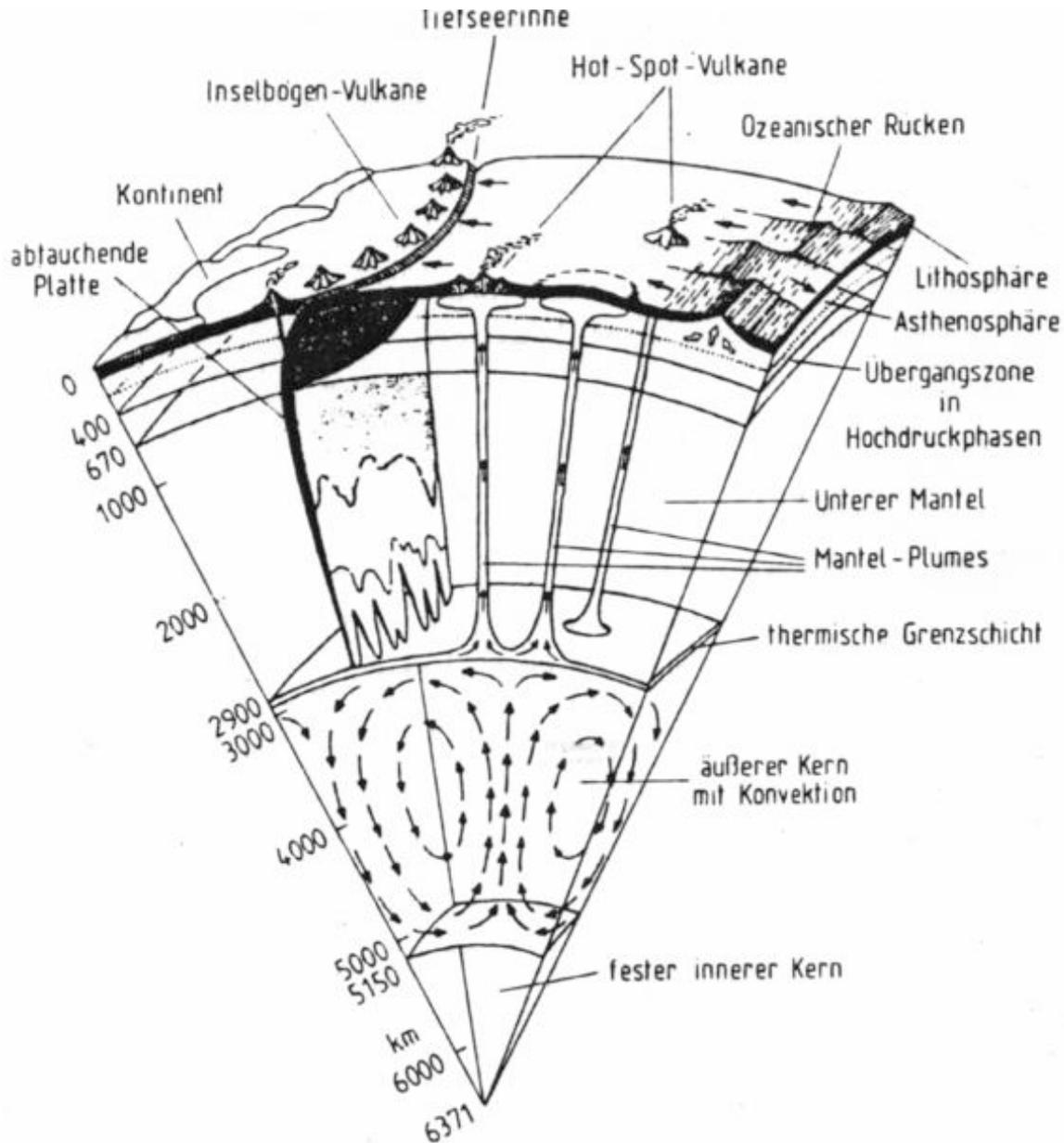


Fig.1: Predicted motions in the Earth's interior, giving rise to both shallow- and deep-rooted volcanism, from Strobach (1991). Note that mantle convection has been omitted by him. But subduction is unlikely to leave traces much below 700 Km, and midocean ridges should require (deep) feeding from the molten core, cf. figure 2.

speeds. Strobach (1991) has used it to explain the Hawaiian island arc, as a 'hotspot' rising all the way from the molten core of Earth. When I saw his Abb. 11.9 (reproduced below, as Fig. 1), I concluded that also the spreading lines of Earth should be fed by its molten core – not only because their energetics are largest but also because the chemical, and isotopic compositions of the ejecta of island-arc volcanism interpolate throughout, between spreading-zone volcanism and (shallow: < 700 Km deep) subduction-zone volcanism; cf. my 1991 contribution to Hasselmann's anniversary symposium, and Fig. 2. Here the spreading lines are thought to be powered by linear arrays of such hot fingers, called 'volcanic fences'.

As far as I know, this work by Jessner and myself has remained unnoticed and unchallenged for some 17 years. In order to enhance its credibility, I will now present a quantitative estimate of the involved pressures, column lengths, and timescales. To this end, notice that along the world's spreading lines, crustal stripes (slabs) of rock on opposite sides are displaced discretely once every couple of decades – of width (400 ± 250) Km, height (80 ± 20) Km, and length (2000 ± 1200) Km, see Figs. 3, 4 – whose lateral edges are displaced (slid) in the act, and

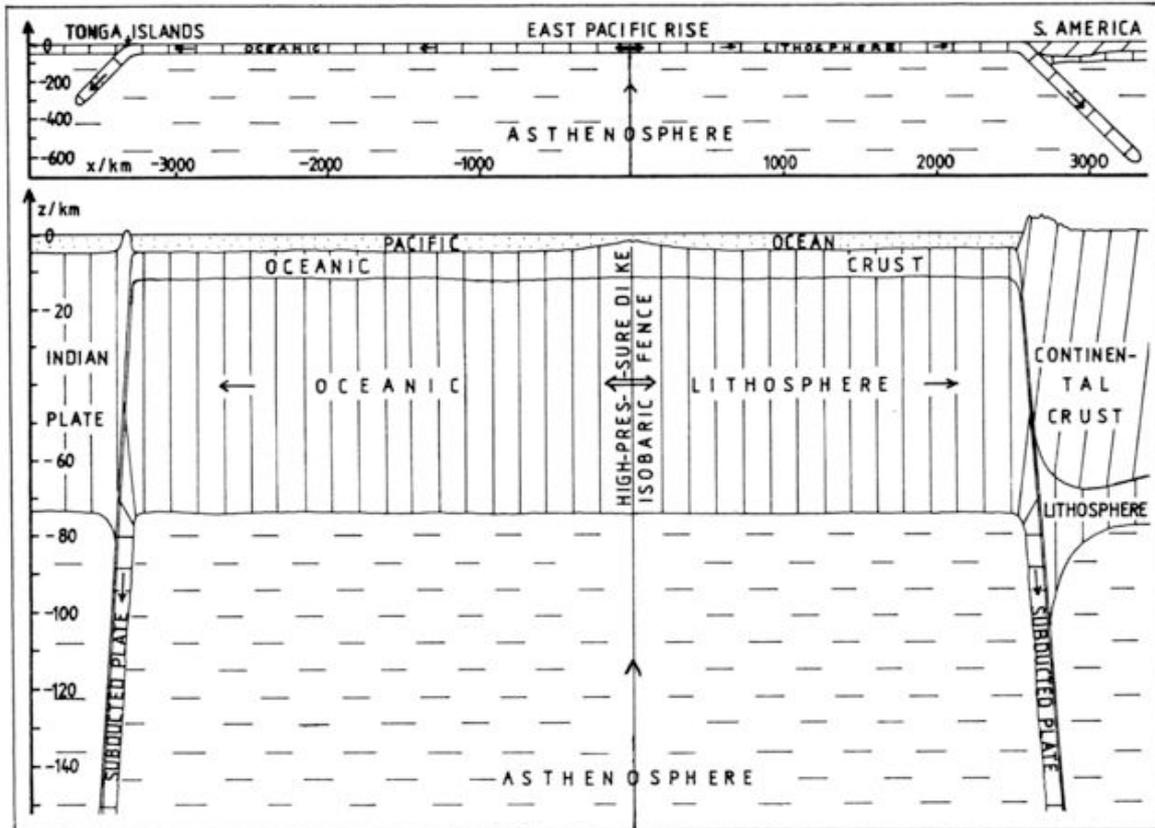


Fig.2: Cut through the upper mantle of Earth, (a) to scale, and (b) with a 20-fold enlargement of the vertical scale, revised from Kundt & Jessner (1986). Plates are assumed to be pushed by surging volcanic tubes ('hot fingers'), anchored in the molten core.

subsequently welded again, water-tight, without follow-up eruptive activity, whereas its rear ends stay squeezed for years to come during which their overpressures gradually relax. The continuous motion of a plate is thus the result of millions of small steps, each measuring in decimeters at its upstream end.

Each individual such step can be described by a transient overpressure Δp , acting along the (spreading) frontal edge, which causes an acceleration d^2x/dt^2 in x-direction – away from the spreading line – given by

$$d^2x/dt^2 = \Delta p / \lambda \rho, \quad (1)$$

where ρ is the mass density of the pushed slab – assumed to move as a detached solid body – and λ is its length. The necessary overpressure Δp can be roughly guessed by imagining a train on rails, consisting of more than 10^5 coaches, which should be pushed through some distance Δx : Nothing will happen before the force on the final car in the chain exceeds its friction forces. By this time, the force in x-direction along the train falls stepwise from coach to coach, almost linearly with distance, until it gets > 0 at the very end (if large enough at $x = 0$). Its buildup happens at sound speed, within less than an hour. Once the force on the last coach exceeds its friction, the whole train will start moving.

But crustal slabs do not move on wheels; they rather resemble a heavy box pulled across a table, see Fig. 5. The force F necessary to make it slide is $F = \mu_{st} g M$, with μ_{st} being the dimension-less friction coefficient whilst 'sticking' – which must be overcome to make it move – g is the gravitational acceleration (determining its weight), and M its mass. Once the box moves, its friction coefficient drops to the 'slipping' value μ_{sl} . Measurements show that $\mu_{st} \approx 0.3$, and $1 < \mu_{st} / \mu_{sl} \leq 2$ (typically near the upper end), so that the difference $\Delta\mu := \mu_{st} - \mu_{sl} \approx 0.2$ is available for the box's acceleration. To move a real crustal slab, small additional forces are required for tearing it at its edges, which I assume absorbed into $\Delta\mu$ (Maronne, 2004). Once a slab starts moving,



Fig.3: Map of the ocean floor west of South America, centered on a midocean ridge (spreading line) which is multiply offset, from Meeresmuseum STRALSUND (1983). Note the pattern of (transverse) transform faults, complementary to the parallel ridge lines.

the friction coefficient μ drops abruptly from its (higher) sticking value to μ_{sl} , and its acceleration is achieved by

$$\Delta p = \Delta \mu g \lambda \rho \approx g \lambda \rho / 5 . \quad (2)$$

Taken together with the first equation, we arrive at the differential equation of a free fall: $d^2x/dt^2 = g / 5$, whose solution predicts a speed of $dx/dt = (0.4 g \Delta x)^{1/2} = 6 \text{ Km/h}$ (like walking) after a slip length of $\Delta x = 0.5 \text{ m}$ which is (not only observed, but) dictated by the condition that the kinetic energy per mass of the slab's

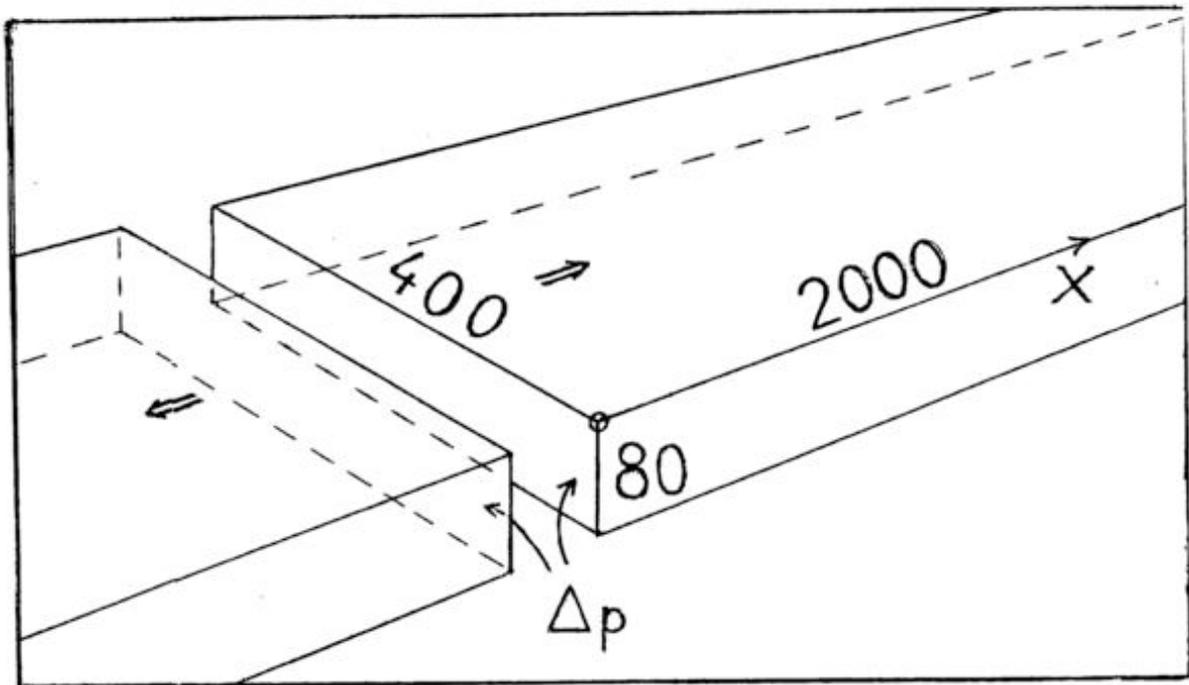


Fig.4: Sketch of the crustal-slab geometry, as used in the calculations, with length scales in Km. Two opposite slabs are thought to be pushed apart by 0.5 m in x-direction, by a transient overpressure Δp .

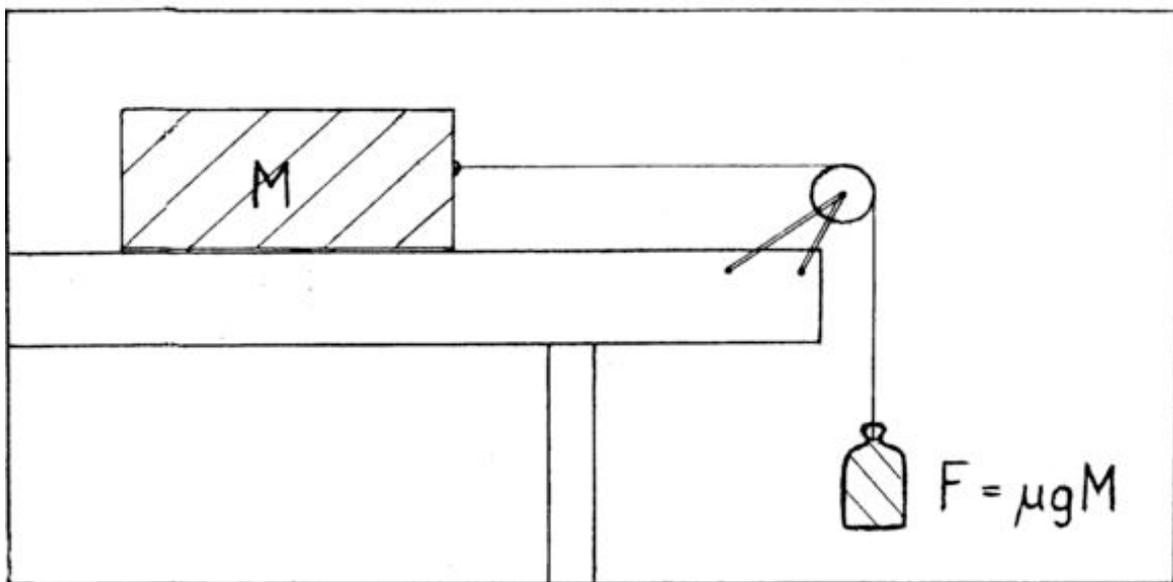


Fig. 5: Measurement of the friction for sliding motion. The force F depends on the mass M of the block only – not on its shape – but differs (slightly) for different surface roughness through the friction coefficient μ . μ drops in transition from sticking to slipping.

motion stay below its available potential energy per mass of $g \Delta x/5$. In reality, compressional work has to be performed at the downstream end that arrests the push. The whole slide takes place within the (short) time $\Delta t = (10 \Delta x / g)^{1/2} = 0.7$ s.

From the preceding equation we can read off the minimal overpressure Δp required to make a slab move – by replacing $\Delta \mu$ by μ_{st} – an enormous pressure which is thought to be exerted by a magma column (hot finger) of height h and density contrast $\delta \rho$ w.r.t. its (heavier) surrounding rock. The latter is given by $\Delta p = \langle g \rangle h \delta \rho$, where $\langle g \rangle$ ($\approx g$) is the gravity acceleration averaged over the height of the column (using the inferred radial run of terrestrial density given, e.g., in Cook, 1980). Equating the two expressions for Δp yields

$$h / \lambda \approx (\rho / 3 \delta \rho) (g / \langle g \rangle) \approx 1.5 \quad (3)$$

In words: in order to push a crustal slab of length λ by means of the overpressure of a volcanic fence, the latter's height must exceed the length of the slab. Plate tectonics on the (horizontal) scale of thousands of Km would be impossible if the molten core were at a significantly shallower depth (than the present $10^{3.5}$ Km).

If this sketch of the working mechanism of plate tectonics is realistic, there is no indication offered of an expansion of Earth: Oceanic plates are pushed apart, and recreated along the midocean ridges (spreading lines), and often subducted at their downstream ends where they are bent below continental plates, driven by the (thermal) forces of linear arrays of vertical magma columns.

Conclusion

Jordan's proposal of an expanding Earth – due to a decreasing coupling constant $G(t)$ – has so far escaped verification, at the level of 0.2%. In particular, I argue that plate tectonics can be understood without it.

Acknowledgements: Particular thanks go to Peter Brosche and James Campbell for correspondences, to my seminar members Hans Baumann and Gernot Thuma for their critical reading, and to Günter Lay for the electronics handling.

References

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C., 2002: ITRF2000 : *A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications*, Journal of Geophysical Research **107**, No **B10**, 2214
- Bercovici, David, Karato, Shun-ichiro, 2003: *Whole-mantle convection and the transition-zone water filter*, Nature **425**, 39-42
- Bercovici, D., 2003: *The generation of plate tectonics from mantle convection*, Earth and Planetary Science Letters **205**, 107-121
- Chown, Marcus, 1999: *Der Schatten des Mondes bringt es an den Tag*, Spektrum der Wissenschaft, Aug., 50-53
- Cook, A.H., 1980: *Interiors of the Planets*, Cambridge University Press
- Dirac, P.A.M., 1937: *The Cosmological Constants*, Nature **139**, 323
- Gold, T., 1999: *The Deep Hot Biosphere*, Springer
- Jordan, P., 1952/1955: *Schwerkraft und Weltall*, Vieweg, Braunschweig
- Jordan, P., 1964: *Die Expansion der Erde*, Bild der Wissenschaft **4**, 15-25
- Jordan, P., 1966/71: *Die Expansion der Erde/The Expanding Earth*, Vieweg, Braunschweig
- Jordan, P., 1963/72: *Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage*, Gerhard Stalling, Oldenburg, S. 273
- Kundt, W., 1991: *Earth as an Object of physical research*, in: *Strategies for Future Climate Research*, Klaus Hasselmann's 60th anniversary, ed. M. Latif, Hamburg, pp. 375-383

- Kundt, W., 2004: *Astrophysics, A New Approach*, Springer
- Kundt, W., Jessner, A., 1986: *Volcanoes, fountains, earth quakes, and continental motion – what causes them?*, Journal of Geophys. **60**, 33-40
- Maronne, Chris, 2004: Faults greased at high speed, Nature 427, 405-406
- Pais, A., 1986: *Inward Bound*, Oxford University Press
- Press, F., Siever, R., 1985, *Earth*, Freeman
- Rampino, M.R., Caldeira, K., 1994: *The Goldilocks Problem: Climatic Evolution and Long-Term Habitability of Terrestrial Planets*, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **32**, 83-114
- Richter, A.K., 1998: *Understanding Physics*, Copernicus Gesellschaft
- Rosenberg, G.D., Runcorn, S.K., 1975: *Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation*, John Wiley
- Scalera, G., Jacob, K.-H., 2003: *Why expanding Earth?*, INGV, Rome
- Schweber, S. S., 1994: *QED and the men who made it*, Princeton University Press
- Strobach, K., 1991: *Unser Planet Erde*, Gebrüder Bornträger, Berlin & Stuttgart

From Quantum Theory to Cosmology: Pascual Jordan and World Physics”

Helge Kragh
Aarhus University, History of Science Department
Ny Munkegade, Bygn 521, DK-8000 Aarhus
E-mail: ivhkh@ivh.au.dk

During the second half of the 1930s, Pascual Jordan not only turned toward quantum biology and positivist natural philosophy, he also made his entry in cosmology and astrophysics, areas of science that he would cultivate for a good deal of the next two or three decades. Although he worked extensively in the field, today his work is not well known and is often ignored or played down in biographical accounts of his life and science. For example, in the entry in the authoritative *Dictionary of History of Science*, mention of it is reduced to a single sentence.¹ This paper does not pretend to give a full survey of Jordan’s work in cosmology and astrophysics, but is limited to the initial phase from 1936 to the late 1940s. In this troubled period Jordan formulated an unorthodox cosmological theory inspired in particular by the cosmophysical tradition of British astronomers and physicists. As he freely admitted, his ideas derived to a large extent from those of Eddington and Dirac, and it will therefore be useful to include a brief exposé of these sources.

PHYSICS OF THE 20th CENTURY

Although Jordan’s turn to cosmological theory was directly motivated by a paper Dirac published in 1937, at that time he already had some interest in cosmology. This can be seen from his *Die Physik des 20. Jahrhunderts* from 1936, a book that appeared in many German editions and was translated into several other languages, in 1944 into English as

¹ Karl von Meyenn, ”Jordan, Ernst Pascual,” 448-454 in Frederic L. Holmes, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 17 (New York: Charles Scribner’s Sons, 1990). For an account of Jordan’s cosmology, see Jagjit Singh, *Great Ideas and Theories of Modern Cosmology* (New York: Dover Publication, 1970), pp. 229-238. See also Richard H. Beyler, *From Positivism to Organicism: Pascual Jordan’s Interpretations of Modern Physics in Cultural Context*, Ph.D. Thesis, Harvard University, 1994, pp. 495-501.

Physics of the 20th Century. The book was in a general sense inspired by the German physics teacher, philosopher of science, and prolific author Bernhard Bavink, whose widely read *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften* Jordan approvingly referred to. Bavink was a Christian thinker who not only argued that science and religion were partners in a dialogue rather than natural enemies, but also that modern physics was thoroughly anti-materialistic and in far better congruence with Christian belief than physics of the classical era.²

In his book of 1936, Jordan offered a semi-historical and semi-philosophical account of physics and the other natural sciences, such as seen through the glasses of a convinced positivist. As he repeatedly emphasized, the new physics was anti-materialistic as well as anti-metaphysical, and had "conclusively liquidated" the materialism of former science. This was also one of Bavink's messages, only had Bavink gone further, namely to try to find a road to a positive evaluation of God through the understanding of modern physics and the other sciences. Jordan admitted that in an examination of the new relationship between science and philosophy, "Certainly the religious question cannot be avoided," and he also believed that with the defeat of materialism followed "a positive gain in freedom of motion for religious thinking." But that was as far as he was willing to go. As a positivist, Jordan wanted to limit his analysis to what are "scientifically proven and independent of personal opinion," and he denied that knowledge of God could be obtained scientifically, that is, be grounded in empirical data.

Still, although positivist science – strictly empirical and value-free as it is – cannot lead to God, Jordan maintained that "the positivist conception offers new possibilities of granting living space to religion without contradiction from scientific thought." There was no direct route from scientific knowledge to religious insight, yet Jordan was eager to stress the legitimacy of religion and other forms of spiritual quest. To Jordan, religion was clearly more than opium for the people. On the other hand, even though positivism opened up for a reconsideration of religion, he fully recognised that religious experience did not match at all the positivist criterion of meaningfulness. "Positivist criticism," he wrote, "will only admit to the theses of theological theories a meaningful contact when they are shown on closer analysis to be expressions of concrete experiences." This cautious attitude remained with Jordan also in his works published after the war. In the period from about 1960 to his death in 1980 he published numerous works in which he took up the religious question, but always in a cautious, non-apologetic way.³

In the final chapter of his 1936 book, Jordan discussed the recent progress in cosmology and the vexed problem of the age of the world. Already at that time, he accepted some version of the big-bang picture of the Belgian pioneer cosmologist Georges Lemaître, to whom he explicitly referred. He invited his readers to join him on a cosmic journey, mentally to pursue the development of the universe farther and farther back, until they came to the beginning, to an initially small universe that arose from an original

² See Klaus Hentschel, "Bernhard Bavink (1879-1947): Der Weg eines Naturphilosophen vom deutschnationalen Sympathisanten der NS-Bewegung bis zum unbequemen Non-Konformisten," *Sudhoffs Archiv* 77 (1993), 1-32.

³ E.g., P. Jordan, *Der Naturwissenschaftler vor der Religiösen Frage* (Oldenburg: G. Stalling, 1963).

explosion. As he wrote, "Not only atoms, stars and milky way systems but also space and time were born at that time. Since then the universe has been growing, growing with the furious velocity which we detect in the flight of the spiral nebulae."⁴ Jordan was aware that the scenario – and that is all it was – had similarities to Genesis, but he refrained from making any direct connection between the two pictures. Rather, he pointed out that the scenario was scientifically based and motivated, that "our scientific research on the future and past of the universe need not be influenced by human desires and hopes or by theological theories of creation." And yet, scientific as the picture of the exploding universe allegedly was, Jordan found it appropriate to end his book with a reference to speculations that the universe might be nothing but the dream of God.

THE HERITAGE FROM EDDINGTON AND DIRAC

Jordan's decision to engage scientifically in cosmology was primarily motivated in the contemporary works of Eddington and Dirac. The two British theorists were centrally involved in the attempt to establish a theory of cosmological physics, namely by following versions of what may appropriately be called the cosmo-numerological approach. Although considerations of the meaning of the numerical values of the natural constants – and especially the dimensionless combinations of these – can be traced back many years before Eddington, it was only with Arthur Eddington's research programme starting in 1929 that the subject attracted wide attention in the physics community.⁵ Eddington's first love was the dimensionless fine-structure constant, or rather the inverse constant ($\alpha^{-1} = \hbar c/e^2$), the numerical value of which he claimed to derive purely deductively, namely as the whole number 137. Yet this was only part of a much larger and more ambitious research project the aim of which was to connect the microphysical and cosmical constants of nature.⁶ In 1935, in his book *New Pathways in Science*, he invited his readers to "look on the universe as a symphony played on seven primitive constants as music played on the seven notes of a scale."⁷ The seven constants he considered to be fundamental were e (the elementary charge), m , M (the mass of the electron and the proton), h (Planck's constant), c (the velocity of light), G (Newton's constant of gravitation), and Λ (the cosmological constant).

Eddington further introduced another, very large number, what became known as the cosmical number (or sometimes Eddington's number), namely the number of electrons or protons in the visible universe. The number could be estimated from the mean density of matter in the universe to be about 10^{79} , and Eddington claimed to be able to deduce it rigorously from his theory. The point to notice is that Eddington thought that the various

⁴ P. Jordan, *Physics in the 20th Century* (New York: Philosophical Library, 1944), p. 183.

⁵ George J. Stoney, "On the physical units of nature," *Philosophical Magazine* 11 (1881), 381-390. John D. Barrow, *The Constants of Nature. From Alpha to Omega* (London: Jonathan Cape, 2002).

⁶ Clive W. Kilmister, *Eddington's Search for a Fundamental Theory: A Key to the Universe* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994). H. Kragh, "Magic number: A partial history of the fine-structure constant," *Archive for History of Exact Sciences* 57 (2003), 395-431.

⁷ A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1935), p. 227.

constants were closely and significantly interrelated through formulae which typically were as follows

$$\frac{e^2}{GmM} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3N}{30}}, \quad \frac{2c\pi}{h} \sqrt{\frac{mM}{\Lambda}} = \sqrt{\frac{N}{30}}, \quad \text{and} \quad \frac{hc}{2\pi e^2} = N \frac{h\Lambda}{2\pi mc}$$

The large value of the dimensionless combination $e^2/GmM \approx 10^{39}$, an expression of the ratio of the electrostatic and the gravitational forces between an electron and a proton, is sometimes known as Weyl's number. The significance of the number was first pointed out by Herman Weyl in 1919. The idea to relate the quantity to the number of particles in the universe first appeared in a paper by the Austrian physicist Arthur Erich Haas, shortly before Eddington took up the matter.⁸

Eddington's fundamental theory of the constants of nature, and his general attempt to link atomic theory with cosmology, aroused great interest in the 1930s. Although it was rejected by most leading quantum physicists, others found it fascinating and more or less followed in his footsteps. In German-speaking Europe, Eddingtonians of some sort included Haas, Hans Ertel, Friedrich Möglich, Wilhelm Anderson and Reinhold Fürth. Schrödinger, too, was for a period fascinated by Eddington's approach.⁹ Although Jordan never adopted cosmophysics à la Eddington, and was careful to distance himself from more speculative versions of physical numerology, he found Eddington's *Relativity Theory of Protons and Electrons* to be a work of great interest. Thus, in 1937 he predicted that "Eddington's new approach will be a source of important and fertile ideas in physical research."¹⁰ It was however Dirac's version of cosmo-numerology, rather than Eddington's, which greatly appealed to Jordan and made him enter cosmology.¹¹

Whereas Eddington's aim was to harmonize the general theory of relativity with quantum mechanics, this aspect was missing in Dirac's theory and also in Jordan's. Neither Dirac nor Jordan accepted Eddington's interpretation of relativistic quantum mechanics, and in their cosmological works quantum theory did not enter to any significant extent. It was an essential element of Eddington's programme, indeed its very foundation, that Dirac's relativistic wave equation did not describe an individual electron, but the structural relation of the electron to the entire universe. But this was an interpretation that Dirac did not accept, and neither did Jordan. When it came to quantum

⁸ H. Weyl, "Eine neue Erweiterung der Relativitätstheorie," *Annalen der Physik* 59 (1919), 101-133. A. E. Haas, "Ueber den möglichen Zusammenhang zwischen kosmischen und physikalischen Konstanten," *Anzeiger, Akademie der Wissenschaften (Wien), Math.-Naturwis. Klasse* 67 (1930), 161.

⁹ Alexander Rüger, "Atomism from cosmology: Erwin Schrödinger's work on wave mechanics and space-time structure," *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 18 (1988), 377-401.

¹⁰ P. Jordan, "Die physikalischen Weltkonstanten," *Die Naturwissenschaften* 25 (1937), 513-517, on p. 517.

¹¹ H. Kragh, *Dirac: A Scientific Biography* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), pp. 223-246

mechanics Jordan subscribed to more orthodox opinions, and he could see no merit in Eddington's holistic and cosmic view of quantum physics.

Dirac's point of departure was the very large numbers that turned up in cosmology, especially those of orders of magnitude 10^{39} and 10^{78} . By virtue of what he later called the Large Number Hypothesis, he postulated that very large numbers of these magnitudes turning up in nature were significantly interrelated.¹² In addition to Weyl's number and Eddington's cosmical number, Dirac introduced a temporal element by considering the age of the universe T (which he took to be two billion years) as measured in atomic units of time, e^2/mc^3 . The dimensionless ratio then becomes close to 10^{39} , that is, to Weyl's number:

$$\frac{T}{e^2 / mc^3} \approx \frac{e^2}{GmM}$$

To Dirac, this meant that the quantity e^2/GmM has the value it has because we happen to live in a universe two billion years old. It must vary with the cosmic epoch, and since Dirac assumed the atomic parameters e , m , and M to be true constants, he deduced that Newton's constant of gravitation decreases slowly with time as $G(t) \sim t^{-1}$.

In his note of 1937, Dirac further pointed out that the cosmical number N is close to the square of $T/(e^2/mc^3)$, which according to his basic hypothesis implied that N should increase proportionally with the square of cosmic time. That is, matter should spontaneously be created in the universe; the older the universe, the larger the rate of matter creation. However, already in his paper of 1938 Dirac withdrew this conclusion and returned to the safer ground of matter conservation.¹³

A POSITIVISTIC COSMOLOGY?

Dirac's unorthodox theory created some methodological debate in England, but only very few physicists and astronomers accepted it or found it worthwhile to look closer at it. Among the few who did find the approach valuable, Jordan was the only one who developed it further and made it the basis of a more extended cosmological theory. In 1952, in his important monograph *Schwerkraft und Weltall*, he could look back on the past 15 years and conclude, largely rightly: "I am the only one who has been ready to take Dirac's world model seriously, which even its originator has partly abandoned, and to reconsider its more precise formulation." He added, "I must admit that in this idea of Dirac's I recognize one of the great insights of our time and consider it an important task to develop it further."¹⁴

¹² P. Dirac, "The cosmological constants," *Nature* 139 (1937), 323.

¹³ P. Dirac, "A new basis for cosmology," *Proceedings of the Royal Society A* 165 (1938), 199-208.

¹⁴ P. Jordan, *Schwerkraft und Weltall* (Braunschweig: Vieweg, 1952), p. 137.

Although in the early phase of his new cosmological research programme, Jordan did not go much beyond Eddington and Dirac, his conception of cosmology differed markedly from that of the two British scientists. First of all, it was important to him to represent cosmophysics as complying with the norms of positivism, or what he believed were these norms. According to Jordan, there was nothing speculative or a priori about numerological reasoning based on the constants of nature; on the contrary, these were purely observational facts and he believed, somewhat naively, perhaps, that it was possible "to distinguish quite clearly between what are *observational facts* – and as such *independent of any theory* – and what are the results of theoretical considerations."¹⁵ The various relations between the dimensionless constants that he discussed were largely the same as considered by Eddington and Dirac, but Jordan regarded them as "mere reformulations of experience, freed from hypotheses," and he even called his version of Dirac's theory "empirical cosmology."¹⁶

Let me now indicate the main content of Jordan's early cosmology, such as he developed it in the late 1930s and through the years of war.¹⁷ He took over from Dirac the proportionality $G(t) \sim t^{-1}$ and also the spontaneous creation of matter in the universe, but in a far more dramatic version than the gentle creation of individual hydrogen atoms homogeneously throughout the depths of the universe. He proposed that stars and nebulae might be formed spontaneously as whole bodies, at first as nuclear "droplets" with a maximum density corresponding to that of an atomic nucleus (given by $w = M/a^3$, where a is a smallest length, the classical electron radius). He considered a closed world model expanding uniformly with the speed of light, so that the radius grows proportionally with the epoch ($R = cT$). Such a model had been considered by Edward A. Milne within his so-called kinematic-relativistic cosmology and is allowed also by general relativity, but only in the case of an empty universe. Since Jordan wanted his cosmology to comply with Einstein's theory of general relativity, and since he never expressed any interest in Milne's alternative, there may seem to be a problem here. Jordan did not explicitly address the problem, but of course he realized that a cosmology with matter creation implied some modification of the field equations of general relativity.

Another problem for Jordan's cosmology, which it shared with Dirac's and most other cosmological models of the time, was the so-called age paradox, namely, that it led to an age of the universe which was smaller than that of the earth. In his theory of 1938, Dirac had briefly suggested that the problem might be solved by assuming radioactive decay to vary with the epoch, an idea which Jordan developed together with Fritz Houtermans. They assumed that β -emitters did not follow the ordinary decay law, but instead the expression

$$N(t) = N_0 \exp(-2k \sqrt{t})$$

¹⁵ Jordan 1937 (ref. 10), p. 515.

¹⁶ P. Jordan, "Zur empirischen Kosmologie," *Die Naturwissenschaften* 26 (1938), 417-421.

¹⁷ Jordan 1937 (ref. 10); Jordan 1938 (ref. 16); P. Jordan, "Bemerkungen zur Kosmologie," *Annalen der Physik* 32 (1939), 64-70; P. Jordan, "Über die Entstehung der Sterne," *Die Naturwissenschaften* 45 (1944), 183-190, 233-244.

If this was the case, radiometric dating by means of the rubidium-strontium method would have to be reinterpreted and might lead to a value of the age of the earth in agreement with cosmological theory.¹⁸ Still in 1964 Jordan found it possible that β -radioactivity might vary with time, whereas he maintained the temporal constancy of the other constants of nature (with the exception of G , of course).¹⁹ Since Dirac's original hypothesis of 1937 it had been occasionally suggested that the fine-structure constant might vary in time, but in 1939 Jordan argued that this was not the case²⁰ and he kept to the standard view of α = constant. Only very recently has it been discovered that the fine-structure constant does in fact vary with the cosmic epoch.²¹

The spontaneous creation of high-density bodies may seem to imply a gross violation of the law of energy conservation, but according to Jordan this was not the case, as he argued that matter creation was compensated by the expansion of the universe. For dimensional and numerical reasons he assumed that

$$\rho = (\kappa c^2 T^2)^{-1}$$

where κ is the Einstein gravitational constant, $\kappa = 8\pi G/c^2$. With $\mu = \rho R^3$ and $R = cT$, the expression can be written as $\kappa\mu = R$ or, apart from a factor 8π ,

$$\mu c^2 = G\mu^2/R$$

The same expression had been suggested by Haas in 1936.²² Jordan followed Haas in interpreting the left side as the mass-energy of all the particles in the universe, and the right side as the contributions of the particles to the negative gravitational energy of the universe. The mass increase is thus compensated by an increase in negative potential energy, leaving the total energy of the universe unchanged, namely, equal to zero.

Many years later, at the 1958 Solvay Congress, Fred Hoyle used the same argument in support of the very different kind of matter creation that occurs in the steady-state theory.²³ And again, after the standard big-bang model had been firmly established in the 1970s, the Haas-Jordan idea of a universe with zero net energy came to play an important role in the first generation of quantum creation cosmologies that eventually led

¹⁸ F. G. Houtermans and P. Jordan, "Über die Annahme der zeitlichen Veränderlichkeit des β -Zerfalls und die Möglichkeiten ihrer experimentellen Prüfung," *Zeitschrift für Naturforschung I* (1946), 125-130.

¹⁹ P. Jordan, J. Ehlers and W. Kundt, "Quantitatives zur Diracschen Schwerkraft-Hypothese," *Zeitschrift für Physik I* 178 (1964), 501-518.

²⁰ P. Jordan, "Über die kosmologische Konstanz der Feinstrukturkonstanten," *Zeitschrift für Physik I* 113 (1939), 660-662.

²¹ M. T. Murphy et al., "Possible evidence for a variable fine-structure constant from QSO absorption lines," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 327 (2001), 1208-1222.

²² A. E. Haas, "An attempt to a purely theoretical derivation of the mass of the universe," *Physical Review* 49 (1936), 411-412.

²³ F. Hoyle, "The steady state theory," 53-80 in *La Structure et l'Évolution de l'Univers* (Brussels: Coudenberg, 1958).

to the modern view of the inflationary universe. Physicists in this modern tradition have consistently ignored, or rather been unaware of, the early contributions of Haas and Jordan. Today the idea is usually credited Edward Tryon, who in a paper of 1973 essentially repeated the Haas-Jordan argument, without knowing that it had been proposed more than 35 years earlier.²⁴

Jordan was one of the very first scientists before the Second World War to subscribe to a version of the big-bang universe, an idea which in the 1930s was generally considered highly speculative, if not a flight of fancy, a *jeu d'esprit*. Jordan's world model was clearly inspired by Lemaître's fireworks model of 1931, and like his Belgian source it was finite in space as well as in time. However, contrary to Lemaître (but following Dirac), Jordan preferred to put the cosmological constant equal to zero. Although Jordan was strongly influenced by Dirac, he ended up with a world model that differed in important respects from that of his British colleague: Whereas Dirac argued in 1938 from the Large Number Hypothesis that space was flat and infinite, according to Jordan it was finite, that is, with a positive space curvature.

JORDAN'S DEVELOPMENT OF DIRAC'S THEORY

In 1944 Jordan elaborated his ideas in a paper in *Physikalische Zeitschrift*. However, because of the war it made no impact at the time and was scarcely known to people outside Germany. Jordan believed that the universe had come into existence some ten billion years ago, but not in an explosive event, such as in Lemaître's scenario, for initially there was no matter in the universe – no fireworks to explode. Matter, he explained, was formed along with the expansion. According to Jordan, the history of the universe could be traced back to a time when its radius was only one atomic length (about 10^{-15} m) and when it consisted of only one pair of newly created neutrons. As space expanded and the neutrons separated, the change in gravitational energy would be balanced by the creation of new matter. Ten seconds after the big bang, the universe would have grown to the size of the sun, though with a mass less than that of the moon. At this early time, so Jordan explained, the universe would consist of about 10^{12} stars of an average mass of 10^9 kilograms, and a supernova formed at that time would initially have a radius of only 1 mm.

One might think that Jordan's daring scenario of the very early universe was highly speculative, but somehow he convinced himself that it was in "satisfactory agreement with the epistemological requirements of positivism." He contrasted his own, methodologically satisfactory picture with Lemaître's alternative of a pre-existing primordial atom which, Jordan thought, necessarily led to the meaningless question of a causal mechanism for the initial explosion. Of course, Jordan's picture of the creation of the material universe also differed from the theory that George Gamow and his collaborators began to develop at the same time, a theory that in a qualitative sense relied on Lemaître's and which eventually would become accepted as the basis of the correct theory of the early universe.

²⁴ E. Tryon, "Is the universe a vacuum fluctuation?" *Nature* 246 (1973), 396-397. For the continuing appeal of the idea, see, e.g., James Overduin and Hans-Jürgen Fahr, "Vacuum energy and the economical universe," *Foundations of Physics Letters* 16 (2003), 119-125.

As he developed his ideas in the 1940s, Jordan extended his cosmological theory into the realm of astrophysics.²⁵ For example, he noticed that the heaviest stars have a mass of about 10^{60} nucleon masses, which he interpreted as the $3/2$ power of the cosmic epoch in Dirac's atomic units. From this he suggested that the stellar mass would increase in time as $M_* \sim t^{3/2}$, not in the sense that a star continuously became heavier, but in the sense that the later a star was formed the heavier it would be. He consequently suggested that the upper limit of stellar masses was a consequence of cosmology and not, as generally accepted, the result of astrophysical laws. Naturally, this claim did not help making his theory acceptable to the majority of astrophysicists.

In order to incorporate increasing stellar masses in a consistent way in his theory, Jordan was led to postulate the spontaneous creation of entire stars *ex nihilo* in such a way that the concentrated droplets of nuclear matter would first appear as supernovae and subsequently turn into ordinary stars. Moreover, he found that the rate of stellar creation per galaxy would proceed as $t^{1/4}$, and from this he deduced a rate of supernova formation of about 1 supernova per galaxy per year. But, as Hermann Bondi pointed out in 1952, this figure is more than 100 times as large as the observed rate and hence, Bondi concluded, "the theory must be false."²⁶ Jordan was aware of the flagrant discrepancy and sought to explain it within the framework of his theory, but most astronomers and physicists considered his explanation to be grossly ad hoc, as explaining away an anomaly rather than explaining it. The criticism of Bondi and others was one more reason why Jordan's theory was not highly regarded by mainstream astrophysicists.

Jordan's theory became known in the West at about the same time as Bondi, Tommy Gold, and Fred Hoyle proposed their steady-state theory as a powerful alternative to the evolution cosmologies based on the Friedmann-Lemaître equations. Since both theories, Jordan's and the steady-state theory, operated with matter creation they were sometimes mixed up or taken to be related.²⁷ Indeed, to the extent that textbooks and surveys in cosmology from the 1950s dealt with Jordan's theory at all, it was often presented in a final chapter on "Heterodox theories" which typically included also Dirac's theory and steady-state cosmology. However, in reality the two theories were entirely different and the only thing they had in common, spontaneous creation of matter, only constituted a superficial similarity. Yet, in a paper in *Nature* of 1949 in which Jordan for the first time presented his theory to an English-reading audience, he judged the steady-state theory in a favourable light and tended to emphasize its resemblance to his own theory. Apparently he hoped that his old view of matter creation might now receive the serious attention that it deserved.²⁸ On the other hand, the steady-state theorists would have nothing to do with Jordan's theory and did their best either to ignore it or stress the dissimilarities, such as Gold did in a sharp reply to Jordan's 1949 paper.²⁹

²⁵ Jordan 1944 (ref. 17) and elaborated in P. Jordan, *Der Herkunft die Sterne* (Stuttgart: Hirze, 1947)

²⁶ H. Bondi, *Cosmology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1952), p. 164.

²⁷ H. Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton: Princeton University Press, 1996), pp. 396-397.

²⁸ P. Jordan, "Formation of stars and development of the universe," *Nature* 164 (1949), 637-640.

²⁹ T. Gold, "Creation of matter in the universe," *Nature* 164 (1949), 1066.

EVALUATION OF JORDAN'S THEORY

If one tries to evaluate the impact of Jordan's theory on the development of modern cosmology, one can hardly avoid the conclusion that it was of little significance only. In part this must be ascribed to external circumstances, and in part to internal aspects of the theory and its relation to observations. Jordan's pre-war publications were little more than a reformulation and extension of Dirac's discredited cosmology, and because of the war his more elaborate theory was scarcely known outside Germany before the late 1940s. When it finally did become known, it failed to attract much attention in an environment which was dominated by the controversy between big-bang theory à la Gamow and the new rival steady-state theory. It was as if there was no room for a third contender in the increasingly polarized debate over the world picture.

Moreover, whereas both the steady-state theory and the big-bang evolution theory led to testable predictions, most experts found that this was not the case with Jordan's theory; or, if it did lead to such predictions, that these disagreed with observations, such as was the case with the predicted frequency of supernovae. Ironically, whereas Jordan claimed that his theory was thoroughly empirical, most other cosmologists found it to be speculative, a priori and based on arbitrary assumptions of a numerological nature. In a book of 1950, the French astronomer Paul Couderc concluded that Jordan's theory was "of undeniable elegance, and ... suggests a simple and brilliant interpretation of the expansion."³⁰ But his positive evaluation was a single voice.

Still, the over-all negative evaluation of Jordan's theory did not mean that it ceased to exist after 1950, only that it was developed into new forms and now became the basis of a local research programme studied by a group of German theorists. The ever-critical Pauli apparently came to see some advantages in Jordan's cosmological theory based on a variable gravitational constant. In a letter to Jordan of 1952, he referred approvingly to the theory as expounded in *Schwerkraft und Weltall*. Pauli called the Dirac-Jordan idea "a natural one", but also added that he would refrain from offering his opinion as to whether the theory corresponded to physical reality.³¹

As early as 1948, Jordan suggested a five-dimensional unified relativity theory of the Kaluza-Klein type to accommodate cosmic matter creation,³² and during the following years he and his collaborators studied in detail the equivalent four-dimensional theory.³³ This work led to a large variety of cosmological models and also to consequences for

³⁰ P. Couderc, *The Expansion of the Universe* (London: Faber and Faber, 1952), p. 225.

³¹ Karl von Meyenn, ed., *Wolfgang Pauli. Wissenschaftlicher Briefwechsel*, vol. IV, part I (Berlin: Springer, 1996), p. 737. Engelbert Schücking, "Jordan, Pauli, politics, Brecht, and a variable gravitational constant," *Physics Today* (October, 1999), 26-31.

³² P. Jordan, "Fünfdimensionale Kosmologie," *Astronomische Nachrichten* 276 (1948), 193-208. A suggestion to explain steady state creation of matter by five-dimensional theory was made in V. A. Bailey, "The steady-state universe and the deduction of continual creation of matter," *Nature* 184 (1959), 537. Bailey's suggestion was never developed into a proper theory, such as was the case with Jordan's theory.

³³ P. Jordan, "Vierdimensionale Begründung der erweiterten Gravitations-Theorie," *Akademie der Wissenschaften und der Litteratur in Mainz, Math.-Nat. Klasse* (1950), 319-334. D. R. Brill, "Review of Jordan's extended theory of relativity," 50-68 in C. Møller, ed., *Evidence for Gravitational Theories* (New York: Academic Press, 1962).

observable quantities, such as the Hubble constant and the redshift-magnitude relations, not to mention geophysical consequences. Although the *Fünfdimensionale Kosmologie* that Jordan proposed in 1948 did not lead to new physical insight, it may be seen as an anticipation of the much later interest in many-dimensional string theories which physicists are currently studying in order to understand the very early universe.

To conclude, what is or should be the verdict of history of Jordan's adventure into cosmology? From one point of view, it was clearly a blind alley, a daring but failed attempt that did not succeed in making much of a mark on the development that led to modern cosmology. From this point of view, it merits only little attention. However, if we look at it from a more contextual, a more local and a more biographical point of view, the verdict will be different. After all, Jordan spent a large part of his scientific resources on developing theories of cosmology and astrophysics, which for more than twenty years was his main scientific concern. His efforts did have an impact on German theoretical physics and astronomy in the decades after the end of World War II. In brief, in a biographical account of Jordan's scientific life, cosmology must loom high, and not necessarily lower than his seminal, and scientifically much more fruitful, contributions to quantum theory.

Ernst Pascual Jordan als Autor wissenschaftlicher und allgemeinbildender Schriften

Wolf D. Beiglböck
Universität Heidelberg, Institut für Mathematik
Im Neuenheimer Feld 288 D-69120 Heidelberg
wbeigl@math.uni-heidelberg.de

Geboren am 18. Oktober 1902 ist Ernst Pascual Jordan nahezu jahrgangsgleich mit Werner Karl Heisenberg (1901), Paul Adrien Maurice Dirac (1902), Wolfgang Ernst Pauli (1900), Eugene Paul (Jenö Pal) Wigner (1902) und Johann (Jancsi) von Neumann (1903). Diese damals noch jungen Leute haben 1925 die Suche nach einem besseren Verständnis der „tiefen Geheimnisse der Quantenphysik [1]“ auf eine neue theoretische Grundlage gestellt. Man sprach von der „Knabenphysik“. Jordan schreibt 1952 von einer „Jugend, die Epoche machte“. Es handelte sich um eine radikale Abkehr von den mathematischen Methoden und den Erkenntniswegen der bisherigen, heute klassisch genannten, Physik. Aus diesen Anfängen wurde die Quantentheorie und aus den Knaben wurden ihre Väter. Alle genannten Physiker sind durch den wertvollsten aller Physikpreise, durch Gesammelte Werke und durch Biografien geehrt worden – bis auf Jordan. Seine unmittelbare Beteiligung an den frühen Entwicklungen der Quantenphysik erfährt erfreulicherweise zunehmende Würdigung [2], aber eine umfassendere Behandlung seiner gesamten wissenschaftlichen Leistung und seiner Wirkung als Vermittler wissenschaftlicher Erkenntnisse in der breiten Öffentlichkeit steht noch aus.

Das im zweiten Teil dieses Essays vorgelegte Schriftenverzeichnis Jordans soll einem solchen Vorhaben den Boden bereiten. Im ersten Teil soll dieses Verzeichnis in knapper Form annotiert werden. Eine tiefere Untersuchung seines Werkes wird hier nicht versucht. Auch eine biografische Studie zu Pascual Jordan ist an dieser Stelle nicht beabsichtigt, wiewohl Hinweise auf seine Vita nicht ganz unterbleiben dürfen. So etwa der Hinweis, dass Jordan wenig Berührung mit den jüngeren Quantenmechanikern hatte, wohl aber stark beeinflusst war von den eine Generation älteren. Besonders beeindruckt hat ihn sein Lehrer Max Born (*1882), der nebst seinen Eltern den „nachhaltigsten, tiefsten Einfluss“ auf sein Leben hatte [3]. Dann Albert Einstein (*1879), dem er eine wissenschaftliche Biografie gewidmet hat, James Franck (*1884), mit dem 1926 er ein Buch zu experimentellen Quantenuntersuchungen veröffentlicht hat, und natürlich Niels Bohr (*1885), auf den er sich vor allem in seinen Studien zu den außerphysikalischen Konsequenzen der Quantenrevolution in Philosophie, Biologie und Psychologie beruft. Die Auseinandersetzung mit den Gedanken von Erwin Schrödinger (1887) und Louis Victor Raymond de Broglie (1892) war Bestandteil seiner Arbeiten zur tieferen Begründung der Quantentheorie und bereitete den Boden für seine feldtheoretischen Studien.

Jordans nachhaltigste wissenschaftliche Leistung ist sein Beitrag zur Schaffung der neuen Quantenmechanik. Er hat aus erster Hand mitgestaltend erlebt wie das klassische Weltbild der Physik, das der Atomtheorie seiner Studentenzeit noch zugrunde gelegen ist, durch ein radikal neues in kürzester Zeit ersetzt worden ist. Ein Zeitzeugnis für die schnelle

Entwicklung der Quantentheorie und dafür, wie Jordan in die Sache hineingewachsen ist, kann man im Entstehen von Max Borns Lehrbüchern, die zwischen 1925 und 1930 erschienen waren, zu diesem Gegenstand sehen. Darüber soll jetzt berichtet werden als eine kontrapunktische Begleitung zu Jordans Schriften aus denselben Jahren. Jordan war Student in Göttingen als Max Born seine Vorlesung zur Atommechanik gehalten hatte. Was dann geschehen ist, soll aus der Sicht von Borns Verleger unter Benutzung der Verlagskorrespondenz [4] geschildert werden.

Am 1. 4. 1924 schreibt Born seinem Verleger Ferdinand Springer, dass er seine „erweiterte Darstellung von einer Vorlesung, die ich im letzten Wintersemester [gemeint ist das WS 1923/24] gehalten habe“ wegen der Fülle des Stoffs in zwei Teile teilen muss. Er erbittet zunächst einen Vertrag für den 1. Band, der am 4. 4. 1924 ausgefertigt und Born zugeschickt wird. Vorläufiger Titel „Atommechanik“ (1. Band), abzuliefern spätestens 1. Januar 1925, Honorar 22,5 % vom buchhändlerischen Nettopreise ... für jedes verkaufte Exemplar. Bereits am 14. Juli 1924 adressiert Born das fertige Manuskript der *Vorlesungen über Atommechanik* an die Verlagsbuchhandlung Julius Springer und schreibt dazu: „Es wäre mir lieb, wenn der Druck sofort beginnen könnte, damit das Buch am Anfang des Wintersemesters (November) vorliegt. Bei der rasend schnellen Entwicklung der Wissenschaft können sonst einzelne Teile schon beim Erscheinen veraltet sein.“ Das Buch wird Anfang 1925 „herausgegeben unter Mitwirkung von Friedrich Hund“, damals Borns Assistent in Göttingen. Im Vorwort findet man den Satz: „Wie [die Himmelsmechanik] den Teil der theoretischen Astronomie abgrenzt, der die Berechnung der Bahnen der Himmelskörper nach den mechanischen Gesetzen zum Gegenstand hat, so soll [der Titel Atommechanik] zum Ausdruck bringen, daß hier die Tatsachen der Atomphysik unter dem besonderen Gesichtspunkt der Anwendung mechanischer Prinzipien behandelt werden.“ Es wird sogleich nach Erscheinen durch Pauli in *den Naturwissenschaften* besprochen. Pauli findet gute Worte für den ersten Teil („willkommenes Nachschlagewerk“), meint aber dann „im Hinblick auf die Grundlagen für die wahre Quantentheorie“:

„Möchte das Werk selbst das Entstehen einer einfacheren und einheitlicheren Theorie der Atome ... beschleunigen, von deren heute noch sehr ungeklärtem Charakter die Darstellung des [Vierten Kapitels: Störungstheorie] dem Leser ein deutliches Bild gibt.“ [5]. Im Winter 1925/26 ist Born in den Vereinigten Staaten, am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge. Von Boston schreibt Born am 23. 12. 1925 an Ferdinand Springer:

„Meine Vorlesungen hier muß ich immer sofort ausarbeiten, dann werden sie gleich gesetzt; das Buch soll gleich nach meiner Abreise erscheinen, im Selbstverlag der Hochschule...dabei behalte ich mir das Übersetzungsrecht in alle Sprachen und die späteren Auflagen als Eigentum vor. Das deutsche Manuskript mache ich zugleich mit dem englischen; ich werde es voll fertig Anfang April mitbringen. Ein Dr. Müller hilft mir, es druckfertig zu machen. Titel: *Probleme der Atomphysik*“.

Am 18. 1. 1926 schickt Ferdinand Springer den Vertrag mit Übergabetermin bis spätestens 1. Mai 1926, zum Bogenhonorar RM 250.- zahlbar sofort nach Fertigstellung des Werkes. Am 15. 2. 1926 kündigt Born das Manuskript als Postsendung aus Amerika an und schreibt: „Sollten Sie es wirklich drucken wollen, so bitte ich es recht schnell zu erledigen, damit es nicht inzwischen zu sehr überholt wird. Einige Ergänzungen kann ich ja während der Korrektur anfügen.“ Hans Müller schickt es am 4. März 1926 ab. Statt einer Rezension zitieren wir hier aus einem Briefgutachten (Eingangsstempel des Verlags: 18. 2. 1926) von Richard Courant, der auch Franck um seine Meinung gefragt hatte:

„Wir neigen beide zu der Auffassung, dass wahrscheinlich ein Druck der Vorträge sich auch verlegerisch durchaus lohnen könnte, wenn auch tatsächlich vielleicht für den zweiten Band der Atommechanik eine gewisse Konkurrenz zu befürchten ist. Es ist aber nicht ganz ausgeschlossen, dass infolge der Fortschritte, welche die ganze Theorie gerade in den allerletzten

Monaten unter den Händen der Born'schen Mitarbeiter gemacht hat, während Born von ihnen getrennt war, doch die Gefahr besteht, dass das Manuskript schon jetzt in manchem überholt ist. Deshalb raten wir Ihnen, vor Beginn der Drucklegung das Manuskript an ... Hund zu senden.“

Hund schreibt am 25. 3. 1926 an Springer, „...und bin der Meinung, dass sich seit Fertigstellung im Januar die Ansichten über die behandelten Dinge in keiner Weise wesentlich geändert haben und dass der Inhalt der Vorlesungen heute genau wie damals den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Atomdynamik darstellen.“ Und er fügt noch hinzu: „Die Vorlesungen enthalten in Vorl. 10 – 20 die einzige bisher vorhandene zur ersten Einführung geeignete Darstellung der neuen Quantenmechanik...Aber es ist zu beachten, dass der zweite Band von Borns Atommechanik eine umfangreichere und systematische Darstellung dieser Dinge bringen wird.“ Born selbst nennt es später „wohl das erste Buch über Quantenmechanik“ [6]. Aber schon am 12. April 1926 schreibt der gerade zurückgekehrte Autor seinem Verleger: „Meine Befürchtung, dass der Inhalt z. Teil durch neuere Arbeiten überholt sein würde, sind durch die Ereignisse noch übertroffen worden. Die neue Quantentheorie entwickelt sich mit rasender Schnelligkeit.“ Und am 19. 4. 1926 legt er nach: „Fast alle Probleme, die ich in meinem Vortrage in Boston noch als ungelöst hinstellte, sind inzwischen von meinen Mitarbeitern und mir gelöst worden, ... Ich musste daher den § 9 der ersten Serie ganz kassieren und dafür einmal an das Ende von dem § 8 einen neuen Schluss anfügen, sodann einen ganzen Paragraphen (ich glaube Nr. 19) hinzufügen.“ Er hatte nicht geahnt, „dass der Fortschritt unserer neuen Quantenmechanik so stürmisch sein werde.“ Das alles liest sich im Vorwort zur englischen Auflage so: Dass zu Beginn der Vorlesung am MIT „gerade die erste Arbeit HEISENBERGS erschienen [war], in der er mit genialem Griff der Quantentheorie eine neue Wendung gab; die Arbeit von Jordan und mir, ..., war im Druck, und eine dritte Arbeit von uns dreien gemeinsam im Manuskript nahezu fertig“. Im übrigen seien die in der englischen Ausgabe gedruckten Vorlesungen ohne nachträgliche Ergänzungen niedergeschrieben worden. Das war am 22. 1. 1926. Der deutschen Ausgabe gibt er am 21. 4. 1926 ein neues Vorwort bei und sagt: „In der kurzen Zeit zwischen dem Ende meiner Cambridger Vorlesungen und der Drucklegung der deutschen Ausgabe hat sich die neue Quantentheorie so entwickelt, daß es mir nicht angängig erschien, die neuen Resultate unberücksichtigt zu lassen“. Allerdings müssten Schrödingers Resultate auch in diesem Buch „unberücksichtigt bleiben“. Am Ende dieses Vorworts dankt er Jordan für die Hilfe bei den Umarbeitungen und den Korrekturen.

Am 16. Januar 1928 liest Springer den lang erwarteten Satz: „Ich schreibe gemeinsam mit Jordan den zweiten Band meines Buches „Atommechanik“ ...“ Am 10. 2. 1928 informiert Born seinen Verleger, dass Scheel ihn um ein „kleines Büchlein zur Wellenmechanik“ für die Sammlung Vieweg gebeten hat. Er habe abgelehnt, „da ich selbst im Begriff bin, ein Buch über diesen Gegenstand zu schreiben“ und fügt hinzu: „Ich selbst rechne mit der Fertigstellung des grösseren Buches auf eine Zeit von 1 1/2 - 2 Jahren. Dabei werde ich von den besten Kennern der Sache unterstützt, nämlich von Jordan, Pauli, v. Neumann, Wigner, Heitler, Ehrenfest. Alle diese schreiben mir einzelne Abschnitte und helfen mir in der Anordnung des Ganzen.“ Er schlägt dem Verleger vor, das Buch als Lieferung einzelner Teile beschleunigt zu veröffentlichen. „In diesem Falle könnte die erste Lieferung „Matrizenmechanik“ schon in diesem Sommer erscheinen und jede folgende ein halbes Jahr später.“ Als Teile dieses grösseren Buches gibt Born in diesem Schreiben vom Februar 1928 an: „1.) Matrizenmechanik, 2.) Wellenmechanik, 3.) Allgemeine Quantenmechanik, 4.) Quantenelektrodynamik, 5.) Quantenstatistik.“ Ferdinand Springer erklärt sich in zwei Briefen am 13. und 14. 2. 1928 mit den Einzellieferungen, fortlaufend paginiert, einverstanden und empfiehlt, „zugleich mit Erscheinen der letzten Lieferung den ganzen II. Band korrigiert herauszugeben. Dazu muss erst die Notwendigkeit einer 2. Auflage ... gegeben sein.“ Autor und Verleger haben ihre Lektion gelernt und meinten der schnellen Entwicklung der Quantenwissenschaft jetzt das geeignete verlegerische Mittel entgegengesetzt zu haben. Aber noch am 14. 2. 1928 antwortet Born hinsichtlich der

Durchpaginierung: „...aber Herr v. Neumann, der den Hauptteil der dritten Lieferung zu machen hat, scheint Wert darauf zu legen, dass sein Anteil recht bald herauskommt.“ Und in der Tat laufen die Dinge und die Mitarbeiter auseinander. Born meldet am 19. 4. 1928 an Springer „...nach Fertigstellung von 4 Kapiteln [von Borns 1. Lieferung] hat sich aber gezeigt, dass noch weitere 3 nötig sind...“, und außerdem „...wird dieser Teil allein 300 – 400 Druckseiten, also als „Lieferung“ zu lang“. Folgerichtig fügt er gleich an: „Es muss wohl als Band 2 meiner Atommechanik erscheinen. Wenn er fertig ist, soll dann die Wellenmechanik und tiefer dringende Untersuchungen aus meiner Schule in einem weiteren Bande dargestellt werden.“ Am 22. Oktober 1928 erfährt der Verleger, dass 6 Kapitel „nahezu fertig sind, ... Das 7. dagegen, das mein Mitarbeiter Jordan bearbeitet, wird sich noch etwas länger hinziehen...“ Und weiter: „Da es sich um ein ganz neues Gebiet handelt, für das keinerlei Vorlagen vorhanden sind, ...“ werden weitere Verzögerungen angekündigt; das neue Gebiet ist die Quantentheorie des Lichts. Inzwischen erscheint Hermann Weyls Buch [7]. Born erkrankt mit schwerer Erschöpfung, weswegen „mein Mitarbeiter Dr. Jordan .. die Bearbeitung des Schlussteils fast allein besorgen“ muss (Brief von Born an Springer vom 28. 4. 1929). Am 8. bzw. 12. Juni 1929 haben Born und Jordan, der gerade aus Charkow in Russland zurückkommt, einen neuen Verlagsvertrag unterschrieben; dort „die Herren Verfasser genannt“. Diesmal ist die Ablieferung „bis spätestens 1. Aug. 1929“ verabredet und bei Erscheinen bekommt jeder ein Bogenhonorar von RM 100.-. Als Titel scheint jetzt *Elementare Quantenmechanik* auf. Am 23. Juli meldet Born dem Verlag eine Erkrankung Jordans und am 16. 9. 1929 deutet er weitere fachlich bedingte Hürden an: „Aber es ist wirklich eine schwierige Sache: lauter neue Überlegungen, wenig ausgereift und sehr schwer. Dann bin ich mit den Nerven noch gar nicht in Ordnung und auch Jordan ist am Ende des Sommer-Semesters ganz zusammengeklappt. Zudem sitzen wir an verschiedenen Orten ...“ Endlich ist aber alles überstanden: Am 9. Januar 1930 bekommt Jordan ein Schreiben von Ferdinand Springer: „In einer besonderen Sendung übermittle ich Ihnen heute ein gebundenes Exemplar des Buches...“ Die Sendung geht nach Rostock.

Diese Geschichte zeigt aus dem Blickwinkel seines Verlegers wie sehr sich der als Lehrer zurecht gerühmte Max Born bemüht hat, die wachsende Literatur zu den „Geheimnissen der Atomphysik“ [1] zu entwirren und in einer für alle verständlichen Form lehrbuchartig darzustellen. Man soll aber auch die angegebenen Briefstellen vergleichend neben das im Anhang gegebene Literaturverzeichnis Pascual Jordans und an seine Erinnerungen [1] halten. Jordans wichtige Beiträge zur Quantenphysik sind in dem oben beschriebenen Zeitraum entstanden. Die Korrespondenz spiegelt wider, wie seine und Borns Zusammenarbeit immer enger wurde: Er hat als Student vermutlich die Vorlesung des Wintersemesters 1923/24 bei Born gehört, wurde dann sein Mitarbeiter und schließlich Mitautor. Beruflich war dazu parallel der Werdegang: Assistent in Göttingen, Dozent in Hamburg und Professur in Rostock. 1931, das Jahr nach dem Erscheinen des Buches, zeigt keine Einträge in der Bibliografie. Unsere Geschichte ist eine fast tragische innere Spiegelung äußerer Ereignisse, die man mit Recht als die größte Umwälzung in der theoretischen Physik neben der Mathematisierung der Mechanik durch Newton und der Formulierung der klassischen Feldtheorien, wofür beispielhaft Maxwell genannt werden soll, empfindet.

Die Geschichte hat noch ein Nachspiel. Hat Pauli, der als 21jähriger mit Born an dem Störungsverfahren im ersten Band gearbeitet hatte, in der oben angesprochenen Rezension schon subtil, mit Blick auf das negative Ergebnis seiner Anwendung durch Born und Heisenberg auf das Heliumatom, gegen die alten Ansätze zu einer damals noch mit mechanischen Bahnen operierende Quantentheorie gestichelt, so wird er in seiner Rezension der *Elementaren Quantentheorie* [5] noch bissiger:

„So sehr auch dieser Plan des Buches [sich algebraischer Mittel zu bedienen und die Benutzung von Differentialgleichungen möglichst zu vermeiden] als mathematischer Versuch interessant ist, so hat er doch zunächst zur Folge,

dass das Buch infolge des notwendig einseitigen Bildes, das es von der Theorie entwirft, nur für einen ganz kleinen Kreis von Lesern (zu denen sich auch der Referent rechnet) von irgendwelchem Nutzen sein kann.“

Und dann führt er an, dass nicht nur viele Resultate der Quantentheorie mit diesen Methoden nur unbequem abgeleitet werden können, sondern dass diese sogar „hemmend gegen die Einsicht in die Tragweite der Theorie“ sind [5]. Born ist gekränkt und schreibt am 25. Oktober 1930 an seinen Verleger, Londons Besprechung habe ihn besonders gefreut „im Gegensatz zu einer Besprechung durch Pauli in den Naturwissenschaften, der mit bekannter Bosheit nur die Schwächen hervorhebt. (Ich habe nicht begriffen, warum Berliner diese unsachliche Kritik aufgenommen hat.) Ich weiss selbst genau, das Buch wäre viel besser geworden, wenn ich nicht erkrankt wäre und wenn Jordan nicht nach Rostock gekommen wäre.“ [4]. Etwa im Sommer 1965 modifiziert er: „Die Arbeit an dem 2. Band dauerte mehrere Jahre. Inzwischen erschien Schrödingers Wellenmechanik und eroberte sich die Zuneigung der theoretischen Physiker ... Jordan und ich aber waren überzeugt, daß unser Weg der bessere war ... Wir waren der Meinung, daß der von Heisenberg eröffnete Weg tiefer dringe...“ und schließlich: „Jordan und ich sahen in der Quantenmechanik, wie sie von uns in Göttingen und unabhängig von Dirac in Cambridge entwickelt wurde, die Durchführung von Bohrs Korrespondenzprinzip; darum ist unser Buch Niels Bohr gewidmet. Wir planten einen weiteren Band, ...der die Wellenmechanik behandeln und an ihre richtige Stelle verweisen sollte...“ Er erinnerte sich Paulis Kritik, „die geradezu vernichtend war,“ aber meint: „Unser altes Buch wird [wegen der Schwierigkeiten der Quantenfeldtheorie] wohl eine Renaissance erleben“ [8]. 1975 liest sich das dann so: „Da Heisenberg Göttingen verlassen hatte, verfasste ich [den 2. Band] in Zusammenarbeit mit Jordan... Angestiftet von einer Art >Lokalpatriotismus< beschlossen wir, nur die Matrizenmethode anzuwenden und nicht nur die Wellenmechanik zu verwerfen, sondern auch Diracs Methode...“ und weiter „Diese unsere Fehleinschätzung kann ich auch heute nicht verstehen. Ich erinnere mich dunkel, dass Jordan sich sehr auf diese Beschränkung der Methode versteifte, da er die Matrizenmethode für tiefergehend und grundlegender hielt, aber das entbindet mich nicht von meiner Verantwortung“ [9].

Was hier Nachspiel genannt worden ist, zeigt einerseits wie tief Born durch Paulis Kritik getroffen worden war, aber es macht andererseits deutlich wie Born wieder und wieder auf diesen Punkt zurückkommt, selbst noch im fünfzigsten Jubiläumsjahr der Quantenmechanik, und dabei sich mehr und mehr bemüht, seine Rolle gegenüber der Jordans abzugrenzen [10]. Jordan hat in der fraglichen Zeitspanne zu Schrödingers Wellentheorie ein distanzierendes Verhältnis, das er Zeit seines Lebens beibehielt und das im Kern darin begründet ist, dass er den Mathematiker und den Philosophen in sich nicht zur vollständigen Deckung bringen konnte. Seine Einstellung war, kurz gefasst, diese: Zum Rechnen ist die Wellentheorie hervorragend geeignet, zum wirklichen Verständnis der Theorie eignet sich aber nur die Göttinger Version der Quantentheorie [11].

In Jordans Schriftenverzeichnis finden wir zwischen 1924 und 1930 ausschließlich Arbeiten zur Quantenphysik. Es sind darunter die Arbeiten, die Jordans Ruhm als Mitbegründer der neuen Quantentheorie erklären. Die Born – Jordan Formel, die den Kommutator $[P, Q]$ in eine direkte und universelle Proportionalität zu h setzt, beendet eine ein viertel Jahrhundert andauernde Diskussion um die Bedeutung von Max Plancks Wirkungsquantum h und weist ihm mit kristallener Klarheit seine Rolle im Zentrum der neuen Physik zu. Obwohl Anklänge schon in der Dreimännerarbeit erkennbar sind, sind es erst Jordans eigene Untersuchungen 1926/27 zur sogenannten „statistischen Transformationstheorie“, die die Quantenmechanik als ein Ganzes erkennbar machte, unter dem man die damals gängigen verschiedenen Ansätze subsummieren konnte. Unter den kundigen Händen der Hilbertschule ist der mathematische Gehalt präzisiert worden und heute ist die Theorie der Operatoren auf Hilberträumen zur Sprache der Quantenphysik geworden. Erst nach Jordans Tod ist zunehmend bekannter geworden, welche wichtige Pionierarbeit er für die Feldtheorie geleistet hat. Er selbst berichtet 1929 über das bis dahin

Geleistete auf der Konferenz in Charkow unter dem Titel „Der gegenwärtige Stand der Quantenelektrodynamik.“ Die Jordanschen Untersuchungen zur Transformationstheorie und zur Quantenelektrodynamik sind in erstaunlichem zeitlichen Gleichschritt auch von Dirac mit unabhängigen Methoden gemacht worden. Bemerkenswert ist noch, dass er als mathematischer Physiker James Franck bei der Abfassung eines primär experimentell-physikalischen Buchs geholfen hat. Diese Aufgabe hat er am 1. Oktober 1924 übernommen [4], also als die Atommechanik (1. Band) in Arbeit war, und erschienen ist die *Anregung von Quantensprüngen durch Stöße* 1926, so dass die neue Quantentheorie wenigstens noch in die Einleitung rutschen konnte [12].

In der fraglichen Zeitspanne hat Jordan auch für ein breiteres Publikum in *den Naturwissenschaften* geschrieben. Hervorzuheben ist seine 1928 veröffentlichte Hamburger Antrittsvorlesung „Der Charakter der Quantenphysik,“ die seinen Ruf als Philosoph unter den Physikern begründet [13]. Es geht dabei um die seiner Auffassung nach unausweichliche Veränderung der erkenntnistheoretischen Auffassung der Physik, die durch die neue Quantenphysik erzwungen wird. Man liest: „Die heutige Quantenmechanik enthält eine ausdrückliche Absage an das Kausalprinzip in seiner klassischen Form.“ Und weiter: „Zweitens [erweist sie] die logische Entbehrlichkeit [dieses Prinzips] im System der Physik. Man kann wirklich ein folgerichtiges und lückenlos in sich geschlossenes physikalisches Begriffssystem entwickeln, in welchem die Kausalität keinen Platz findet; ...“ Planck soll in einem Brief an Lorentz im Dezember 1925 geschrieben haben, dass er in der Dreimännerarbeit hoffnungsvolle Zeichen sähe, dass hier die Quantentheorie nach vielen Enttäuschungen sich in ein Gesamtbild einfüge [14]. Sätze wie die eben zitierten haben dazu beigetragen, dass der Entdecker des Wirkungsquantums ein Kritiker der neuen Theorie blieb. Jordans Antrittsvorlesung ist ein wichtiges Dokument zur sogenannten Kopenhagener Deutung der Quantenphysik.

Die „Atommechanik“ steht symbolhaft für die wichtigste Periode in Jordans Laufbahn. Es ist die Zeit seiner Zusammenarbeit mit den eingangs erwähnten jungen Pionieren der Quantentheorie, aber noch viel mehr die Zeit an der Seite seines Lehrers Max Born. Als Student hat er ihn vielleicht in der erwähnten Vorlesung im Wintersemester 1923/24 näher kennen gelernt und bei Erscheinen des 2. Bandes hat er gerade seine Professur in Rostock übernommen gehabt [15], und damit Göttingen endgültig hinter sich gelassen. Oben ist Jordans Verehrung für seinen Lehrer schon angesprochen worden. Aber Jordans Publikationsliste und die oben zitierten Dokumente weisen darüber hinaus auf eine ungemein enge und kongeniale Zusammenarbeit dieser beiden Männer im Bereich des Wissenschaftlichen, die auch durch gelegentliche längere Perioden räumlicher Trennung nicht aus dem Tritt gekommen ist. Seine Freude am Schreiben von Büchern und popularisierenden Artikeln muss, so zeigt es ein Blick auf Borns schriftstellerisches Lebenswerk, in diesem Umfeld sich entwickelt haben. Wir haben in einiger Ausführlichkeit zu Jordans annus mirabilis berichtet und wenden uns jetzt in seinen weiteren Schriften zu.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt umfasst das Schriftenverzeichnis Pascual Jordans mehr als 550 Einträge, die ich nach und nach zusammengetragen und größtenteils anhand der Dokumente selbst auf Genauigkeit und Richtigkeit der Quellenangaben geprüft habe. Die zur Zeit vorliegenden Hinweise machen es klar, dass weitere Ergänzungen – hauptsächlich hinsichtlich populärer Schrift, weniger zum wissenschaftlichen Werk – kommen werden. Jordan selber hat in seinen Arbeiten wenig und oft ungenau zitiert. In seinem Nachlass befindet sich kein auch nur annähernd brauchbares Verzeichnis seiner Veröffentlichungen. Andere mir zugänglich gemachte Verzeichnisse sind ebenso unvollständig wie leider auch fehlerhaft in der genauen Zitierung [16]. Am 9. Juni 1979 schickt Jordan, wohl auf dessen Anfrage, an Wigner, der ihn für den Nobelpreis vorschlagen will, eine Vita und eine „List of publications“, die gut 80 Einträge hat [17]. Diese Liste ist deshalb erwähnenswert, weil man daraus vielleicht schließen möchte, was Jordan am Ende seines Lebens von seinem schriftlichen Nachlass als besonders wichtig erschienen ist. Ein grober Überblick über Jordans Schaffen soll aufgrund der jetzt vorliegenden Liste versucht werden. Es ist ein

Überblick und keine kritische Würdigung, und schon gar nicht ist er als Wertung von Jordans Ansichten gedacht.

In der schon besprochenen Periode 1924 – 1930: Entstehung der Quantenmechanik. Frühe Quantenfeldtheorie findet man Jordans Beiträge zur Matrizen- und Vektortheorie und seine abschließende Formulierung der Quantenmechanik, sowie Untersuchungen zur Interpretation der neuen Theorie, und die bahnbrechenden Arbeiten zur Quantenelektrodynamik. Auf diese Studien, die zum Teil mit Klein, Pauli und Wigner gemacht werden, ist Jordan zeitlebens stolz gewesen. Nicht nur die Zeitgenossen, auch Wissenschaftshistoriker haben lange diese Leistung unterschätzt.

Die zweite Periode 1933 – 1939: Ausbau der Quantenfeldtheorie setzt die Untersuchungen von 1928, die Heisenberg und Pauli 1929 und 1930 zu einem ersten Abschluss der Feldquantisierung gebracht hatten, thematisch fort.

Bei Jordan, der bekannt für seinen Fleiß und sein schnelles Schreiben ist, fällt hier die zeitliche Lücke zwischen den genannten Schaffensperioden auf. Schon seit 1926 vertritt Jordan den Standpunkt, dass die Maxwellfelder und die Materiewellenfelder die primären Konzepte sein sollten, die korpuskulare Struktur erst danach durch Quantisierung der Wellenfelder erzeugt werde. „Es sind die Quantengesetze, welche den Wellenfeldern das Auftreten von Korpuskeln aufzwingen“ [18]. Diese Idee, „von Maxwell zu Lichtquanten durch Quantisierung“, kam für eine schnelle Anerkennung zu früh. Diracs „Teilchenbild“ war zunächst attraktiver [19]. Das mag Jordan den Schwung genommen haben, intensiver bei der Feldtheorie zu bleiben. Aber es war nicht nur das. Der Charkow-Vortrag fasst das bis 1929 Geleistete zusammen und dort steht aber dann, dass man „eine reine Quantentheorie der Elektrizität“ „ohne klassisch-korrespondenzmäßige Krücken“ zu formulieren versuchen sollte. Jordan meint, dass die klassische Modelltheorie Eigenschaften (die Selbstwechselwirkung des Elektrons) zeigt, „die sich hernach beim Quanteln in katastrophaler Weise auswirken“. Und das besonders und gerade in einer relativistischen Theorie. Er sieht sich „an einem bedeutenden Einschnitt in der Entwicklung der Quantenelektrodynamik“ und verwirft sein so geliebtes Korrespondenzprinzip: „Die Quantenmechanik muß aus sich selbst heraus neue Wege finden“. Und trotz der von ihm neidlos bewunderten Erfolge Diracs mit seiner „wunderbaren Kunst eleganter und suggestiver Zeichenerfindung“ [1] sieht er die Feldtheorie in einer Sackgasse, und statt wie Dirac erst einmal einen Kalkül ohne soliden mathematischen Hintergrund zu tolerieren, sucht er, der Mathematiker unter den Physikern, nach einem neuen mathematischen Formalismus, weil der bisherige „zu eng, zu speziell sei, um alles das leisten zu können, was in der ... Quantenelektrodynamik von ihm verlangt wurde“ [1]. Die Suche nach einem neuen an die Physik angepassten mathematischen System wurde für mehrere Jahre seine Hauptbeschäftigung – so schreibt er 1979 an Wigner [17]. Das besprechen wir unten, erwähnen hier aus dieser Periode nur die 5 Arbeiten „Zur Neutrinotheorie des Lichts“, die, heute physikalisch bedeutungslos, hinsichtlich mathematisch- physikalischer technischer Details aber noch zum Lesen empfohlen werden [20].

In diese Zeit fallen Jordans zwei eigene Lehrbücher zur Quantentheorie. Ein Kabinettsstück ist seine Monografie *Statistische Mechanik auf quantentheoretischer Grundlage* (1933). Damit behandelt er das Thema des 5. Teils von Borns geplanten und oben erwähnten „größeren Buch“. Das Werk bringt viele damals noch neuen Ideen zur Quantenstatistik in gut lesbarer Form. Für ihn charakteristischer aber ist seine *Anschauliche Quantentheorie* (1936). Wie ein Echo auf den Plan für Borns „größeres Buch“ haben nach 1930 alle eingangs genannten jungen Physiker ihre, bis heute lesenswerten, Monografien zur Quantentheorie herausgegeben [21]. Auch Jordan sendet am 31. 8.1934 einen detaillierten Buchplan an Berliner, dem Herausgeber *der Naturwissenschaften* [4]. Dieser antwortet: „Der Überblick ..lässt .. darauf schließen, dass nun endlich das Buch kommen wird, nach dem ich seit Jahren selber gesucht habe...Ich werde Herrn Dr. Springer den detaillierten Entwurf übergeben...“ und Springer reagiert am 7. 9. 1934 mit einem Brief an Jordan.

Vorgesehen waren damals der Titel „Einführung in die moderne Quantentheorie“ und die Abschnitte: „1.) Die Grunderfahrungen der Quantenphysik, 2.) Korrespondenzprinzip und Quantenmechanik, 3.) Lichtquantenhypothese und Wellenmechanik, 4.) Komplementarität, 5.) Die Elementarteilchen, 6.) Ergebnisse der Wellen- und Quantenmechanik“. Das bleibt im Rahmen der Erwartungen für ein solches Buch. Aber dann schreibt Jordan etwas, was sein Bedürfnis, die Erkenntnisse der Quantenphysik als etwas Umfassendes und nicht nur Physikalisches zu begreifen, deutlich macht: „Endlich ergeben die tiefen Erkenntnisse der Quantentheorie sowie die durch sie bestätigten und gefestigten erkenntnistheoretischen Prinzipien neue, wichtige Einsichten für die Nachbargebiete der Biologie und Psychologie. In welchem Umfang diese Fragen, für welche zunächst die Kap. 7 und 8 meiner Disposition vorgesehen sind, im Rahmen des Buches mitberücksichtigt werden, sollte vielleicht am besten erst dann endgültig entschieden werden, wenn...“ sich besser der Umfang der andern Kapitel übersehen lässt. Am 19. 10. 1934 schlägt Jordan den Titel „Anschauliche Quantentheorie“ vor. Am 5. 11. 1934 bekommt er den Vertrag geschickt für 2000 Exemplare, zu einem Honorar von 15% des buchhändlerischen Nettopreises von jedem verkauften Exemplar. Manuskriptablieferung ist der 1. November 1935. Am 14. 9. 1935 erbittet Jordan um Fristverlängerung, „um die restliche Arbeit in voller Ruhe“ ausführen zu können. Schließlich geht das Manuskript am 9. 3. 1936, wenigstens zum größten Teil, an Springer. Am 29. 5. 1936 [22] bittet Jordan, diesmal als Philosoph, Prospekte nach Kopenhagen zu schicken, wo „in der zweiten Junihälfte eine Konferenz über aktuelle Fragen der Atomphysik und sodann ein Kongress über wissenschaftliche Philosophie“ stattfinden. Hier wird auf den vom Wiener Kreis veranstalteten 2. Kogreß für Einheit der Wissenschaft, Kopenhagen 21. – 26. Juni 1936, der wegen ihrer zeitlichen und räumlichen Nähe zu einer Fachtagung Bohrs zur Quantenphysik ziemliches Aufsehen erregt hat, angespielt. Jordans Buch erscheint im Juni 1936 und wird im August 1936 von Heisenberg in den Naturwissenschaften besprochen. Das Buch ist bemerkenswert und wird immer wieder kontrovers diskutiert wegen des letzten Kapitels, wo es um die positivistische Methode und Kausalität, um Erkenntnis und um Biologie geht. Heisenberg, dem der physikalische Teil gefällt, distanziert sich von einer Festlegung auf einen Ismus, meint aber, dass Jordan „von der „positivistischen“ Methode taktvoll Gebrauch“ macht. Und „die bekannten Vermutungen über die Bedeutung der Atomphysik für Fragen der Biologie werden mit Vorsicht und klarem Verständnis für die Schwierigkeiten der hier angeschnittenen Probleme vorgetragen“ [23]. Hund schreibt an Springer am 27. 7. 1936: „Das Verhältnis Jordan´s zur „Schulphilosophie“ halte ich noch nicht für ganz frei von einer zu frühen Festlegung Jordan´s und auch das Verhältnis von Physik und Biologie würde Bohr vorsichtiger formulieren“ [4]. Rückblickend ist das Buch in seinem physikalischen Hauptteil ein Resumé seiner Forschertätigkeit als reiner Physiker, im letzten Kapitel ist es ein Aufbruchsignal in Jordans neue Tätigkeitsfelder.

Die dritte Periode seiner physikalischen Forschungen hat die Quantenphysik hinter sich gelassen. Man kann sie überschreiben mit 1944 – 1954: Sternentstehung, Kosmologie und Gravitationstheorie. Die Untersuchungen zur Sternentstehung beginnt Jordan schon 1939 mit „Bemerkungen zur Kosmologie“ und er greift das Thema wieder 1944 mit einer zweiteiligen Arbeit in der *Physikalischen Zeitschrift* auf. Wie es mehrfach bei Jordan vorkommt, fasst er seine Ergebnisse in Form einer Broschüre zusammen: *Die Herkunft der Sterne*, 1947. Gleich in der Einleitung stellt er den Leitgedanken seiner Untersuchungen vor, nämlich, „dass das erhaltene kosmologische Bild die im wesentlichen eindeutig vorgeschriebene folgerichtige Durchführung eines bestimmten Prinzips bedeutet – ich habe es das Diracsche Prinzip genannt.“ Das Prinzip, wonach Naturkonstanten in Wahrheit variable Funktionen des Weltalters sein können, läuft für Jordan darauf hinaus, eine Zeitabhängigkeit der Gravitationskonstanten zu postulieren. Die „Dirac Hypothese“ hat ihn bis zum Ende seiner aktiven Zeit als Forscher nicht mehr losgelassen. Es ist bis heute noch nicht abgemacht, ob der Ansatz für die Kosmologie, gerade im Zusammenhang mit der Quantengravitation, brauchbar ist oder nicht. Jordan hat, Gedanken von Kaluza, Klein und Pauli folgend, eine Erweiterung der Einsteinschen Gravitationstheorie erarbeitet. 1945 erschien in den Göttinger Nachrichten die erste Veröffentlichung zur sogenannten

projektiven Relativitätstheorie. Jordan beschäftigt sich zunächst intensiv mit der Einsteinschen Theorie und stellt sie in neuer Klarheit und in vereinfachter Form dar. Er sagt später im Vorwort zu *Schwerkraft und Weltall* (1952), dass seine Erweiterung der Allgemeinen Relativitätstheorie zur „fünfdimensional-projektiven Relativitätstheorie undurchführbar gewesen wäre ohne eine vorherige radikale Vereinfachung der mathematischen Beweismittel der vierdimensionalen Theorie.“ Das genannte Buch ist in seinem ersten Teil eine hervorragende und immer noch lesenswerte Einführung in die Einsteinsche Theorie und die dafür relevante Riemannsche Geometrie. Der zweite Teil gehört der erweiterten Theorie. Das Vorwort enthält ein wichtiges persönliches Zeugnis, das in die goldene Göttinger Zeit zurückweist:

„...und ich hoffe, daß die mathematische Darstellungsweise meines Buches ein wenig von jenem Stil mathematischen Denkens verrät, der mir in meiner Studienzeit in der Person *Richard Courants* unvergeßlich entgegengetreten ist – mit seiner Forderung, Beweise nicht durch Rechnen, sondern durch *Verstehen* zu erreichen. Und ich hoffe auch, daß die *physikalische Denkweise* des Buches ein wenig vom Geiste meines Lehrers *Max Born* widerspiegelt, dessen Gedankenklarheit mir zum unerreichten Vorbild geworden ist“ [24].

Die – hinsichtlich physikalischer Fragen – letzte Periode, 1959 – 1972: Die Expansion der Erde, steht wieder ganz im Zeichen der Dirac Hypothese. Diesmal ist es Jordans Bemühen, durch sorgfältiges Studium der Beobachtungen der Geologen Belege für die Richtigkeit der Diracschen Hypothese, wie sie Jordan versteht, zu finden. 1964 sind diese Überlegungen in Buchform zusammengefasst erschienen. Mit diesem Buch schließt Jordan eine 40jährige Forschertätigkeit in der Physik ab [25].

Es wird berichtet, dass der junge Jordan bei den Physikern in Göttingen der „Mathematiker“ genannt wurde. Und die Mathematik war sicher seine Begabung. Und seine Freude, wie man immer wieder bei ihm lesen kann. Die Grenze zur mathematischen Physik ist fließend. Ohne Zweifel ist Jordans alle damaligen neuen Quantentheorien umfassende Studie zur Transformationstheorie eine große mathematische Leistung, wengleich die unseren heutigen Ansprüchen genügende mathematische Exaktheit erst nach und nach über den Hilbertraumformalismus und die moderne Funktionalanalysis gesichert werden konnte. Ein anderes Beispiel für mathematische Höchstleistung in diesem Rahmen ist die oben angesprochene Neudurchdringung der Riemanngeometrie durch Jordan, oder seine Untersuchung zur symmetrischen Gruppe 1935. Jordan hat aber auch rein mathematische Veröffentlichungen in großer Zahl aufzuweisen. Die erste, berühmt gewordene, ist die über die Klassifikation der – später so genannten – Jordanalgebren, die er zusammen mit v. Neumann und Wigner 1934 in den *Annals of Mathematics* herausbringt. Erst später kommt es zu einer zusammenhängenden Periode 1949 – 1969: Mathematik. Zu den Anfängen gehört der hübsche Artikel „Über eine nicht-desarguesche ebene projektive Geometrie“ in den Abhandlungen des Hamburger Mathematischen Seminars. Aber der größte Teil der Untersuchungen dieser Zeitspanne ist der Theorie der Schrägverbände gewidmet. Einen Überblick gibt der OAR Bericht 1961 und die Arbeit „Halbgruppen von Idempotenten und nicht-kommutative Verbände“ (1962).

Jordan war überzeugt, dass man einen neuen Zugang zur Mathematik finden muss, will man mit den Problemen der Quantenfeldtheorie zurecht kommen. Als Vorbild dient dabei die zunächst erfolgreiche neue Quantenmechanik, deren mathematischen Strukturen für Jordan die Quintessenz des Gequantelten in an vielen Beispielen bewährter Form darstellen. Und dabei einerseits Diracs symbolischer Formalismus, der in gewissem Sinn symbolischen Formulierungen in der Feldtheorie Pate steht, und andererseits die Matrizenmechanik, die von Born und Wiener, später von v. Neumann und anderen zum Operatorformalismus umgedeutet und erweitert wurde. Gerade Diracs Formalismus hat ihn beeindruckt, weil man quasi durch die Annahme, messbare Größen bildeten eine nicht-kommutative Algebra – also ohne Matrizen einzuschalten – viele wichtige Ergebnisse der

exakten Quantentheorie ableiten kann. Jordan beginnt seine Suche nach einer „Axiomatik der Quanten-Algebra“, stellt also algebraische Verknüpfungen an den Anfang. Der erste Versuch war ein „beobachtbares Quasiprodukt“ in einer assoziativen Algebra zu bilden. Dieses „Jordanprodukt“ ist für zwei Elemente in der Algebra definiert als der halbe Antikommutator und stellte sich als der universale Schlüssel heraus, um aus den zunächst studierten hermiteschen Operatoren – in der neuen Quantentheorie als Observable gedeutet – auf algebraischem Weg wieder solche zu bilden. Ersetzt man in der Ausgangsalgebra die ursprünglich vorgegebene assoziative Multiplikation durch das aus ihr gewonnene Jordanprodukt, dann entsteht eine nichtassoziative Algebra. Jordan hofft nun, dass das gefundene algebraische Axiomensystem noch weitere Realisierungen, und zwar solche, deren Jordanprodukt nicht von einer assoziativen Struktur herkommt, zulässt – man spricht von exceptionellen Jordanalgebren – von denen eine eine Darstellung hat, die dann die gesuchte Quantenmathematik sein sollte. Diese Hoffnung ist schon von ihm selbst in der oben erwähnten gemeinsamen Arbeit mit von Neumann und Wigner zu den endlich dimensionalen Jordanalgebren gedämpft worden. 1983 hat dann Zel'manov für einfache Jordanalgebren beliebiger Dimension eine vollständige Klassifikation gegeben, das für das Jordanprogramm das niederschmetternde Ergebnis nach sich zieht: Es gibt keine unendlichdimensionalen exceptionellen Jordanalgebren [26]. Nach dem Ergebnis von 1934 hat Jordan den ersten Versuch aufgegeben und im Anschluss an Überlegungen von von Neumann und Birkhoff, die zeigten, dass man den Übergang von der klassischen zur Quantenphysik auffassen kann „als Übergang von der „gewöhnlichen“ Logik, [die] der Mathematik „distributiver“ Verbände entspricht, zu einer allgemeinen nur noch „modularen“ Logik. Ich habe dann versucht, die mathematischen Möglichkeiten eines Übergangs von „kommutativen“ zu nicht kommutativen Verbänden zu klären.....Aber auch dies führte nicht zu einem für die Physik verwendbaren Ergebnis“ [1]. Und diesmal auch nicht zu einer Welle mathematischer Forschung wie sie seine Axiomatik der Jordanalgebren, die sicher ein Glanzlicht moderner Algebra geworden ist, ausgelöst hat. Verbandstheoretische Untersuchungen zur Quantenphysik gibt es allerdings bis in die neue Zeit.

Für Jordan bedeutet Mathematik aber mehr als rechnen und axiomatische Strukturen untersuchen. Im *Bild der modernen Physik* (1948) bekennt Jordan: „Das mathematische Denken, diese kälteste, klarste und schärfste Kraft menschlichen Geistes, läßt uns auch dort nicht im Stich, wo unsere arme Anschauung versagt; irgendwie scheint unsere Mathematik dem Schöpfergeiste der Natur verwandt“. Die unanschaulichen Atomgesetze „beherrschen wir gedanklich mit den schärfsten Mitteln, die unserem Geiste zu Verfügung stehen – mit den Denkmitteln der Mathematik.“ „Trotz der Unmöglichkeit, [Mikrogebilde] im Sinne der gewohnten Realitätsvorstellung zu beschreiben,“ sind sie „einer *mathematischen* Beschreibung zugänglich, die...als von erstaunlicher innerer Einfachheit und durchsichtigster Klarheit zu erkennen ist.“ Das „logisch-mathematische System bietet in seiner vollkommenen Klarheit und inneren Geschlossenheit keinen Raum mehr für Ungewißheit irgendwelcher Art.“ Diese Bekenntnisse findet man auch in anderen Schriften und sie zeigen, dass Jordan die Mathematik nicht als rechnerische Hilfswissenschaft der Physik, sondern als die der Physik adäquate Form des Denkens sieht.

Wie oben schon angedeutet, beschäftigt sich Jordan nach dem Erscheinen seines Quantenmechanikbuchs mit den Auswirkungen der neuen Erkenntnisse in der Physik auf andere Wissensgebiete; aber auch mit kühnen Übertragungen der in der Quantenphysik gefundenen philosophischen Ideen auf andere nicht-naturwissenschaftliche Gebiete wie Politik und Religion. „Ich denke, daß das Thema, dem alle meine Schriften gewidmet sind, das große Thema der Naturwissenschaften und ihrer Rolle als einer uns und unsere Zeit beherrschenden geistigen Macht – ernst und wichtig genug ist, um eine eindringliche und ausführliche, vielseitige und umfassende Behandlung zu verdienen“ schreibt er im Vorwort zu *Physik im Vordringen*. Schon 1943 möchte er seine erkenntnistheoretische Einstellung „nicht mit dem Wort „Positivismus“, sondern lieber etwa als Lehre von der Erlebniswirklichkeit bezeichnen“. In zahllosen Aufsätzen, in Abständen teilweise in

Buchform gebündelt, kehren seine Themen und Thesen immer wieder. Aber da er das Gefühl hat, „mit jedem .. Aufsatz ... für mich selber neue Vertiefung meiner Einsicht und meines Verstehens zu gewinnen, ..“ glaubt er nicht vermeiden zu brauchen, dass dem Leser Gedankengänge „in anderer Beleuchtung“ begegnen, die ihm „teilweise schon bekannt sein mögen“.

Zunächst behandeln wir die Periode 1937 – 1949: Biophysik, in der er, angeregt von Bohr, die Konsequenzen für die Biologie und Psychologie untersucht [27]. Die Frage, „ob die in der Mikrophysik angetroffene Indeterminiertheit eine Auswirkung auf biologische Individuen hat“, bejaht Jordan und begründet das zunächst mit der damals überraschenden Behauptung, „daß jedes einzelne *Gen* in der Erbmasse einer Keimzelle ein *einzelnes Molekül*, also in klarer Weise ein mikrophysikalisches Einzelgebilde sei“ [1], und folglich über diesen eben gerade nicht-makroskopischen Baustein die Anwendung der Mikrophysik, also der neuen Quantenphysik, auf die Biologie zwangsläufig ins Spiel kommt. Jordan war zeitlebens stolz darauf, dass er als erster den Molekülcharakter des Gens erkannt hat; das war 1934 und 1935 haben Delbrück et al. diesen Sachverhalt experimentell bestätigt. Vor der Strukturauflklärung der DNA durch Crick und Watson bestand trotz einzelner schöner Resultate, beispielsweise durch den auch aus der Quantenphysik kommenden Delbrück, wenig Aussicht, bleibende Erfolge zu erzielen. Untersucht hat man Mutationen, die durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden und die damit verbundene Frage nach der Stabilität der Gene. Jordan hat dazu, teilweise zusammen mit N. W. Timoféeff-Resovsky und K.G. Zimmer, seine „Treffertheorie“, und weiter die der „organischen Verstärkerwirkungen“ beigesteuert. Sein Buch *Eiweiss-Moleküle* (1947) legt davon Zeugnis ab und zeigt auch, wie intensiv er sich mit der Chemie und den Experimenten beschäftigt hat. Ein nachhaltiger Erfolg war den Bemühungen und seinen Paradigmen hinsichtlich einer auf Quantenphysik basierenden Biophysik nicht beschieden. Seine „Urzeugungstheorie“, wonach diese eine Mutation durch einen Quantensprung sein sollte, wird heute nicht mehr diskutiert. Es gab aber einige schöne Anerkennungen, siehe [28]. In der Reaktion von Hund auf die biologischen Abschnitte des Quantenmechanikbuchs lesen wir schon, das sich Jordan dort von Bohrs Auffassung absetzt. Das wird noch deutlicher in Jordans Buch *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens* (1941), das immer noch zitiert wird als Hauptquelle für seine biophysikalische Einstellung. Dort wird seine Sicht der Rolle der in der Quantenphysik seiner Auffassung nach aufgehobenen Kausalität für die Biologie ausführlich behandelt; das führt ihn zur Einsicht einer Entstehung des Lebens „aus Zufall oder aus Schöpferlaune“ und er entscheidet sich für den Schöpfer, den das mechanistische Weltbild, wie er nicht müde wird zu wiederholen, aus der Genesis vertrieben hat.

Und damit kommen wir zum umfangreichsten Teil des Jordanschen Schrifttums, der Periode 1933 – 1978: Populäre Schriften, Philosophie und Religion. Er umfasst mehr als 300 Arbeiten und sicherlich sind zahllose weitere noch unberücksichtigt geblieben. Schreiben ist ihm leicht gefallen, das Reden weniger, musste er doch stets mit seiner Sprachhemmung kämpfen. Jordan hat gerne und gut geschrieben, und willkommen war dabei ein kleines Zubrot zum Professorengeloh, aber dies war nicht entscheidend [29]. Im *Gescheiterten Aufstand* sieht er „im Problem, *die Naturwissenschaft als Bildungsmacht* zur Geltung zu bringen“ zwei deutsche Hindernisse: „Die Scheu des deutschen Gelehrten vor der Öffentlichkeit“ – die Humboldt nicht hatte und auch nicht die Forscher im angelsächsischen Bereich, wo man „geradezu verlangt“, dass der Forscher „Geist und Ergebnisse der weiteren Öffentlichkeit vorzustellen weiß“. Das zweite Hindernis sieht er in der „Abneigung zuzugeben, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse unausweichlich Einflüsse ausüben auch auf die philosophisch-weltanschauliche Gedankenwelt.“

Seine Bücher, insbesondere *Die Physik des XX Jahrhunderts* (1935) – ab der 9. neugestalteten und erweiterten Auflage erscheint es unter dem Titel *Atom und Weltall* (1956) – sind zum Teil über Jahrzehnte im Handel. Jordan selbst gruppiert einige seiner Bücher. Er sieht *Die Physik des XX Jahrhunderts*, *Das Bild der modernen Physik* und

Physik und Geheimnis des organischen Lebens als zusammengehörig an, wie er 1947 in der Einleitung zu dem zweitgenannten Werk schreibt. Er fährt fort: „Zusammengenommen bieten die drei kleinen Bücher ...die Grundlinien einer *Philosophie der Naturwissenschaften*“. Später rechnet er das eher unbedeutende *Physik im Vordringen*, das während des Krieges nicht mehr gedruckt werden konnte und erst 1949 erscheint, auch zu dieser ersten Gruppe.

Anfang 1970 verbindet er in einer zweiten Gruppe *Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage, Schöpfung und Geheimnis* und *Erkenntnis und Besinnung* zu einem weiteren Dreiklang. Das Büchlein *Wie frei sind wir* (1972) möchte er als Quintessenz – als die es sich nicht eignet – aus den drei letztgenannten ebenfalls hierher einreihen. Es sind gerade diese auch die wenigen populären Bücher, die Jordan für die Selbstbiografie 1975 als Liste seiner Veröffentlichungen auswählt [1].

Zu seinen persönlichsten Schriften sollte man vielleicht *Physikalisches Denken in der neuen Zeit* (1935) als wichtiges Frühwerk zählen, in dem er seinen Dreiklang: Wandlung des physikalischen Denkens, Quantenbiophysik und Philosophie in drei Kapiteln erstmalig in Buchform darstellt; das vierte Kapitel gehört der Politik. Dann *Erkenntnis und Besinnung* (1972) was rückblickend diese Themen wieder aufnimmt, und schließlich, 1956 zeitlich zwischen diesen beiden, das Buch *Der gescheiterte Aufstand: In einer zerrissenen Zeit, einer von Trümmern überfüllten Welt will er, getrieben und gehetzt von einem überfüllten Alltag, festhalten, was uns als wesentlich erkennbar wird. Das Buch läutet seine oben vorgestellten religiösen Schriften ein, wenn er im VI. Aufsatz gleichsam den Buchtitel erklärt mit den Worten: „Diesen großen Aufstand der Menschheit, den Aufstand gegen Gott, gescheitert zu sehen, ist die erschütternde und doch befreiende Gewissheit, die uns das Miterleben dieser Jahre gibt“.*

Seine Einsteinbiografie (1969) wurde vor allem gelobt als wohl erste wissenschaftliche Biografie, die den Lesern das Werk des großen Physikers, aber kaum etwas vom Leben Einsteins, nahe bringen sollte. In der Aufsatzsammlung *Begegnungen* (1971) findet man eher unergiebig Versuche Biografisches zu bearbeiten. In der Tat tut sich Jordan schwer, Persönliches anzusprechen. Das trifft zu, wenn er über andere schreiben könnte – was bedauerlich ist, wo er doch nahezu alle Heroen der frühen modernen Physik gekannt hat – aber auch, wenn er über sich selbst Privateres sagen sollte. Schneidet man aber im Gesamtwerk alles Autobiografische, das vor allem in den späten Werken auf und zwischen den Zeilen steht, heraus, dann mag man am Ende doch mit einem stattlichen Häufchen an Selbstaussagen und an Einsicht in den Menschen Jordan dastehen. Leider haben viele, die über ihn geschrieben haben, gemeint, dass einzelne wenige Schriften und spärliche Zitate daraus schon zum Charakterbild reichen. Die Lage ist jedoch verwickelter und genauere Studien müssen noch kommen.

Es ist unmöglich, in diesem kurzen Essay auf die Fülle der übrigen Schriften und Ausarbeitungen von Vorträgen aus dieser Periode einzugehen. Man kann aber ein paar Worte zu den Themen sagen, die ihn immer wieder und mit erstaunlicher Unveränderlichkeit hinsichtlich der Themenwahl und der dann dazu geäußerten Meinung beschäftigen. Diese Unveränderlichkeit tritt auf zwei Weisen in Erscheinung: Jordan ändert seine einmal gefasste Meinung kaum und er bleibt auch beim einmal gewählten Argumentationskanon, bohrt also selten weiter in die Tiefe, um seine Argumente zu verschärfen; er versucht auch wenig, neue zu bringen oder alte zu modifizieren. Wie wörtlich man diesen Eindruck, den man beim Querlesen seiner nicht-wissenschaftlichen Werke bekommt, nehmen darf, kann erst eine gründliche, detaillierte Textanalyse klären. Viele Aufsätze sind brillant geschrieben und die Lebendigkeit seines Lebenswerks kommt gerade in der sprachlichen Farbigkeit zum Ausdruck, die selbst alte, oft geäußerte und nur umformulierte Gedanken dem Leser wieder neu erscheinen lässt. Das ist es, was seine Popularität als Sachbuchautor ausmacht.

Die lange Zeit seiner Tätigkeit als Autor allgemeinverständlicher Darstellungen kann man, wenn auch etwas künstlich, in drei Teilperioden zerlegen. In der ersten Teilperiode 1932 – 1941, zu der man auch die schon 1928 erschienene Hamburger Antrittsvorlesung zählen muss, wendet er sich primär an ein naturwissenschaftlich und philosophisch vorgebildetes Publikum. Es sind bedeutende Versuche, die Ideen Bohrs zur physikalischen Ausdeutung der neuen Physik und des dabei mitbedingten erkenntnistheoretischen Gehalts weiter zu entwickeln und zu präzisieren [30]. Sie machen Jordan zu einem Mitgestalter der Kopenhagener Deutung, die er selbst als „in ganz besonderem Masse Bohr und Heisenberg zu verdanken“ bezeichnet. Es geht um Kausalität, um das Problem der Beobachtbarkeit, um statistische Naturgesetzmäßigkeit, um den Problembereich Willensfreiheit und um das Wesen des Organischen. Der Klärung dieser verwaschenen Begriffe sucht er in einem in der Philosophie sonst unbekanntem Maß dadurch beizukommen, indem er sie auf die Folgerungen ihrer Anwendungen in wichtigen außerphysikalischen Wissenschaften testet. Und natürlich geht es ganz besonders um den Begriff der Wirklichkeit, ja recht eigentlich um Jordans Erkenntnisphilosophie [31], die in seinem Quantenmechanikbuch noch „Positivistische Methode“ genannt wird. 1949 sagt er „...daß die tiefgründige erkenntnistheoretisch-philosophische Besinnung, die in Heisenbergs Arbeit von 1925 zum Ausdruck kam, die positivistische Linie fortsetzte und zum vollen Durchbruch brachte, die schon in Bohrs Korrespondenzprinzip angelegt war. Diese positivistische Tendenz war der Rammbock...“ zum Abbruch der alten Quantentheorie. Man findet seine hier angesprochenen Themen in Aufsätzen bearbeitet, aber seiner Art entsprechend auch zusammengefasst in der ersten oben angegebenen Gruppe von Büchern.

Nach dem Krieg – während dessen Dauer wenig erschienen ist – publiziert Jordan noch zwei Bücher, die wir zur ersten Teilperiode geschlagen haben. Ansonsten ist die zweite Teilperiode 1946 – 1962 hinsichtlich der bereits besprochenen Themen durch deren populäre Aufarbeitung gekennzeichnet. Jetzt wird jedermann und nicht nur das vorgebildete Publikum angesprochen. Charakteristisch ist das größtenteils aus Mitte der fünfziger Jahre gehaltenen Rundfunkvorträgen entstandene Büchlein *Wie sieht die Welt von morgen aus* (1958), das Jordan dem kurz zuvor verstorbenen Freund aus Jugendtagen, John v. Neumann, widmet. Hier kommen neue Themenkreise dazu wie die Kybernetik und Regelung, das Atomzeitalter, die Raumschiffahrt oder der Bau von Großforschungsanlagen. Hier ist Jordan gefragt als Physiker um den Bürgern diese neuen Dinge zu erklären; kaum einer dieser Beiträge hat Tiefe.

Die dritte Teilperiode 1963 – 1975: Religion heben wir hervor, weil Jordan wieder zu den ihm eigenen Themen zurückkehrt und sie neu überarbeitet. Exemplarisch stehen dafür die Bücher in der zweiten oben angegebenen Gruppe. Aber, und das soll nun angesprochen werden, in dieser Periode kommt Jordan auf ein ihm, wie er selbst erklärt, schon seit früher Jugend interessierendes und in seinen Schriften von Anfang an immer wieder auftauchendes Thema: Das Spannungsfeld zwischen fundamentalistischer Gläubigkeit und der Anerkennung der Wahrheiten des naturwissenschaftlichen Erkennens. Er sieht das Kernproblem in der für ihn entscheidenden Frage, wo die nichtfundamentalistische Anerkennung der Naturwissenschaften die Grenze zu einem atheistischen Materialismus ziehen soll. Wie schon oben im Abschnitt zur Biophysik angedeutet, steht im Zentrum seiner Argumentation seine Auffassung der „Urzeugung“, also der Entstehung des Lebens. Da greift er seine biophysikalischen Überlegungen auf. Ein anderer Hebel ist sein Credo, dass die Quantenphysik gezeigt hat, dass man „wirklich ein folgerichtiges und lückenlos in sich geschlossenes physikalisches Begriffssystem entwickeln kann, in dem die Kausalität keinen Platz findet“. Und gemeint ist die klassische Kausalität des mechanistischen Weltbilds und ihre Folgerungen: Die vollständige Berechenbarkeit der ganzen Zukunft aus der Kenntnis des Jetzt, l’homme machine des Lametrie, all das, was Gott, also auch die Beschäftigung mit Religion, ab sofort überflüssig macht. Akzeptiert man aber als Folge naturwissenschaftlicher Forschung die Aufhebung dieses Prinzips – wobei er schon seit 1928 darauf besteht, dass „nicht die Theorie, sondern das Experiment zur Aufgabe des Kausalprinzips geführt hat“ – dann bricht die alte Argumentation zusammen und mit dem

Materialismus stirbt auch sein Atheismus. Jetzt bleibt nur noch zu zeigen – das ist eben sein Kernproblem – dass die altbekannte Kausalität wirklich in der Schöpfung verletzt ist, und das gelingt mit seiner Auffassung, das die Urform alles Lebendigen eben ein Molekül, also ein Quantensprünge unterworfenen Mikrosystem ist. Die neue Naturwissenschaft hat „die Vorstellungen der materialistischen, deterministischen Theorie ganz weit hinter sich gelassen; in einer Weise, die alle von der älteren Naturwissenschaft aus erhobenen Einwände gegen religiöse Weltbetrachtung hinfällig macht.“

Um zu seinen im weitesten Sinne gesellschaftsrelevanten und politischen Schriften überzuleiten, soll gewissermaßen als den Ton angehend das in der Jordanliteratur oft zitierte vierte Kapitel in *Physikalisches Denken in unserer Zeit* genauer angesehen werden. Es lohnt sich im Hinblick auf Jordans spätere politische Äußerungen und auf spätere tatsächlich vollzogene politische Entwicklungen. Und es ist auch ein Lehrstück wie Jordan den Komplementaritätsgedanken in seltsamen Sprüngen bei gesellschaftlichen Themen zur Anwendung bringt.

Jordan beginnt mit seinem philosophischen Ansatz wonach die Physik lehrt, dass eine Theorie nur beschreiben, nicht aber nach dem „Wesen“ einer Sache fragen darf. „Mit dem extremen Verzicht auf alles Verstehen wollen und Erklären wollen“ hat der Positivismus eine „äußere Ernüchterung des Forscherdrangs erreicht“. Diese bedingt, dass das Ansehen und die Stellung naturwissenschaftlicher Forschung in der Öffentlichkeit zwangsläufig zu einem Nachlassen der Anteilnahme an der reinen Forschung zugunsten einer Höherbewertung ihrer Technikfolgen führt. Nach diesem Salto mortale stellt er das Thema des Aufsatzes: Nicht nach dem Wert der Physikforschung für die Menschheit, sondern danach ist zu fragen: „welche Tatsachen und Gesichtspunkte die heutigen Staatsmänner Europas“ [32] bewegen könnte, der physikalischen Forschung erhöhte Förderung angedeihen zu lassen“. Die erste Stufe seiner Analyse ergibt, dass „moderne Forschungslaboratorien zu Machtfaktoren kriegsentscheidender Bedeutung werden“, dass Rüstungsforschung ein Hauptanlass politischer Wertschätzung der Forscher durch die Machthaber werden wird. Und, so schreibt er damals noch visionär im Hinblick auf Kommendes, die neue Kernphysik wird technische Energiequellen ungeahnten Ausmaßes [33] und „Explosionsstoffe, denen gegenüber alle heutigen harmlosen Spielzeug sind“ mit sich bringen [34]. Er betont, dass für Forscher „die Freude am durchdringenden Erkennen selbst“ der Antrieb ist, und es wäre falsch, wenn man noch verlangen würde, dass er sie in der Absicht, der Nation zu dienen, bringt. Aber dem Forscher wird die Auswirkung seiner Arbeit nicht gleichgültig sein und er könnte „Bedenken haben, sie bekannt zu geben, wenn zu befürchten wäre, daß sie grausame Kriege und Chaos vorbereiten könnte“ [35]. Dann unterzieht er die Probleme des Krieges einer „unvoreingenommenen Betrachtung“ – eine seiner Lieblingsredewendungen. Historisch sind es normalerweise Kriege, die Neuschaffungen durchsetzen, und Krieg hat eine zerstörende sowie eine gestaltende Funktion. Verschärfung der Kampfmittel erhöht auch die Möglichkeit einer Stabilisierung geordneter friedlicher Zustände, sie schafft „weltumspannende Machtkonzentrationen, die andererseits erst die realpolitischen Voraussetzungen künftiger Stabilisierung von Ordnung und Frieden im größten Stil bilden“ [36]. Für Jordan ist es sicher, dass nur „die Kraft der stärksten Mächte die Vielheit widerstreitender Einzelinteressen zur Einheit zwingen und gegen Umsturzversuche schützen kann“ [37]. Diese Betrachtung zeigt Jordan, um in seiner Argumentation fortzufahren, dass Naturwissenschaft und politische Probleme zusammenhängen, und jetzt folgert er wieder aus seiner positivistischen philosophischen Sicht, dass die Objektivität der Wissenschaft, die seit der Aufklärung, im Gegensatz von Religion mit deren Spaltung in Gläubige und Andersgläubige, objektive Sicherheit menschlicher Entscheidungen vorgaukelt, seit dem Naturverständnis der neuen Quantenphysik nicht mehr besteht. Die Beseitigung der objektiven Wahrheit beseitigt aber auch die Selbstverständlichkeit, dass alles forschende Streben zwangsläufig zu übereinstimmenden Gesamtbildern führen müsse. Damit entsteht ein ganz anderes Bild vom Zustandekommen unserer wissenschaftlichen Vorstellungswelt, nämlich aus der Kultur heraus [38]. Wissenschaftlich Objektivität unterliegt Begrenzungen – die wie oben

angedeutet für ihn unumstößliche experimentelle Erfahrungen sind – und der Begriff selbst wird ein politisch definierbarer Begriff. Und dann kommt der Satz: „Der Krieg ist das vornehmste Mittel zur Schaffung objektiver historischer Tatbestände“, der dieser an sich, wie die Geschichte nach 1935 selbst gezeigt hat, durchaus interessanten Analyse einen unerträglich bitteren Beigeschmack gibt [39].

Dieser Aufsatz – und so haben wir ihn dargestellt – ist interessant, weil Jordan hier deutlich macht über welche Denkschlüsse die neue Quantenphysik auf gesellschaftliche Fragen wirkt. Zum anderen spricht er zeitlich sehr früh schon Themen an, die bis heute ihre Brisanz haben, was in den Anmerkungen kommentiert ist. Diese Kommentierungen belegen aber darüber hinaus, dass Jordans öffentlich geäußerte spätere politische Haltung bereits in diesem Aufsatz recht komplett angelegt ist. Abschließend muss man noch ein weiteres anfügen: Die hier von Jordan gewählte Behandlung des Themas, einschließlich der Wahl der Sprache, rückt den Essay in die Nähe nationalsozialistischen Schrifttums; und diese Auffassung wird untermauert durch andere ganz unzweideutig propagandistische Artikel, die in der *Rostocker Studentenzeitung*, *Deutschlands Erneuerung* und anderswo erscheinen [39]. Es ist unverkennbar, dass diese – genauso wie die politischen Schriften der Nachkriegszeit - in ihrer Grundmeinung in dem wurzeln, was Jordan im letzten Kapitel von *Physikalischen Denken in unserer Zeit* erarbeitet hat. Nun soll zu diesem Thema noch auf wichtige Fixpunkte in Jordans gesellschaftspolitischen Denken hingewiesen werden, die in seinen Schriften lebenslang mit nahezu unveränderter Diktion auftauchen.

Da ist zuallererst seine kompromisslose Unterstützung von Eliten. Nur wenige gleichsam Auserwählte bringen den Fortschritt in die Wissenschaft, und in der Gesellschaft soll man „nach Differenzierung anstatt nach Nivellierung“ suchen. Am Beispiel Otto Hahns, so schreibt er zu dessen 80. Geburtstag, kann man „in besonderer Deutlichkeit sehen, daß das echte Genie durchaus nicht in die Verwandtschaft eines Bohème-Milieus, sondern in die Atmosphäre eines durch höchste Gewissenhaftigkeit gesteigerten disziplinierten Können gehört“. Er hält es für eine „sonderbare Idee, die Gleichheit und Gleichstellung aller Menschen und Staatsbürger vorauszusetzen oder zu verlangen“, obwohl Erfahrung zeigt, „daß die durch denkwürdige schöpferische Leistungen, durch überragende Höhe der Kultur ausgezeichneten Zeitalter und Länder allemal diejenigen sind, in denen die Ungleichheit der Menschen, ihre Unterscheidung und Trennung in verschiedenen (vielfach erblich festgelegten) Ständen in besonderer Schärfe ausgeprägt war; ... auch im Sinne jener Über- und Unterordnung, jener steuernden Rolle kleiner Minderheiten...“ und schreibt es so in *Der Gescheiterte Aufstand. Von dem Versuch der Aufklärung, aus Vernunft heraus Staat und Gesellschaft zu konstruieren* hält er nichts. Auch nichts von sozialistischer Nivellierung im Sozialstaat, wo es doch in Wahrheit in erster Linie darauf ankommt, „die dünne tonangebende Schicht in ihrer lenkenden und damit dienenden Wirksamkeit funktionstüchtig zu machen“ [40]. Verbunden mit dem Eliteprinzip sind dann Äußerungen wie „daß immer wieder geringere Werte zugunsten höherer geopfert werden müssen“, die nicht ideologisch verstanden werden dürfen.

Denn Jordan ist das, was man einen Konservativen nennt. Für ihn „erweist sich, im Gegensatz zu Ideologien und Illusionen, konservative Weisheit als bewahrende Kraft“. „...eine konservative Denk- und Urteilsweise ist die einzige, die es heute noch ermöglicht, Nonkonformist zu sein“, also nicht den Ideologen zu folgen. Und er versucht auch, den Begriff des Konservativen für sich „definitionsartig zu umschreiben: Konservativ ist die Ausrichtung auf *konkrete Werte*“. Er wendet sich immer wieder gegen Ideologien, etwa wenn er eine vielleicht im Geiste des von Jordan vehement abgelehnten Marxismus-Leninismus versuchte Beseitigung von Armut und Krankheit kontrastiert damit, dass die konkreten Fortschritte der Medizin und der Technik es sind, die das ganz ohne ideologischen Eingriff leisten.

Und das Thema Technik fasziniert ihn durch all die Jahre als Schriftsteller. Der Kampf gegen die Technikfeindlichkeit ist seit jungen Jahren Antrieb für sein Schreiben. Für ihn ist

die „Weiterentwicklung der Technik Hauptantriebskraft heutiger Menschheitsentwicklungen“ – beispielsweise die eben angeführten Fortschritte in der Medizin – und diese „hängt von der Weiterentwicklung der *Naturwissenschaften* ab.“ Aber Technik ist nicht gleich Fortschritt, wie für ihn die Kernbombe beweist. Er sieht die Gefahr „der Selbstverdrängung des Menschen durch die von ihm geschaffenen Konstruktionen“ – ein Beispiel ist das Thema, dass „der Mensch auf dem Wege ist, *sogar sich selbst künstlich nachzumachen*“. Er schreibt: „Im Gegensatz zum moralischen Fortschritt der Menschheit“, den er nicht sieht, sondern als „Erfindung der Ideologen“ bezeichnet, ist der Fortschritt der Technik eine Realität. Es ist das „zentrale Problem unseres Jahrhunderts...: Bändigung der Technik“ und da setzt er statt Ethik Religion ein; es ist sein Kampf gegen die „Säkularisierung der Offenbarung“.

Abschließend noch ein paar Worte zu Jordan als Philosoph, zusätzlich zu dem, was oben an verschiedenen Stellen schon gesagt worden ist. Immer wieder widmet er sich dem Thema, beginnend 1927 mit seiner Antrittsvorlesung in Hamburg „Der Charakter der Quantenphysik“. Hier ist nicht der Ort, um auf das philosophische Denken Jordans in ausreichendem Detail einzugehen [41]. Im Hinblick auf das Schriftenverzeichnis sei daran erinnert, dass Jordan auf eine zusammenfassende Darstellung seiner Philosophie verzichtet hat und stattdessen seine Leser bittet, sich diese aus den von ihm in Buchform gesammelten Schriften zusammen zu suchen. Jordan hat aber im Wintersemester 1948/49 in Hamburg eine Vorlesung *Der physikalische Positivismus* gehalten. Es ist eine in Anlehnung an die Wiener Vorlesungstradition Machs oder Boltzmanns gehaltene Vorlesung eines Physikers, der sich erkenntnistheoretischen Fragen stellen will. Dazu gibt es ein recht gut ausgearbeitetes Skriptum in der Staatsbibliothek zu Berlin; dieses ist in die Bibliografie aufgenommen als unveröffentlichtes Manuskript. Jede der ersten 11 Vorlesungen liegt in maschinengeschriebener und separat paginierter Form vor, aber handschriftlich ist dazu parallel eine weitere Paginierung der 130 Seiten angegeben; drei weitere Blätter mit Schlagworten liegen dabei, so dass alles den Eindruck eines geplanten, aber dann aufgegebenen Buchprojekts macht.

Es wurde schon an Beispielen dargelegt, wie Jordan seine Philosophie in unterschiedlichen Bereichen anwendet. Jetzt deuten wir an, wie sie sich in die philosophische Landschaft einordnet. Der Anker seiner Erkenntnistheorie ist die Feststellung, dass der „Heisenberg-Bohrsche Begriff der „Komplementarität““, ..., nicht weniger [ist], als eine Weltwende menschlichen Denkens, naturwissenschaftlicher Vorstellungsformen: Mit gutem Grunde haben wir heute das Gefühl, mit dieser Denkform am Anfang einer neuen Zeit, am Beginn erstmaliger Erfassung tiefster Erkenntnisprobleme zu stehen, die ...in zentrale philosophische Fragen reichen“. Im *Bild der modernen Physik* sagt er, dass wir „allgemein mit dem Worte *Komplementarität* die Tatsache zu bezeichnen pflegen, daß jedes mikrophysikalische Gebilde jeweils nur gewisse Seiten seiner physikalischen Eigenschaften in klarer Bestimmtheit zu zeigen vermag, während zugleich andere, dazu „komplementäre“ Eigenschaften unbestimmt, verschwommen werden“. Er gibt dem *Unschärfeprinzip* dann eine „positive Deutung“, indem er den Unschärfebereich nicht als Bereich des Unwissens, sondern als die Größenordnung, in der das System *wirkungsfähig* ist, um über diesen ganzen Bereich als physikalisches Agens in Erscheinung zu treten, deutet. So verstandene Komplementarität und Unschärfe verschmelzen zu einem philosophischen über die Physik hinausweisenden Komplementaritätsgedanken. Dieser trägt wesentlich seine Philosophie, vor allem seine angewandte Philosophie, wie oben schon an mehreren Beispielen dargelegt. Unter Berufung auf Ernst Mach – von dem er aber in späteren Jahren Abstand hält – entwickelt er eine Philosophie des *Positivismus*. Das beruht auf der zweiten herausgehobenen Erfahrung bei der Schaffung der Quantenphysik, wonach man nur von Beobachtungen ausgehen kann; die Theorie hat diese zu beschreiben, aber sie kann keine Deutung des „Wesens“ der Phänomene geben. Hinsichtlich des Korrespondenzgedankens nimmt er als Ausgang die Überzeugung, „daß die Mikrophysik erst *nach* der Makrophysik und *von der Makrophysik aus* formulierbar wird“ [42]. Somit ist „die positivistische Methode gar nichts anderes als die *wissenschaftliche* Methode in reinsten Form“. Der

Positivismus ist bei Jordan „kein Dogma, sondern eine Methode“. Als er 1934 einen Aufsatz in *Erkenntnis* publiziert, provoziert er eine Reihe von Repliken, die 1935 in derselben Zeitschrift aus dem Wiener Kreis geäußert werden. Das ist der Bezug, wenn Jordan seine Philosophie danach als „Physikalischen Positivismus“ von dem „geisteswissenschaftlichen Begriff des Positivismus“ – gemeint ist der des Wiener Kreises – abzugrenzen versucht; beide haben nach seiner Überzeugung nichts miteinander zu tun. Er macht noch mehrere Versuche einer Definition, aber am Ende meint er resignierend, „man solle auf die Benutzung des Wortes „Positivismus“ lieber verzichten“. Was bleibt ist der Ansatz selbst, wonach der wesentliche Inhalt einer Theorie die primären *Erfahrungstatsachen* sind. Metaphysik scheidet damit aus, aber dafür taucht das Außenweltproblem auf, das er in *Verdrängung und Komplementarität* im Zusammenhang mit Fragestellungen zu Freuds Psychologie intensiv bespricht, und dass er in *Schöpfung und Geheimnis* so versucht zu definieren: „Außenwelt nennen wir diejenige *Randzone* unserer Erlebniswelt, die beschreibbar ist auf Grund der Vorstellung eines von den Wahrnehmungs- und Beobachtungsvorgängen unabhängigen Seins und Geschehens“. Objektivität und Scheinproblem sind weitere Begriffe, die er immer wieder zu fassen versucht. Der dritte ständig wiederkehrende Begriff ist der der Kausalität, der für ihn volle Determinierung einschließt und den er nicht vom Begriff der Prognostizierbarkeit trennen will. Diese Kausalität hält er für endgültig widerlegt. Zugelassen ist für die Ursächlichkeit nur mehr eine statistische Naturgesetzlichkeit. Und ohne Kausalität ist bei ihm auch kein Platz für eine materialistische Philosophie. Kant, der ihm schon wegen Jordans kritischer Haltung zur Aufklärung Probleme bereitet, hält er für widerlegt insofern als beispielsweise der Ansatz des a priori von Raum und Zeit durch die moderne Physik Einsteins widerlegt ist. Und natürlich distanziert er sich von den „Leitvorstellungen des philosophischen Denkens, daß man durch reines Nachdenken die Probleme lösen kann“, was, zumindest für den Naturwissenschaftler, auch die Epochen vor der Aufklärung erledigt. Jordan stellt sich in seinen Schriften nicht einem Dialog, sondern formuliert nur seine Sicht der Dinge. Wir haben schon oben darauf hingewiesen, dass er wenig zitiert. Es fehlt aber auch Material, das auf einen Dialog mit den anderen Größen der frühen Quantenphysik, soweit sie philosophisch sich zu Erkenntnisproblemen geäußert haben, hinweist. Was auch daran liegen kann, dass Jordan sehr wenig Korrespondenz hinterlassen hat. Heute mag es eine Folge dieser selbstbezogenen Art zu philosophieren sein, dass in Diskussionen zur Philosophie der frühen Quantenphysiker Jordan kaum Erwähnung findet. Es wird auch kaum untersucht, wer von den philosophierenden frühen Quantenphysikern was von wem gelernt hat (vgl. M. Beller [41]). Zu seiner durchaus umstrittenen Erweiterung quantenphysikalisch gewonnener Erkenntnisphilosophie über die Physik hinaus gibt es wenig Untersuchungen. Eine Würdigung Jordans wird erschwert dadurch, dass seine Schriften zu diesem Themenkreis alle in deutscher Sprache mit reichem Wortschatz geschrieben sind.

Unser Blick auf sein überbordendes Schriftenverzeichnis zeigt Jordan als ungewöhnlich erfolgreich forschenden Wissenschaftler und als einen, der sich dem Verlangen stellt, den Geist und die Ergebnisse dieses Forschens der Öffentlichkeit nahe zu bringen. Man findet in seinen Schriften Bleibendes und Vergängliches. Obwohl er sich in seinen populären Texten zeitlebens mit erstaunlicher Konstanz auf wenige Gedanken festlegt [43], stellt er sie doch seinem Publikum in verschiedenen Aufsätzen zu verschiedenen Zeiten in kaleidoskopartiger Vielfältigkeit immer neu vor. Es mag sich lohnen, in der Rückschau sein Gedankengebäude und sein Anliegen einer zusammenfassenden kritischen Würdigung zu unterziehen.

Es soll noch einmal betont werden, dass dieser Essay nur von seiner Bibliografie aus auf Jordans Wirken schaut, also auch keine Querverbindungen zu den Zeitgenossen herangezogen werden. Die Aussagen und Auffassungen, die in den Arbeiten vorgefunden werden, werden, wenn auch nur zum Teil, dargestellt, aber nicht hinterfragt. Es ist dies auch keine historische Würdigung von Jordans Wirken. Der Aufsatz hat allein eine beschreibende Funktion. Er soll für den Leser Orientierungshilfe sein, wenn er sich mit

dem sehr umfangreichen Schriftenverzeichniss beschäftigen will. Das Hauptanliegen ist eine einigermaßen vollständige und zuverlässige Erfassung der Bibliografie selbst.

Dieses hiermit einer kleinen Öffentlichkeit vorgelegte Schriftenverzeichnis ist für eine Publikation andernorts zusammengestellt worden. Weil diese möglicherweise nicht mehr zustande kommen wird, greife ich gerne und mit Dank das Angebot des Max-Planck Instituts für Wissenschaftsgeschichte auf, den zur Zeit vorliegenden Stand als Vorveröffentlichung in der Schriftenreihe des Instituts einem breiteren Publikum vorstellen zu dürfen.

Heidelberg, 21. 1. 2007.

Anmerkungen und Quellenverweise.

- [1] Jordan 1975 in *Philosophie in Selbstdarstellungen*. Dieser Beitrag wird mehrfach zitiert werden, weil er zu den für wichtigen Themen seines Schaffens, weniger zu seiner Biografie im eigentlichen Sinn etwas zu sagen hat.

Selbstbiografisch interessant ist auch das fünfte Kapitel in *Das Bild der Modernen Physik*, in dem Jordan die Göttinger Jahre im Detail und in einer sehr objektiven Diktion darstellt. Oder die Beschreibung in *Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage*, Seite 166 – 175. In unserem Essay werden diese Jahre breiten Raum einnehmen, aber aus einem anderen Blickwinkel, dem der Bornschen Korrespondenz, dargestellt werden.

- [2] Neben dem Klassiker “Max Jammer: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Mc Graw Hill, 1966“ sollte man im Zusammenhang mit Jordan auch “Mara Beller: *Quantum Dialogue*, University of Chicago Press, 1999“ und, hinsichtlich der frühen Quantenfeldtheorie, noch „Olivier Darrigol: The origin of quantized matter waves, in *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol 16, 1986“ und „Tian Yu Chao: *Conceptual developments of 20th century field theories*, (Kap. 7), Cambridge University Press, 1997“ erwähnen (vgl. auch [20]). In dem hervorragenden Buch J. Mehra, H. Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory*, Springer-Verlag, ist der 1982 erschienene Band 3 der Matrizenmechanik gewidmet. Naturgemäß enthält er reichlich Information zum frühen Jordan und seiner Forschertätigkeit in den Göttinger Jahren.

Natürlich wird Jordans Beitrag in allen historischen Studien zur frühen Quantentheorie behandelt, er aber dabei oft ohne weitere Begründung als Randfigur dargestellt. Einen Schritt, das Jordanbild zurechtzurücken, tut Engelbert L. Schücking, der als Mitarbeiter der 2. Auflage von *Schwerkraft und Weltall* Jordan persönlich gut kannte, in *Physics Today*, Oktober 1999, mit seinem schönen Aufsatz „Jordan, Pauli, Politics, Brecht, and a Variable Gravitational Constant“. Unser Aufsatz zusammen mit dem angehängten Schriftenverzeichnis soll dazu anregen, in dieser Richtung weiterzugehen.

- [3] „...er war auch, so möchte ich sagen, nächst meinen Eltern derjenige Mensch, der den tiefsten, nachhaltigsten Einfluß auf mein Leben ausgeübt hat. Ich ... verdanke es zum wesentlichen Teile seiner väterlichen Gesinnung, dass inmitten damaliger Sorgen um die tägliche Existenz mein Studium durchführbar blieb. Ich hatte die Ehre, seit Beginn meiner Göttinger Studienjahre als bescheidene studentische Hilfskraft seine wissenschaftlichen Arbeiten etwas unterstützen zu dürfen; ...“ (Nachruf auf Max Born, in: *Begegnungen*, 1971). Andererseits schreibt Max Born über Jordan am 15. 7. 1925 an Albert Einstein: „... ist er doch ein besonders kluger, scharfsinniger Kopf, der viel schneller und sicherer denkt als ich. Überhaupt, meine jungen Leute, Heisenberg, Jordan, Hund, sind glänzend. Ich muß mich oft sehr anstrengen, um ihnen bei ihren Überlegungen auch nur folgen zu können.“ Diese beiden fast ein halbes Jahrhundert auseinander liegenden, aber denselben Zeitraum der frühen Quantenphysik betreffenden Zitate, werfen ein Licht auf das damalige Lehrer-Schüler Verhältnis im Kreis um Max Born, in dem so viele der wichtigen Arbeiten Jordans entstanden sind.

- [4] Diese Verlagskorrespondenz findet man im historischen Schriftgut-Archiv des Springer-Verlags. Es dokumentiert Autorenkontakte bis in die fünfziger Jahre des 19. Jahrhunderts und schließt ab mit dem Jahre 1936. Insbesondere ist es für die annus mirabiles von Jordan von Bedeutung, da gerade in den von Richard Courant gemeinsam mit W. Blaschke, M. Born und C. Runge herausgegebenen *Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete* – damals hat man sich noch was getraut bei der Wahl eines Reihentitels – und in der von M. Born und J. Franck herausgegebenen *Struktur der Materie in Einzeldarstellungen* im „Verlag von Julius Springer, Berlin“ zahlreiche Monografien zur neuen Quantenphysik und zur Funktionalanalysis erschienen sind. Das Archiv wird zur Zeit noch vom Nachfolgeverlag Springer Science in Heidelberg gepflegt.

Born war für den Verlag sowohl als Autor wie als Reihenherausgeber und Berater von sehr großer Bedeutung und entsprechend umfangreich ist die archivierte Korrespondenz mit ihm. Wir zitieren daraus Briefe zwischen Born und Springer, die sich auf die folgenden bei der Verlagsanstalt Julius Springer erschienen Quantentheoriebücher beziehen.

Born, Max: Vorlesungen über Atommechanik, 1. Band, 1925

Born, Max: Probleme der Atomdynamik, 1926

Born, Max und Jordan, Pascual: Elementare Quantenmechanik, 1930

Die im Text zitierten Briefe werden dort mit Datum und Namen der Korrespondenten genauer bezeichnet, was ausreichen sollte, sie in den Faszikeln des Archivs zu finden.

- [5] Pauli erwähnt noch zum 4. Kapitel: „...die ausführliche Entwicklung der allgemeinen Methoden der Störungstheorie, von denen man allerdings sagen kann, dass die aufgewandte Mühe nicht den erreichten Resultaten entspricht, zumal diese hauptsächlich negativ sind (Ungültigkeit der klassischen Mechanik im Helium-atom). Ob durch diese Methoden, wie der Verfasser meint, die Grundlage für die wahre Quantentheorie der Kopplung mehrerer Elektronen gelegt wird, wird erst die zukünftige Entwicklung der Theorie erweisen müssen.“ Die kritische Bemerkung zur Störungstheorie spielt auf eine gemeinsame Untersuchung von Born und Pauli an.

Diese Rezension erschien 1925 in *Die Naturwissenschaften*, 13. Jahrgang, 407 – 408. Pauli hat später den 2. Band *Elementare Quantenmechanik* wieder in der von Arnold Berliner herausgegebenen Zeitschrift *Die Naturwissenschaften*, Heft 18, 568 – 570, 1930, besprochen.

- [6] In „Albert Einstein, Hedwig und Max Born: *Briefwechsel 1916 – 1955*, Nymphenburger Verlagshandlung, 1969“ in seiner Anmerkung im Anschluss an Brief 51.

- [7] Am 22. Oktober 1928 schreibt Born an Springer [4], dass das Weylsche Buch Gruppentheorie und Quantenmechanik jetzt erschienen ist und er es „zum grössten Teil gelesen“ habe. „Es ist so schwer, dass es für die normalen Physiker gänzlich unzulänglich ist, und ich glaube, dass mein Buch eine sehr fühlbare Lücke ausfüllen wird.“

Eine auch hinsichtlich seiner Einstellung zur Rolle der Mathematik in der Physik (die Wigners berühmten Artikel in den *Comm. Pure & Appl. Math.* 13, 1960 vorwegnimmt) sehr lesenswerte Besprechung von Jordan ist in *den Naturwissenschaften*, Heft 22, 407 - 408, am 31. 5. 1929 erschienen. Dort meint Jordan anders als Born, dass „das WEYLSche Buch ... einem dringenden Bedürfnis vieler Physiker“ entspreche, stellt es doch das Nötige aus der Darstellungstheorie zusammen, und er lobt auch Weyls „überlegene Darstellung der Quantenmechanik“. Und dann klingt stolz an, wenn er fortfährt: „Die Schnelligkeit, mit der ein vor kurzem noch der Quantentheorie fernstehender Verfasser sich in diese Gedankengänge einleben konnte, bildet einen eindrucksvollen Beweis für die logische Geschlossenheit und die Überzeugungskraft der neuen Theorie“.

- [8] Annotation im Anschluss an Brief 60 in [6].

- [9] Born, Max: *Mein Leben. Die Erinnerungen des Nobelpreisträgers*. Nymphenburger Verlagshandlung, 1975.

Als Ergänzung soll man an dieser Stelle aus den Fußnoten von Schrödingers Artikel „Über das Verhältnis der Heisenber-Born-Jordan schen Quantenmechanik zu der meinen“, *Annalen der Physik*, 79, 1926, Seite 734 – 735 zwei Sätze zitieren, die Born und Jordan nicht gefreut haben dürften. „Ich erlaube mir im folgenden der Kürze halber die drei Autorennamen im allgemeinen durch den Heisenbergs zu ersetzen...“. Und soweit es die Matrizenmechanik betrifft, fühlte sich Schrödinger „durch die mir sehr schwierig erscheinenden Methoden der transzendenten Algebra und durch den Mangel an Anschaulichkeit abgeschreckt, um nicht zu sagen abgestoßen“. Der Herausgeber dieser damals ganz hoch geachteten Fachzeitschrift ließ das durchgehen.

- [10] Nimmt man beispielsweise die folgenden beiden Zitate aus der Born-Einstein Korrespondenz [6] hinzu, dann erkennt man wie Born, der über die oben beschriebenen sieben Jahre hinweg alle Anstrengungen unternommen hat, um in die Quantenphysik Ordnung und Struktur in Form einer monografischen Darstellung zu bringen, dem dabei der Gegenstand stets unter den Händen zerronnen ist, der in einer Periode hektischen Forschens auf höchstem Niveau dafür Zeit bis zur körperlichen Erschöpfung gegeben hat, darunter gelitten hat, dass die Fachwelt seiner Ansicht nach seinen Beitrag an der Dreimännerarbeit nicht genug anerkannt hat. Das eine Zitat findet sich nach Brief 51, wo er hinsichtlich der *Probleme der Atomdynamik* vermerkt: „Ich habe darin Heisenberg so ins Licht gestellt, daß mein Anteil an der Quantenmechanik in Amerika bis in die jüngste Zeit kaum beachtet wurde.“ Das zweite Zitat ist die Anmerkung zum Brief 114, aus der im Zusammenhang mit Jordan nur der Satz gebracht werden soll: „Um so größer war die Überraschung und Freude, zumal der [Nobel]Preis mir nicht für die mit Heisenberg und Jordan

gemeinsam gemachte Arbeit erteilt wurde, sondern für die von mir allein erdachte und begründete statistische Deutung der Wellenfunktion.“

Jordan unterstreicht in seinen 1975 erschienen Beiträgen zur Erinnerung an 50 Jahre Quantenmechanik in den Physikalischen Blättern Borns Rolle und erwähnt als Aperçu, dass der Ausdruck Quanten-Mechanik zuerst von Born gebraucht wurde.

- [11]1927 hat Jordan in *den Naturwissenschaften* einen Aufsatz „Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik“ veröffentlicht, wo seine Sicht zu diesem Thema schon dargelegt ist. In seinem Lehrbuch *Anschauliche Quantentheorie* schreibt er es pointierter so: „Die Matrizen-theorie der Quantenmechanik ist ja gar nichts anderes, als die Erfüllung der im BOHRschen Korrespondenzprinzip ausgedrückten Tendenzen, und kann ihrem Sinne nach nicht verstanden werden ohne vorheriges Verständnis des Korrespondenzprinzipes selbst.“ In seinem Artikel „Fünfzig Jahre Quantenmechanik“ fügt er dem noch einmal deutlich hinzu: „da [die Schrödingersche Theorie] mathematisch viel zugänglicher war als der etwas unbequeme Matrizenformalismus, so ist erst durch Schrödingers Methoden die Fülle der Anwendungen möglich geworden ...“, was wie ein Echo der Paulischen Rezension klingt.

1949 schreibt er mit Bezug auf Einsteins Lichtquantenhypothese, „mit der ihr Urheber so lange in geistiger Einsamkeit blieb“, und auf de Broglies Materiewellenansatz einerseits, sowie auf Bohrs Atomtheorie und auf die Spektraltheorie andererseits von „verschiedenen Entwicklungswegen in der Quantentheorie, die lange Jahre wenig Einfluß aufeinander ausgeübt haben – ihre beiderseitigen Vertreter waren geneigt, die Gedankengänge der anderen Richtung mit Achtung, aber auch mit viel Skepsis zu betrachten“. „...ehe dann Schrödinger mit seiner aus ganz anderen Gedankenkreisen herkommenden großen Arbeit die wunderbare Begegnung der nebeneinander verlaufenden Gedankenwege vollzog“. Und Jordan spricht von der „...glänzenden Leistung Schrödingers – von nicht wenigen Lesern als eine Erlösung aus der Matrizen-Qual begrüßt ...“ in dem Aufsatz „Der Weg zur Quanten- und Wellenmechanik“.

- [12]Hinsichtlich des genannten Datums zitieren wir den Brief, datiert am 7. November 1924, von Franck an Ferdinand Springer [4].

Im Vorwort von *Anregung von Quantensprüngen durch Stöße* steht das Credo der Bornschen Schule: „... erweist sich auch hier das BOHRsche Korrespondenzprinzip als zuverlässiger Führer“.

- [13]Dieses für die Wissenschaftsphilosophie wichtige Dokument war bereits 1927 in der Übersetzung von (Julius) Robert Oppenheimer unter dem Titel “Philosophical Foundations of Quantum Theory” in *Nature* erschienen.

- [14]Heilbron, J. L.: *The Dilemma of an Upright Man*, University of California Press, 1986, Seite 130.

- [15]Jordan wäre gerne in Hamburg, wo er als Nachfolger von Pauli einen Lehrauftrag wahrnimmt, geblieben. Nachdem das offenbar nicht möglich ist, nimmt er schließlich den Ruf nach Rostock an, wo er am 1. Oktober 1929 in sein Amt eingeführt wird. Er wollte eigentlich unter Berufung auf die beabsichtigte Fertigstellung eines umfangreichen wissenschaftlichen Werks mit Born erst zum April 1930 kommen. Hier ist wohl der zweite Band der Atommechanik gemeint. Man findet diese Information und noch mehr in dem Aufsatz von Angela Hartwig „Der Physiker Pascual Jordan (1902 – 1980) an der Rostocker Universität. Naturwissenschaftliche und technische Überlieferungen im Rostocker Universitätsarchiv“ in *Naturwissenschaften und Archive*, Berichte zur Frühjahrstagung der Fachgruppe 8 des Verbandes Deutscher Archivarinnen und Archivare, Rostock 27. 3. 2001.

Am 12. 4. 1930 heiratet Jordan Hertha Stahn. Die Jordans bleiben bis Kriegsende in Rostock. Dann wird ihr Haus von der russischen Militäradministration besetzt. Jordan fängt nach dem Krieg in Hamburg neu an, und ist dort von 1953 bis zur Emeritierung 1971 Ordentlicher Professor am Physikalischen Institut.

- [16]Ein Archiv zu Pascual Jordan findet man in der Staatsbibliothek Preussischer Kulturbesitz in Berlin. Dorthin wird nach Jordans Tod ein Teil seines schriftlichen Nachlasses verbracht, einige Manuskriptteile und Buchausgaben waren noch im Mai 1985 im Besitz von Frau Jordan. Nach deren Tod wird eine zweite Lieferung an die Staatsbibliothek übergeben.

Bei der Zusammenstellung der Bibliografie habe ich Hinweise und Hilfe von Kollegen bekommen, von denen ich namentlich G. Münster und K. v. Meyenn nennen möchte. Wertvoll war es auch, das Verzeichnis von Francisco A. Marcano Trujillo sehen zu können. Es ist das einzige umfangreiche (über 300 Einträge), aber die Quellenangaben sind auch dort unzuverlässig.

[17]Der Nachlass von Eugene Wigner befindet sich in der Wigner Collection im Department of Rare Books and Special Collections, Princeton University Library, 1 Washington Rd, Princeton, New Jersey, USA. Der angesprochene Brief befindet sich in Eugene Wigner Papers, Box 55, folder 7, correspondence with Pascual Jordan.

[18]1975 in Philosophie in Selbstdarstellung [1]. Jordan spricht dies des öfteren an, insbesondere in seiner „Vita“, die er 1979 an Wigner schickt. Dort bricht es auch wieder aus ihm heraus, dass fehlende Anerkennung ihn an seinem Programm zweifeln ließen: „However I did not succeed in convincing other physicists for my program. M. Born was friendly against me, without being convinced. Heisenberg was uninterested. A long time I could interest Pauli in my problem.....”

[19]Siehe dazu auch Helge S. Kragh: *DIRAC: A Scientific Biography*, Cambridge University Press, 1990.

[20]Schroer, Bert: “Pascual Jordan, his contributions to quantum mechanics and his legacy in contemporary local quantum physics”, 2003. In ihrem lesenswerten historischen Teil wird die Geschichte der frühen Quantenfeldtheorie in ihrer Beziehung zu Jordan sorgfältig aufgearbeitet und im Zusammenhang mit der später entwickelten Lokalen Quantenfeldtheorie diskutiert. In dieser Darstellung erscheint Jordan als vorausschauender Visionär und umso unerklärlicher bleibt es, dass er sich später nie mehr an den Entwicklungen der Quantenfeldtheorie beteiligt, nicht einmal Stellung dazu bezieht. Schroers Arbeit ist m. W. derzeit nur im [arXiv: hep-th/ 0303241](https://arxiv.org/abs/hep-th/0303241) vZ zu bekommen.

[21]Heisenberg, Werner: *The Physical Principles of the Quantum Theory*, University of Chicago Press, 1930, abgedruckt in Heisenbergs *Gesammelten Werken*, Serie B, Springer-Verlag, 1984 (Hrg. W. Blum, H.-P. Dürr, H. Rechenberg).

P. A. M. Dirac: *The Principles of Quantum Mechanics*, Oxford at the Clarendon Press, 1930.

Johann v. Neumann: *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer-Verlag, 1932.

Pauli, Wolfgang: *Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik*, in: *Handbuch der Physik*, Band XXIV/1, 2. Auflage, (Hrg. Geiger, H., Scheel, W.), 1933. Zu diesem Werk nehme man W. Pauli, *Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik*, (neu herausgegeben und mit historischen Anmerkungen versehen von N. Straumann), Springer-Verlag, 1990, zur Hand. (In Paulis erstem Handbucharikel zur Quantentheorie im *Handbuch der Physik* (Hrg. H. Geiger, W. Scheel) Band XXIII, Julius Springer, 1926, „blieben die bedeutungsvollen Arbeiten von ..Heisenberg ... Dirac ... Born & Jordan ...noch unberücksichtigt.“)

Wigner, Eugene: *Gruppentheorie und ihre Anwendung auf die Quantenmechanik der Atomspektren*, Vieweg, 1931.

Schrödinger hat seine *Abhandlungen zur Wellenmechanik*, Nachdrucke der Originalartikel mit einem kommentierten Inhaltsverzeichnis, 1927 im Verlag von Johann Ambrosius Bath herausgebracht. Weyls Buch von 1928 ist oben erwähnt worden [7].

[22]Dies ist der erste Brief dieser Korrespondenz, wo der bisher ergebene, sehr ergebene oder hochachtungsvoll ergebene P. Jordan ein Heil Hitler! dazusetzt. Am 16. Juni 1936 schickt Springer das Vorexemplar des gedruckten Buches „Mit deutschem Gruß Ihr sehr ergebener“. Die Zeiten sind härter geworden, aber die Grußformeln fluktuieren im weiteren. Jordan erbittet gebundene Freistücke für Born, Planck, Fermi, Pauli und Berliner, geheftete Freixemplare für Debye, Dirac, de Broglie, Philip Frank, Fock, Iwanenko, von Neumann, Nishina und Schrödinger [4].

[23]Rezension von W. Heisenberg in *den Naturwissenschaften*, Heft 35, 558 – 559, 1936.

[24]Jordan hat als Student Richard Courant bei der Abfassung des ersten Bandes von R. Courant, D. Hilbert: *Methoden der Mathematischen Physik*, Band 1, Julius Springer, 1924, geholfen. Richard Courant erwähnt das in einer Danksagung an „seine treuen Helfer bei der Herstellung des Manuskripts und der sauren Arbeit der Korrektur“. Diese fehlt in den späteren Auflagen. Der COURANT-HILBERT ist ein Klassiker der Funktionalanalysis, speziell im Hinblick auf die

Anwendungen in der Physik. Born und Jordan zitieren das Buch in ihrer ersten Arbeit 1925. Später schreibt Jordan in *Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage*: „Courant ... hat in einem berühmten, damals entstandenen Buche über die Methoden der mathematischen Physik treffsicher gerade diejenigen Probleme in den Vordergrund gestellt, die hernach, als SCHRÖDINGERS „Wellenmechanik“ entstanden war, zum täglichen Brot der theoretisch arbeitenden Atomphysiker wurden – eine ganze Generation von theoretischen Physikern hat aus diesem Buche wichtigste Teile ihres Handwerkszeuges bezogen.“ Die Methoden sind Jordan bei seinen Arbeiten zur Quantenphysik sicher eine Hilfe gewesen, helfen aber nicht hinsichtlich der differentialgeometrischen Methode, auf der Einsteins Gravitationstheorie aufbaut. Jordan musste sich in die Differentialgeometrie neu einarbeiten und hat dies in einer Weise getan, die ihn als kreativen Mathematiker ausweist.

Jordans Buch *Schwerkraft und Weltall* hat Pauli, der ja seit frühester Jugend als Experte für die Einsteinsche Theorie gilt, 1953 in Zürich für seine Vorlesung über Relativitätstheorie, die sein Assistent Fierz ausgearbeitet hat, verwendet und wohl einiges im Detail kommentiert; jedenfalls wird in der zweiten Auflage des Buchs (1954) vielfach auf Pauli verwiesen.

- [25] Jordan betreibt in dieser Periode seines Schaffens in Hamburg ein sehr erfolgreiches Seminar zur Allgemeinen Relativitätstheorie. Es ist weltweit anerkannt und heute mag man es sehen als die Keimzelle der Sektion Gravitation und Relativitätstheorie in der DPG und ebenso des Albert Einstein Instituts der MPG in Gollm. Es ist sein nicht zu unterschätzendes Verdienst, in Deutschland die Relativitätstheorie, die seit Einsteins Weggang und unter den Angriffen der „Deutschen Physik“ ausgetrocknet war, wieder etabliert zu haben. 1960 – 1964 war die Blütezeit dieser sehr aktiven Gruppe junger Relativisten. Die Gruppe hat im Geiste Jordans, der sich – wie oben erwähnt – Einsteins Theorie neu erarbeiten wollte, systematisch die exakten Lösungen der Feldgleichungen studiert, insbesondere im Hinblick auf die Kovarianz der darin enthaltenen Aussagen. Jordan hat für diese Forschung Drittmittel durch private Kontakte und u. a. über die Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz und über das Office of Aerospace Research (OAR) eingeworben. Viele Arbeiten sind in den Abhandlungen der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie und in Form von Vorabdrucken in den Berichten des OAR erschienen. Soweit Jordan in der bibliografischen Zitierung auftritt sind diese Veröffentlichungen ins Schriftenverzeichnis Jordans aufgenommen worden, auch wenn er keinen Anteil an den Arbeiten hat. Die OAR Berichte sind z. Teil nützliche Zusammenfassungen oder auch Vorarbeiten zu manchen Untersuchungen Jordans aus dieser Zeit.

Die Schaffung des OAR ist Teil der Geschichte der ersten großen, und schließlich auf Dauer angelegten Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und dem Militär, das bei Bedarf Geheimhaltung der Projekte und Ergebnisse auch von den sonst anderes gewohnten Forschern an zivilen Einrichtungen forderte, in den USA. 1940 hat Roosevelt auf Anregung von Vannevar Bush, Professor am MIT, das Office of Scientific Research and Development gegründet, dessen Aufgabe es war, Forschung für kriegsbezogene Bedürfnisse zur Verfügung zu stellen. Die Luft- und Seestreitkräfte waren am meisten daran interessiert. Über Zwischenstufen wurde 1951 das Air Force Office of Scientific Research gegründet und 1961 hat das Air Force Scientific Advisory Board empfohlen das OAR als selbständige Organisation des Hauptquartiers der US Luftwaffe zu gründen. In den 60er Jahren wurden über 2500 Wissenschaftler finanziell bei ihrer Forschung unterstützt, darunter auch die Hamburger Gruppe. Ihre Mittel hat die ARL (Aeronautical Research Laboratories, Ohio) über Joshua N. Goldberg zugewiesen bekommen. Angeregt wurde die Unterstützung Jordans auch durch Peter Bergmann, ehemals Einsteins Assistent in Princeton. Goldberg berichtet, dass Bewerber aus politischen Gründen nicht unterstützt werden konnten, sagt dann hinsichtlich Jordans: „There was no corresponding hesitation to support Jordan, although he had been close to the Nazi government“. Was Goldberg selbst nicht so gut gefiel; jedoch im Interesse der jungen Mitarbeiter hat er sich dann doch um die Durchführung des Programms vorbildlich gekümmert.

- [26] Jordans Artikel „Über Verallgemeinerungsmöglichkeiten des Formalismus der Quantenmechanik“ (1933) macht gewissermaßen den Anfang. Welch reichhaltige mathematische Struktur Jordan durch intelligentes Probieren axiomatisch herausgeschält hat wird eindrucksvoll dargestellt in dem – auch vom historischen Standpunkt interessanten – einführenden Buch von McCrimmon, Kevin: *A Taste of Jordan Algebras* Springer-Verlag, 2003. Dass sich die mathematische Physik noch heute um diese Strukturen kümmert, erfährt man detailliert in Landsman, N. P.: *Mathematical Topics Between Classical and Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, 1998. Die Quantisierungsfragen und der Observablenbegriff dort schließen offenbar an

Dirac und von Neumann, und damit an Jordans ursprüngliche Untersuchungen, an. Es ist eine unmittelbare mathematische Konsequenz der Born-Jordan Formel, dass man nach unendlichdimensionalen Räumen suchen muss, wenn man Quantenobservable als Operatoren realisieren will (In „Zur Quantenmechanik“, Seite 870, bemerken die Verfasser, dass man sogar aus unbeschränkte Operatoren ausweichen muss). Daher reicht das Jordan-Neumann-Wigner Theorem noch nicht aus, um die gestellte Frage Jordans zu klären, und trotzdem hat Jordan danach seine Suche in diese Richtung aufgegeben gehabt.

Im Zusammenhang mit Quantenlogik und Verbandstheorie ist die Entwicklung in USA, aufbauend auf von Neumanns Ideen – eine Auswirkung des Exodus großer Wissenschaftler in der Hitlerzeit – weitergegangen in eine Richtung, die recht klar dargestellt wird in dem sehr empfehlenswerten Buch von V. S. Varadarajan: *Geometry of Quantum Theory*, 2nd edition, Springer-Verlag, 1985, das auch schöne Hinweise auf die historische Entwicklung, insbesondere der algebraischen Quantentheorie, enthält.

- [27]Bohr, Niels: „Licht und Leben“, *Die Naturwissenschaften*, 21. Jhg., 245 – 250, 1933. Bohr hat das Thema kurz vor seinem Tod noch einmal aufgegriffen in einem Vortrag, den er auf Einladung von Max Delbrück in Köln gehalten hatte. Eine deutsche Fassung des benutzten Vortragsmanuskripts findet sich unter dem Titel „Licht und Leben – noch einmal“ in dem Buch: *Niels Bohr, 1885 – 1962. Der Kopenhagener Geist in der Physik*, Vieweg, 1985, das von K. v. Meyenn, K. Stolzenberg und R. U. Sexl herausgegeben wurde. Dieser zweite Aufsatz entsteht etwa 10 Jahre nach der Entschlüsselung des Aufbaus der DNA durch Crick und Watson, was es reizvoll macht, ihn mit dem ersten zu vergleichen, aber auch mit den Jordanschen Untersuchungen in dem oben angegebenen Zeitraum.

Jordans kühne Erklärung der Urzeugung macht das Entstehen des Lebens zu einem mikrophysikalischen Vorgang. Bohr hat in seinem Aufsatz „Was ist Licht“ daran gedacht, dass in der Biologie analog zur Lage in der Physik Gesetzmäßigkeiten mit Komplementaritätscharakter vorliegen könnten, besondere Gesetzlichkeiten für die Beschreibung des organischen Lebens, „die zum Teil nicht mehr auf die heute bekannte Physik (einschließlich Quantenphysik) zurückführbar sein dürfte“ – so zitiert Jordan Bohr in *Verdrängung und Komplementarität*. In *Der Gescheiterte Aufstand* (1956) macht er deutlich, dass die feineren Strukturelemente der Materie, die sich der kausalen Vorausbestimmtheit entziehen und eine Entscheidungsfreiheit haben, die erst in der „strukturlosen Vermassung oberweltlicher Molekülanhäufung statistisch untergeht“, und diese Oberwelt in organischen Steuerungsverhältnissen zusammenhängen sollten. Und dann folgt, was er betrachtet als eine, „zum mindesten als wesentliches Stück einer solchen Definition: Das Leben ist die in einem Aufbau von Steuerungsverhältnissen sich entfaltende oberweltliche Auswirkung der unterweltlichen Entscheidungsfreiheit“.

Hinsichtlich der Psychologie, die, wie Jordan schreibt, „ja als Teil der Biologie betrachtet werden kann“, und wo man auf Erscheinungen stößt, die eine Begrenzung der Objektivierbarkeit bedingen, entsteht „die Aufgabe, *Freuds* Theorie des „Unbewussten“ auf ihre Beziehungen zu der *Bohrschen* Vermutung biologischer Komplementaritätserscheinungen zu prüfen“ (in *Verdrängung und Komplementarität*, 1947) und von dort aus weiterzuentwickeln. Jordan findet, dass „meine Gegenstandswelt und mein Bewusstseinsraum ihrer Definition gemäß dieselbe Sache sind“ und dass die Komplementarität dort zu finden sei, „wo die Psychologie des Unbewussten ins Spiel kommt“. Jordan, der sich nicht den Auffassungen *Freuds* anschließen mag, behandelt dann Fragen der Verdrängung oder die des freien Willens.

- [28]Ein Bild von dieser Tätigkeit und ihrer Bewertung durch die Biologen findet man in der zweiten, durch Kurt Sommermeyer ergänzten Auflage von Dessauer, Friedrich: *Quantenbiologie. Einführung in einen neuen Wissenszweig*, Springer-Verlag, 1964. Die erste Auflage ist 1958 erschienen und würdigt Jordans Beiträge als erfolgreiche theoretische Bemühungen zur Ausbildung der Verstärkertheorie. Er schreibt weiter Jordan zu: Die „wichtigen Konzeptionen der Ionisierungsdichte, des Sättigungseffekts (Übermaß an Ionenpaaren) und des Konzentrationseffekts (das wirksame Volumen ist so klein, so daß trotz vieler erzeugter Ionenpaare gar keine Einwirkung darin stattfindet)“. Friedrich Dessauer (1881 – 1963) gilt vielen als der Begründer der Quantenbiologie. Jordan hat ihn hoch geschätzt. Im Zusammenhang mit Jordans Schriften zum Problem eines Nuklearkrieges sollte man auch einen Blick in das Buch *Atomenergie und Atombombe* (zweite stark erweiterte Auflage 1948 im Verlag Josef Knecht), vor allem das abschließende kurze Kapitel über die Macht der Technik und die Macht der Ethik, von

Dessauer, der selbst an den Spätfolgen eines 30 Jahre vorher erlittenen Strahlenschadens verstorben ist, werfen.

- [29]Man sagt immer, Jordan habe so viel geschrieben, um sein Universitätssalär soweit aufzubessern, dass er seiner Familie in Hamburg ein gepflegtes und auch gesellschaftlich reges Familienleben ermöglichen könne. Sicherlich haben seine Vortragstätigkeit und seine Bücher Geld gebracht. Wir wissen aus dem Brief vom 7. 11. 1924 von J. Franck an Springer, dass er „ein Honorar von monatlich 100.- Mk“ bekommen sollte, aber, so J. Franck, „Ich glaube kaum, der genannte Vorschuß über 6 – 700.- Mk insgesamt hinausgehen wird.“ Das ist als Unterstützung eines armen Studenten gedacht [2]. Am Ende war es für den Koautor von Buch und Handbuchartikel hoffentlich deutlich mehr. Jedenfalls finden wir im Brief vom 13. 1. 1930 nach Erhalt des gedruckten Werks mit Born: „Von den mir zu überweisenden 2708.50 M wollen Sie bitte 2000 M überweisen auf mein Konto ... ferner 500 M an Frau Professor E. Jordan, Hannover, Friedrichstr. 12 und den Rest mir vorläufig gutschreiben“ (sic!). Für sein eigenes Quantenmechanikbuch erbittet er mehrfach Vorschuss. Die Verlagskalkulation vom 8. Juni 1936 gibt eine Auflage von 2000 Exemplaren an und rechnet für das gebundene Exemplar mit 1.80 RM, für das geheftete mit 1. 50 RM. Im Brief vom 16. Juni von Springer an Jordan steht dann lapidar: „...so dass sich ein Nettopreis von RM 8.—ergibt. Ihr Anteil beträgt demnach RM 1.20 für jedes verkaufte Buch.“ In der Zeit nach dem Krieg und noch ohne Anstellung in Hamburg war Jordan bestimmt jeder Groschen willkommen. So findet man 1946 – 1956 eine deutliche Häufung von populären Schriften und Büchern, jährlich zwei bis dreimal so viele als in den anderen Jahren.
- [30]In seinem Nachruf „Gedenken an Niels Bohr“ (1963) schreibt er von den Schwierigkeiten, diesen bewunderten Denker zu verstehen, „...daß er in seinen bedeutetsten Gedanken als ein im Nebel Suchender sprach – mit jenem ihm eigentümlichen Sehvermögen oder Ahnungsvermögen, das gerade im Nebel zu erkennen vermochte...“ An anderer Stelle meint er, das die unklare Ausdrucksweise Bohrs beabsichtigt und der Sache angemessen sei. In dem Aufsatz spricht er konkret das Korrespondenzprinzip an: „enge Ähnlichkeit der Quantengesetze zu denen der klassischen Physik, ...andererseits etwas wirklich Neues, was nicht in irgendeiner Weise durch klassische Physik erklärt oder auf sie zurückgeführt, sondern als Neues hinzugenommen werden wollte“. Und er hebt den für Jordan so wichtigen Gedanken der Komplementarität heraus.
- [31]Natural Philosophy ist ein Ausdruck, der auf die enge Beziehung zwischen den frühen Naturwissenschaften und der damals weit angesehenen Philosophie hinweist, der aber in seiner deutschen Übersetzung als Naturphilosophie beim Physiker eher Unbehagen hervorruft. Spätestens mit Newton und Leibniz hat die mathematische die philosophische Methode verdrängt und die moderne Naturwissenschaft ging ihren eigenen Weg. Es hat aber immer wieder Physiker gegeben, die sich philosophischen Fragestellungen verpflichtet fühlten, nie aber so viele wie im 20. Jahrhundert. Schon die Spezielle Relativitätstheorie, aber noch viel mehr die Quantentheorie, die sich zusätzlich noch vom primär differentialgeometrischen Bild der klassischen Physik radikal gelöst hat, verlangten ein tiefgreifendes Umdenken. Und Jordan sieht das dann als Aufgabe: „Die Physiker sind durch den Zwang der Verhältnisse dazu geführt worden, die tiefsten Fragen der physikalischen Erkenntnis auf ihre eigene Weise zu durchdenken; und von den Erfahrungen aus,...Antworten zu entwickeln, deren Unausweichlichkeit eben nur aus sicherer, überlegener Kenntnis dieser Erfahrungen heraus zu verstehen ist.“ Er fordert vom forschenden Physiker diese Leistung und sieht darin eine Verpflichtung ein Publikum außerhalb des engen Fachs anzusprechen.
- Zum angesprochenen Thema ist das Buch von Erhard Scheibe: *Die Philosophie der Physiker*, C.H. Beck, 2006, eine hervorragende Analyse des Problems und eine Bestätigung der Jordanschen Auffassung, dass Physiker in dieser Entwicklungsphase einer ganz neuen Physik mit Notwendigkeit philosophisch denken mussten.
- [32]Die in den 30er Jahren allgegenwärtige Ersetzung parlamentarischer durch diktatorische Methoden, wie er auch schreibt, als „Ausdruck einer ... revolutionären Umbildung unseres gesamten Denkens, Wertens und Handelns“ ist dabei mitgemeint, wenn er die Staatsmänner Europas anspricht.
- [33]Jordan hat an den hier vorausgedachten Programmen zur nuklearen Energiegewinnung nie teilgenommen. In den fünfziger Jahren hat er zur friedlichen Nutzung der Kernenergie Stellung genommen, sich vielleicht als Bundestagsabgeordneter an der Gesetzesarbeit zu diesem Komplex beteiligt. In *Atomkraft. Drohung und Versprechen* – häufig verstanden als Propagandaschrift im

Vorfeld seiner Wahl in den Bundestag – sieht er sie wegen der beschränkten Rohstoffvorkommen nicht als Lösung des Energieproblems an, sondern setzt auf Sonnenenergie, worunter er Fusionsreaktoren versteht. Er befürwortet den Reaktorbau, denkt aber auch an nukleare Antriebsaggregate für Kriegsschiffe, was übrigens seiner Meinung nach auch das Ziel des „Uranvereins“ im Kriege gewesen sein soll (Seite 29). Als dritte Anwendung setzt er sich für den verstärkten Einsatz von Isotopen in Medizin und Technik ein.

- [34]Dieser Satz wurde von den damaligen Machthabern Gott sei dank nicht gelesen. Jordans Äußerungen zu Kernbomben sind eine eigene Untersuchung wert, die hier nicht geleistet werden kann. In *Physik im Vordringen* (1949) beeindruckt ihn die straffe Organisation des Manhattan Projekts, das ja das von ihm vorgestellte Szenarium von 1935 umgesetzt hat. Vgl. [25]. Wo doch nur „das sachliche, hochentwickelte Können“ der Forscher und Techniker zu sicherer Überlegenheit führt, sieht er die Schaffung der Bombe als einen weltgeschichtlichen Vorgang hinsichtlich der Entfaltung neuer Methoden und Beziehungen von Forschung zur Politik. Das Manhattan Programm ist für ihn ein „Experiment“ – später, 1954, von ihm das größte der Weltgeschichte genannt – „mit Hunderttausenden von notwendigen Beteiligten gestartet“, das man „unmöglich in kleinerem Maßstab hätte versuchen“ können. Und ohne den „Wagemut der beteiligten Wissenschaftler und dem Vertrauen der Staatsführung“ wäre von einem „höheren Willen dem Menschen dieser wunderbare Sieg nicht gewährt worden“. Auf moralische Wertungen wolle er verzichten und nüchtern feststellen, dass „die Bombe so gewaltig sie in ihren Ausmaßen ist, weder dem Bilde der Technik noch dem Bilde des Menschen etwas grundsätzlich neues hinzugefügt hat. Dresden war nicht weniger entsetzlich als Hiroshima“. Derartige Worte haben Jordans Freunde der glücklichen Göttinger Jahre tief verletzt, um so mehr als Adenauers Parteigänger gegen die Erklärung vom 18. 4. 1957, in der 18 Göttinger Physiker die Bundesregierung zu einem Verzicht auf Kernwaffen auffordern, mit seiner Zustimmung aus Jordans *Atomkraft* ihre Argumente beziehen. Es ist vor allem seine Auffassung, dass „die Illusion widerlegt wurde, daß der technische Fortschritt der Menschheit von selbst auch einen ethischen Fortschritt mit sich bringe“, die ihn glauben läßt, man könne Atomwaffenabwürfe nicht verhindern und solle besser den möglichen Schutzmaßnahmen mehr Aufmerksamkeit widmen, eine Haltung, die Wigner in Amerika vehement vertreten hat. Und Russels Ratschläge will er mit Vorsicht behandelt wissen mit dem Hinweis, „...daß die schlummernden Explosivkräfte der Materie nun .. benutzbar geworden sind, das ist nicht mehr rückgängig zu machen“. Als Antwort auf das Einstein-Russel Manifest vom 11. 4. 1955 schreibt er, dass „der Ausbruch eines Atomkrieges sehr unwahrscheinlich“ ist, „daß aber die Möglichkeit dazu bestehen bleiben wird, und daß es einen diese Gefahr aufhebenden Prozeß der ethischen Veränderung der Menschheit leider nicht gibt“.

Im Zusammenhang mit der obigen Bewertung des Manhattan Projekts als Experiment ist folgendes erwähnenswert. In *Physik im Vordringen* stellt Jordan ein gedankliches, seiner Meinung nach aber in Amerika schon ernsthaft verfolgtes Experiment vor, „das nicht mehr mit den Belanglosigkeiten der Weltgeschichte, sondern nur mehr mit großen Ereignissen der Geschichte des organischen Lebens verglichen werden kann“: Er spricht davon, „...vermittels einer Rakete eine Atombombe auf den Mond hinauf zu schießen.“

- [35]Jordan spricht hier ein Thema an, dass 10 Jahre später in den Brennpunkt der Diskussion kommen sollte: Die Verantwortung der Wissenschaftler. Dazu haben gerade Franck und Oppenheimer, Mitarbeiter am Manhattan Projekt aber auch Begleiter seiner Göttinger Jugendjahre, angesichts der Kernbomben Wichtiges beigetragen. Auch bei Jordan finden wir 1957, dem Jahr als er als Abgeordneter in den deutschen Bundestag eingezogen war, eine Wiederaufnahme seines vorausschauenden Gedankens von 1935. Seine vielbesprochene von den Göttinger 18 abweichende Position in der sogenannten Atomdebatte steht insofern dazu nicht in Widerspruch als damals die Auswirkungen der Forschungsarbeiten längst auf dramatischste Weise öffentlich geworden waren.

Aber in seinen Schriften spielt die Ethik eine eher untergeordnete Rolle. In den von ihm für eine Veröffentlichung in seinen Büchern ausgewählten Aufsätzen finden wir einen etwas skurrilen zu diesem Thema. Er sieht in den Bemühungen um diese „Teildisziplin der Philosophie“ das zentrale Problem darin, „den verpflichtenden Charakter .. grundlegender Wertschätzungen und Forderungen überzeugend darzutun“. Und so findet man in *Das Bild der modernen Physik* einen Aufsatz zur „streng empirischen und deskriptiven Wertlehre“. „Ursprüngliche und überbiologische Wertschätzungen treten in besonderer Reinheit und Deutlichkeit in der Sammlertätigkeit hervor“ und ein „*formales* Kriterium für die Bewertung als Sammelobjekt ist

die *Seltenheit* des fraglichen Gegenstandes“. Und er findet, dass „die Tendenz menschlichen Wertstrebens – einfach ausgedrückt – der Tendenz der *Entropievermehrung* entgegengesetzt ist“. Es ist vermutlich korrekt, wenn man annimmt, dass für Jordan das Ethikproblem in seiner Religiosität abschließend erfasst ist

[36] Das verweist auf die Politik des Patts im Wettrüsten der Nachkriegsjahre. Jordan steht in diesem Lager auch in der späteren Bundesrepublik. Als Beispiel für Stabilisieren durch Waffensysteme sei sein Satz genannt: „...daß der russische Vormarsch nicht an der Elbe stehen geblieben wäre, wenn nicht [die Kernbomben] plötzlich Amerika in der Rolle der stärksten und gefährlichsten Macht der Welt gezeigt hätten“. Er unterstützt die Haltung der bürgerlichen Parteien, wonach „die Soldaten der Bundeswehr durch ihr Vorhandensein den Frieden garantieren“. Zu den weltumspannenden Machtkonstellationen hat er auch, wie Einstein, eine Weltregierung oder einen starken Völkerbund angedacht.

[37] Diese unter Mächtigen bis heute häufig anerkannte Auffassung hat bei Jordan seine Wurzel in seiner Haltung zur Elite. Diese durchzieht sein Denken und Erleben in mannigfacher Weise und wird später zur Sprache kommen. Es mag auch zum Teil erklären, warum Jordan der erst so erfolgreichen Hitlerpartei so schnell seine Gefolgschaft angeboten hat, indem er gleich 1933 in NSDAP und SA eingetreten ist. Es mag seine Hoffnung gewesen sein, dass der Stärkste die widerstreitenden Interessen der innerpolitischen Gruppierungen zur Einheit zwingen könnte. Das Wie ist für ihn erst danach sichtbar geworden und hat zu einer nachträglichen Verurteilung der Hitlerzeit geführt.

[38] Jordan zitiert hier Schrödinger, der gerade dies für die moderne Physik behauptet haben soll (Vgl. den Akademievortrag Schrödingers: „Ist die Naturwissenschaft milieubedingt“, abgedruckt 1932 im Verlag Ambrosius Barth, Leipzig). Etwa 60 Jahre später werden diese Fragen in mehreren Essays diskutiert, die zusammen erscheinen in: K. von Meyenn: *Quantenmechanik und Weimarer Republik*, Vieweg, 1994. Die dort von Forman diskutierte, der Technik und den Naturwissenschaften feindliche Umgebung der Weimarer Zeit wird von Jordan des öfteren angeprangert und erscheint bei ihm nach 1945 als ein wesentliches persönliches Motiv für das Schreiben aufklärender und bildender Schriften für die Allgemeinheit [31].

[39] Die letzten zwei Seiten benutzen eine martialische Sprache. Zu der martialischen Sprache, die in dem besprochenen Aufsatz den Unterschied der Mathematik der Deutschen und der Franzosen mit dem Unterschied ihrer Maschinengewehre vergleicht – in beiden Fällen zählt nur, was am Ende beim Einsatz rauskommt – ist ein Hinweis auf einen Jordanschen Tick anzufügen. Er bringt immer wieder, will er in seinen Schriften komplexe Sachverhalte verdeutlichen, bildhafte Vergleiche unter Heranziehung kriegerischer Bilder. Zur Absorption der Strahlung liest man: „...indem man Atome mit kleinen Schießscheiben vergleicht, die von Gewehrkugeln entweder getroffen oder nicht getroffen werden“. Oder will man das Gewimmel der Gasatome verfolgen, würde man bestenfalls statistisch berechnen können, „wie viel Verluste ein großer Truppenverband an einem Kampftag hat“. Und Photonen in einem Lichtstrahl werden von Jordan veranschaulicht mit der Kugelsalve aus einem Maschinengewehr.

Die letzten zwei Seiten enthalten aber auch eine Zurückweisung der damals von eifrigen Parteigängern Hitlers erfundenen „Deutschen Mathematik“. In dieser Verurteilung geht Jordan aber noch weiter – und das ist interessant – indem er sogar die ganze mathematische Wissenschaft von der besprochenen Entobjektivierung ausnimmt. Er setzt sie damit von der Physik ab. Man soll das im Zusammenhang mit dem oben zur Rolle der Mathematik in Jordans Denken Gesagten vergleichen. Das ist untersuchenswert im Hinblick auf Jordans positivistischen Ansatz, für den man ja immer einen Anker benötigt, um ihn vor Solipsismen zu schützen. Hier wäre ein solcher zu finden.

Zu Jordans Rolle als Parteigänger des damaligen Regimes in seiner Rostocker Zeit findet man Hinweise in D. Hoffmann: „Pascual Jordan im dritten Reich – Schlaglichter, Preprint 248, MPI für Wissenschaftsgeschichte, 2003, und auch in [2], [41]. Dieser weist auf Jordans parteipolitische Schriften in der *Rostocker Studentenzeitung*, in *Deutschlands Erneuerung* etc. hin, die auch ins Schriftenverzeichnis aufgenommen wurden. Jordan hat in dieser Zeit auch unter dem Pseudonym „Ernst Domeier“ in dem Periodikum *Deutsches Volkstum* Aufsätze geschrieben. Dies wird einerseits nahegelegt durch die Tatsache, dass Jordans zweiter Vorname Ernst ist und Domeier der Name der mütterlichen Vorfahren. Andererseits befindet sich im Nachlass Jordan in Berlin ein Brief Jordans an den Sohn von Dr. Wilhelm Stapel, dem damaligen Herausgeber der

Zeitschrift, der auf ihn als Autor der Domeierschen Artikel hinweist. Deshalb sind die Quellenangaben zu diesen ins Schriftenverzeichnis von Jordan aufgenommen worden. Zu dieser Art Aufsätze ist noch mehr Quellenarbeit nötig.

[40] In Jordans Besitz hat sich das Buch von E. Rack: *Das Problem der Elite* (1950) befunden. Es ist im Diktus Jordans geschrieben, teilweise mit Wendungen, die er in seinen Schriften benutzt. In der Schrift wird der Ordensgedanke mit seinen Eckwerten Gehorsam und lebenslange Pflichterfüllung benutzt, um eine Führungsschicht durch Bildung ordensähnlicher Gemeinschaften heraus zu kristallisieren. Dem Ordensmodell liegt auch die Überzeugung zugrunde, dass nur der christliche Mensch befugter und berufener Regierender sein kann. Viel Raum wird der Geschichte des Deutschen Ordens und der baltischen Ritterschaft gegeben. Es wird auf die Erfahrungen der Michaels-Bruderschaft und der nach dem Krieg gegründeten Baltischen Bruderschaft zurückverwiesen. Jordan war Mitglied der Baltischen Bruderschaft. Diese Bemerkungen und der Gleichklang der geäußerten Überzeugungen zur Elite sind der Anlass dafür, dass das Buch des Autors Rack ins Schriftenverzeichnis aufgenommen wurde. Sie stützen die Aussage von Frau Jordan, dass Ihrer Erinnerung nach Rack synonym für Pascual Jordan steht. In Jordans Exemplar steht handschriftlich neben dem Namen Rack „= Vati“ und auf dem Buchdeckel „Pseudonym von Pascual“.

[41] Jordans philosophischer Beitrag zur Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik wird von M. Jammer und M. Beller besprochen [2]. Unter der Anleitung von H. Ley wurden an der Berliner Humboldt Universität zwei Doktorarbeiten geschrieben. Zum einen von Georg Domin: *Auseinandersetzung mit der weltanschaulichen Position Pascual JORDANS unter besonderer Berücksichtigung seiner Auffassungen zu einigen Grundproblemen der Biologie*, Berlin 1962. Und zum anderen die lesenswerte Arbeit von Hubert Laitko: *Zur philosophischen Konzeption des Physikers Pascual Jordan. Versuch einer kritischen Analyse*, Berlin 1964. Die Untersuchungen der oben genannten Berliner Dissertationen wurden später aufgegriffen und neu durchdacht in der weithin bekannten Dissertation *Pascual Jordan's Interpretations of Modern Physics in Cultural Context*, die Richard H. Beyler 1994 unter der Betreuung von Peter Galison an der Harvard University in Cambridge, Mass., angefertigt hat.

Laitkos Arbeit ist auch deshalb interessant, weil dort ein Versuch gemacht wird, Jordans Erkenntnistheorie mit der des Dialektischen Materialismus zu vergleichen. Jordan selbst hat zu diesem in seinen Veröffentlichungen nie ernsthaft Stellung genommen, was deshalb befremdlich ist, weil er seine eigene Philosophie als Überwindung des klassischen Materialismus sieht, was die Philosophen des Marxismus-Leninismus ebenfalls für sich in Anspruch nehmen – genau wie Jordan in umfassender, sowohl naturwissenschaftlicher wie gesellschaftspolitischer Form. Man hätte spätestens dann eine Reaktion Jordans, die über die erwähnte Ablehnung des (physikalischen) Materialismus hinausgeht, erwarten sollen. Denn im Westen Deutschlands war zur damaligen Zeit die Denkweise Lenins im Zusammenhang mit Fragen naturwissenschaftlicher Art populär gemacht worden, beispielsweise durch das Buch von Gustav A. Wetter: *Philosophie und Naturwissenschaft in der Sowjetunion*, Rowohlt, 1958. Dort steht: „Auf dem Gebiet der Quantenphysik ist es das Hauptanliegen der sowjetischen Philosophen, positivistischen und idealistischen Deutungen der quantenphysikalischen Sachverhalte entgegenzutreten. In diesem Sinne wird vor allem die sog. >Kopenhagener Schule< bekämpft, hauptsächlich wegen des von ihr verfochtenen Komplementaritätsprinzips, des Indeterminismus und der Deutung, die sie der quantenphysikalischen Statistik gab.“ Später, 1962, ist auch im VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften unter Mitarbeit von H. Laitko die deutsche Übersetzung von M. E. Omeljanowskis *Philosophische Probleme der Quantenmechanik* erschienen (russisch bereits 1956).

[42] Dies könnte Jordans Teilantwort zu Einsteins gegenüber Heisenberg geäußerten Einwand sein, wonach es die Theorie ist, die bestimmt, was beobachtbar ist. Obwohl dies zunächst schlagende Argument gegen den Ansatz der absoluten Priorität des Beobachtbaren ist, scheint es keine Auseinandersetzung Jordans mit Einsteins Einwand zu geben. Überhaupt hat sich Jordan an der bis heute anhaltende Diskussion zum Messprozess in der Quantenmechanik kaum beteiligt. Dafür kann man zum Teil seine positivistische Grundauffassung heranziehen, wonach der Begriff der Messung in der orthodoxen Quantenmechanik ein fundamentaler Begriff ist und somit von ihr ausgehend nicht – „was man möglicherweise so nicht aufrecht erhalten wird können“ – untersucht werden sollte. So schreibt er 1949 in einem Artikel zum Messprozess für ein Symposium über Quantenmechanik.

[43]Nicht zu unrecht formuliert H. Laitko [41], dass „eine eigentlich philosophische Entwicklung bei Jordan nicht festzustellen ist. Seine Haltung war spätestens Anfang der 30er Jahre vollständig ausgebildet und wurde in der Folgezeit nur auf immer mehr Gebiete ausgedehnt.“ Dagegen kann man den Satz, „der erkenntnistheoretische Standpunkt Jordans ist eigentlich eine Anbetung des Erreichten ohne den geringsten Impuls nach vorn“, so nicht unterschreiben, haben doch die Ausdehnungen auf andere Gebiete ihn zu immer neuen Bearbeitungen seiner Kernbegriffe veranlasst, wofür *Verdrängung und Komplementarität* ein Beispiel ist.

Pascual Jordan: Schriftenverzeichnis

Erstellt von Wolf D. Beiglböck

Vorbemerkung. Das Verzeichnis gibt den Erkenntnisstand vom 21. 1. 2007 wieder, soll aber in Zukunft weiter ergänzt werden. Alle Einträge, die nicht anhand des Originals auf Korrektheit geprüft wurden, sind durch * vor dem Eintrag gekennzeichnet; sie stammen aus Sekundärquellen. Die Bibliografie ist nach der Jahreszahl des Erscheinens der Arbeit geordnet und innerhalb eines Jahres wird die alphabetische Ordnung der Beitragstitel eingehalten. Die Rezensionen, die Jordan geschrieben hat, sowie die Schriften, für die er einen Decknamen als Autor benutzt hat, befinden sich am Ende der Liste. Als erste Orientierung, die zu einem gewissen Grad willkürlich und vorläufig ist, wird am Ende jedes Eintrags auf eines der von Jordan bearbeiteten Gebiete hingewiesen. Das sind Physik, Biophysik und Mathematik im Bereich der wissenschaftlichen Veröffentlichungen, und es sind Populäre Schriften, Philosophie und Religion – abgekürzt mit PPR – im Bereich der allgemeinverständlichen Literatur.

1924

Jordan, Pascual. Zur Theorie der Quantenstrahlung, *Zeitschrift für Physik*, 30, 297 - 319, 1924. [Physik]

1925

Jordan, Pascual. Bemerkungen zu der Arbeit von K. W. Meissner: Absorption im angeregten Neon, *Zeitschrift für Physik*, 31, 877 - 881, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual. Bemerkungen zur Theorie der Atomstruktur, *Zeitschrift für Physik*, 33, 563 -570, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual. Über das thermische Gleichgewicht zwischen Quantenatomen und Hohlraumstrahlung, *Zeitschrift für Physik*, 33, 649 - 655, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual and Born, Max. Zur Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik*, 34, 858 - 888, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual and Born, Max. Zur Quantentheorie aperiodischer Vorgänge, *Zeitschrift für Physik*, 33, 479 - 505, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual and Born, Max. Zur Quantentheorie aperiodischer Vorgänge II. Bemerkungen über die Integration der Störungsgleichungen, *Zeitschrift für Physik*, 33, 506 - 508, 1925. [Physik]

Jordan, Pascual, Born, Max and Nordheim, L. Zur Theorie der Stoßanregung von Atomen und Molekülen, *Die Naturwissenschaften*, Heft 48, 969 - 970, 1925. [Physik]

1925

Jordan, Pascual and Franck, James. *Anregung von Quantensprüngen durch Stöße*, viii / 312 Seiten, In: Struktur der Materie in Einzeldarstellungen, Julius Springer, Berlin, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual and Franck, James. Anregung von Quantensprüngen durch Stöße, Seite 641 - 775,

in: *Handbuch für Physik* Bd 23, (Hg: H. Geiger; K. Scheel), Julius Springer, Berlin, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual and Heisenberg, Werner. Anwendung der Quantenmechanik auf das Problem der anomalen Zeemaneffekte, *Zeitschrift für Physik*, 37, 263 - 277, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual. Bemerkungen über einen Zusammenhang zwischen Duanes Quantentheorie der Interferenz und den de Broglieschen Wellen, *Zeitschrift für Physik*, 37, 376 - 386, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual. Über eine neue Begründung der Quantenmechanik, *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 1926, 161 - 169, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual. Über kanonische Transformationen in der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik*, 37,

383 -386, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual. Über kanonische Transformationen in der Quantenmechanik II, *Zeitschrift für Physik*, 38,

513 - 517, 1926. [Physik]

Jordan, Pascual, Born, Max and Heisenberg, Werner. Zur Quantenmechanik II, *Zeitschrift für Physik*, 35,

557 - 615, 1926. [Physik]

1927

Jordan, Pascual. Anmerkungen zur statistischen Deutung der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik*, 41,

797 - 800, 1927. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik, *Die Naturwissenschaften*, 15, 614 - 623, 1927. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik II, *Die Naturwissenschaften*, 15, 636 - 649, 1927. [Physik]

Jordan, Pascual. Kausalität und Statistik in der modernen Physik, *Die Naturwissenschaften*, 15, 105 - 110, 1927. [Physik]

***Jordan, Pascual and R., de L. Kronig.** Movements of the Lower Jaw of Cattle during Mastication, *Nature*, 120, 807, 1927. [PPR]

Jordan, Pascual. Philosophical foundations of Quantum Theory, *Nature*, 119, 566 - 569, 1927. [PPR]

Jordan, Pascual. Philosophical foundations of Quantum Theory (Eine Replik auf N.C.

- Campbell), *Nature* , 119, 779, 1927. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Über die Polarisation der Lichtquanten, *Zeitschrift für Physik* , 44, 292 - 300, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über die quantenmechanische Darstellung von Quantensprüngen, *Zeitschrift für Physik* , 40, 661 - 666, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über die thermodynamische Gleichgewichtskonzentration der kosmischen Materie, *Zeitschrift für Physik* , 41, 711 - 717, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über eine neue Begründung der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik* , 40, 809 - 838, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über eine neue Begründung der Quantenmechanik II, *Zeitschrift für Physik* , 44, 1 - 25, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über Wellen und Korpuskeln in der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik* , 45, 766 - 775, 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual and Klein, Oskar.** Zum Mehrkörperproblem der Quantentheorie, *Zeitschrift für Physik* , 45, 751 - 765 , 1927. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Quantenmechanik der Gasentartung, *Zeitschrift für Physik* , 44, 473 - 480, 1927. [Physik]

1928

- Jordan, Pascual.** Der Charakter der Quantenphysik, *Die Naturwissenschaften* , 16, 765 - 772, 1928. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Die Lichtquantenhypothese. Entwicklung und gegenwärtiger Stand., Seite 158 - 208, in: *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften* Bd 7, Julius Springer, Berlin, 1928. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Joffe's Untersuchungen über die elektrische Durchschlagsfestigkeit, *Die Naturwissenschaften* , 16, 460 - 462, 1928. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Michelsons Messung der Lichtgeschwindigkeit, *Die Naturwissenschaften* , 16, 23 - 25, 1928. [Physik]
- Jordan, Pascual and Wigner, Eugene P.** Über das Paulische Äquivalenzverbot, *Zeitschrift für Physik* , 47, 631 - 651, 1928. [Physik]
- Jordan, Pascual and Pauli, Wolfgang.** Zur Quantenelektrodynamik ladungsfreier Felder, *Zeitschrift für Physik* , 47, 151 - 173, 1928. [Physik]

1929

- Jordan, Pascual.** Die Erfahrungsgrundlagen der Quantentheorie, *Die Naturwissenschaften* , 17, 490 - 507, 1929. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Energiestufen in Spektren, Seite 463 - 492, in: *Handbuch der Physik* Bd XXI (Licht und Materie), (Hg: H. Geiger, K. Scheel), Julius Springer, Berlin, 1929. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Gegenwärtiger Stand der Quantenelektrodynamik, *Physikalische*

Zeitschrift , 30, 700 - 712, 1929. [Physik]

1930

Jordan, Pascual and Born, Max. *Elementare Quantenmechanik (Zweiter Band der Vorlesungen über Atommechanik)* , XI/434 Seiten, In: Struktur der Materie in Einzeldarstellungen, Bd. IX. Julius Springer- Verlag, Berlin, 1930. [Physik]

Jordan, Pascual and Fock, Vladimir. Neue Unbestimmtheitseigenschaften des elektromagnetischen Feldes, *Zeitschrift für Physik* , 66, 206 - 209, 1930. [Physik]

1931

1932

Jordan, Pascual. Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie, *Die Naturwissenschaften* , 20, 815 - 821, 1932. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Über eine Klasse nichtassoziativer hyperkomplexer Algebren, *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* , 1932, 569 - 575, 1932. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zur Methode der zweiten Quantelung, *Zeitschrift für Physik* , 75, 648 - 653, 1932. [Physik]

1933

Jordan, Pascual. Über Verallgemeinerungsmöglichkeiten des Formalismus der Quantenmechanik, *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* , 1933, 209 - 217, 1933. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Entwicklung der Quantentheorie, *Die Naturwissenschaften* , 21, 879 - 882, 1933. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Wandlung der Universität, *Rostocker Universitätszeitung*, 9. Mai , , 3 - 5, 1933. [PPR]

Jordan, Pascual. *Statistische Mechanik auf quantentheoretischer Grundlage* , VI/ 110 Seiten, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1933. [Physik]

Jordan, Pascual. Über die Multiplikation quantenmechanischer Größen, *Zeitschrift für Physik* , 80, 285 - 291, 1933. [Physik]

1934

Jordan, Pascual. Die Bornsche Theorie des Elektrons, *Die Naturwissenschaften* , 22, 214 - 218 , 1934. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Kausalitätsprobleme in der modernen Physik, Seite 74 - 83, in: *Neues Jahrbuch für Wissenschaft und Jugendbildung* Bd 10, 1934. [PPR]

Jordan, Pascual. Mecanica cuantica y los problemas fundamentales de biologica y

- psicologia, *Revista de occidente, Madrid AX-XI* , 38, 225 -247, 1934. [Biophysik]
- Jordan, Pascual, von Neumann, John and Wigner, Eugene P.** On an algebraic generalization of the quantum mechanical formalism, *Annals of Mathematics* , 35, 29 - 64 , 1934. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Quantenmechanische Bemerkungen zur Biologie und Psychologie, *Erkenntnis, zugleich Annalen der Philosophie Bd. XII, Leipzig* , IV, 215 - 252, 1934. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über den positivistischen Begriff der Wirklichkeit, *Die Naturwissenschaften* , 22, 485 - 490, 1934. [Philosophie]
- Jordan, Pascual.** Über die Multiplikation quantenmechanischer Größen. II, *Zeitschrift für Physik* , 87, 505 - 512, 1934. [Physik]

1935

- Jordan, Pascual.** Austauschprobleme und zweite Quantelung, *Zeitschrift für Physik* , 91, 284 - 288, 1935. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Biologie und Quantenmechanik, *Forschungen und Fortschritte* , 11, 34 - 35, 1935. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Der Zusammenhang der symmetrischen und linearen Gruppen und das Mehrkörperproblem, *Zeitschrift für Physik* , 94, 531 - 535, 1935. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Die biologischen Perspektiven der neuen Physik, *Deutsches Volkstum* , 17. Jhg., 682 - 689, 1935. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** *Die Physik des XX Jahrhunderts. Einführung in den Gedankeninhalt der modernen Physik.* , V/143 Seiten, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1935. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Ergänzende Bemerkungen über Biologie und Quantenmechanik, *Erkenntnis, zugleich Annalen der Philosophie Bd. XIII, Leipzig* , V, 348 - 352, 1935. [Biophysik]
- Jordan, Pascual and von Neumann, John.** On inner products in linear metric spaces, *Annals of Mathematics* , 36, 719 - 723, 1935. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** *Physikalisches Denken in der neuen Zeit* , 59 Seiten, Hanseatische Verlagsanstalt, Hamburg, 1935. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Wandlungen des physikalischen Denkens, *Deutsches Volkstum* , 17. Jhg., 362 - 368 , 1935. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Zur Neutrinotheorie des Lichtes, *Zeitschrift für Physik* , 93, 464 - 472, 1935. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Quantenelektrodynamik. I. Eichinvariante Quantelung., *Zeitschrift für Physik* , 95, 202 - 209, 1935. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Quantenelektrodynamik. II. Über die Theorie der Paarerzeugung., *Zeitschrift für Physik* , 96, 163 - 166, 1935. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Quantenelektrodynamik. III. Eichinvariante Quantelung und Diracsche Magnetpole, *Zeitschrift für Physik* , 97, 535 - 537, 1935. [Physik]

1936

- Jordan, Pascual.** "Olympiade der Wissenschaft", *Der Student in Mecklenburg - Lübeck*, 5. Dez. , 8 - 9, 1936. [PPR]
- Jordan, Pascual.** *Anschauliche Quantentheorie. Eine Einführung in die moderne*

Auffassung der Quantenerscheinungen. , XII / 320 Seiten, Julius Springer, Berlin, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual. Beiträge zur Neutrinotheorie des Lichtes. I, *Zeitschrift für Physik* , 102, 243 - 252, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual. Das Einerseits - Andererseits in der modernen Physik. Atomphysik und Komplementarität, *Geistige Arbeit, Zeitung aus der wissenschaftlichen Welt* , 3. Jhg., 1 - 3, 1936. [PPR]

Jordan, Pascual. Fortschritte der Theorie der Atomkerne, *Die Naturwissenschaften* , 24, 209 - 216, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual. Gibt es eine "Krise" der modernen physikalischen Forschung?, *Die Tatwelt* , 12, 59 - 68, 1936. [PPR]

Jordan, Pascual. Lichtquant und Neutrino, *Zeitschrift für Physik* , 98, 759 - 767, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual and de L. Kronig, R. Lichtquant und Neutrino. II. Dreidimensionales Strahlungsfeld, *Zeitschrift für Physik* , 100, 569 - 583, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual. Positivistische Bemerkungen über die parapsychologischen Erscheinungen, *Zentralblatt für Psychotherapie, Leipzig* , 9, 3 - 17, 1936. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Über die Wechselwirkung von Spinorteilchen, *Zeitschrift für Physik* , 98, 709 - 713, 1936. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Herleitung der Vertauschungsregeln in der Neutrinotheorie des Lichtes, *Zeitschrift für Physik* , 99, 109 - 113, 1936. [Physik]

1937

Jordan, Pascual. Bausteine der Materie, Atome und Atomkerne, *Geistige Arbeit, Zeitung aus der wissenschaftlichen Welt* , 4. Jhg., 1 - 3, 1937. [PPR]

Jordan, Pascual. Beiträge zur Neutrinotheorie des Lichtes. II, *Zeitschrift für Physik* , 105, 114 - 121, 1937. [Physik]

Jordan, Pascual. Beiträge zur Neutrinotheorie des Lichtes. III, *Zeitschrift für Physik* , 105, 229 - 231, 1937. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Physikalischen Weltkonstanten, *Die Naturwissenschaften* , 25, 513 - 517, 1937. [Physik]

Jordan, Pascual. Elementarteilchen, *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht* , 50, 129 - 134, 1937. [PPR]

Jordan, Pascual. Fortschritte der Theorie der Atomkerne, Seite 47 - 103, in: *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften* Bd 16, Julius Springer, Berlin, 1937. [Physik]

Jordan, Pascual. Kernkräfte, *Die Naturwissenschaften* , 25, 273 - 279, 1937. [Physik]

Jordan, Pascual. Über die Rolle atomphysikalischer Einzelprozesse im biologischen Geschehen, *Radiologica* , 1, 21 - 25, 1937. [Biophysik]

1938

- Jordan, Pascual.** Atome und Organismen, *Geistige Arbeit, Zeitschrift aus der wissenschaftlichen Welt*, 5. Jhg., 3 - 4, 1938. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Atomvorgänge im biologischen Geschehen, Seite 59 - 72, in: *Bremer Beiträge zur Naturwissenschaft* Bd V, Bremen, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Bemerkungen über Methoden, Aufgaben und Ergebnisse strahlenbiologischer Untersuchungen, *Radiologica*, 3, 157 - 172, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Bemerkungen zu der Arbeit von H. Ostertag: "Ein neuer physikalischer Raum", *Zeitschrift für Physik*, 108, 544, 1938. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Biologische Strahlenwirkung und Physik der Gene, *Physikalische Zeitschrift*, 39, 345 - 366, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Die Verstärkertheorie der Organismen in ihrem gegenwärtigen Stand, *Die Naturwissenschaften*, 26, 537 - 545, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Organismen als Verstärker-Anordnungen, *Forschungen und Fortschritte*, 14, 395 - 396, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über den Mechanismus der Chromosomenmutationen, *Die Naturwissenschaften*, 26, 839, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über die Diracschen Magnetpole, *Annalen der Physik*, 32, 66 - 70, 1938. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über die Elementarprozesse der biologischen Strahlenwirkung, *Radiologica*, 2, 16 - 35, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über die Elementarprozesse der biologischen Strahlenwirkung. II, *Radiologica*, 2, 166 - 184, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über die physikalische Struktur organischer Riesenmoleküle, *Die Naturwissenschaften*, 26, 693 - 694, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur Analyse der biologischen Wirkung von Strahlungsquanten, *Physikalische Zeitschrift*, 39, 951 - 953, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur Analyse der biologischen Wirkung von Strahlungsquanten, *Zeitschrift für technische Physik*, 19, 389, 1938. [Biophysik]
- *Jordan, Pascual.** Zur Analyse der biologischen Wirkungen von Strahlungsquanten, *Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft*, 3. R., 19. Jhg., 142, 1938. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur empirischen Kosmologie, *Die Naturwissenschaften*, 26, 417 - 421, 1938. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Frage einer spezifischen Anziehung zwischen Genmolekülen, *Physikalische Zeitschrift*, 39, 711 - 714, 1938. [Biophysik]

1939

- Jordan, Pascual.** Anmerkung zur Theorie der Elementarteilchen, *Zeitschrift für Physik*, 111, 498 - 500, 1939. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Bemerkungen zur Kosmologie, *Annalen der Physik*, 36, 64 - 70, 1939. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Biologische Quantenerscheinungen, *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*, 52, 217 - 223, 1939. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Das neue Elementarteilchen, *Zeitschrift für den physikalischen und*

chemischen Unterricht , 52,

49 -55, 1939. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Stellung der Quantenphysik zu den aktuellen Problemen der Biologie, *Archiv für die Gesellschaft zur Virusforschung* , 1, 1 - 20, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Die strahlenbiologische Analyse der kleinsten Lebenseinheiten, *Medizinische Klinik* , 35,

1556 - 1558, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Heuristische Bemerkungen zur Krebstheorie, *Fundamenta Radiologica* , 4, 177 - 180, 1939. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Jahrhundert der Atome, *Die Tat* , 1, 289 - 292, 1939. [PPR]

Jordan, Pascual. Kosmische Strahlung, *Geistige Arbeit, Zeitschrift aus der wissenschaftlichen Welt* , 6. Jhg.,

10 - 12, 1939. [PPR]

Jordan, Pascual. Lebende Moleküle, *Die Umschau* , 43. Jhg., 938 - 940, 1939. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Neutrino Theory of Light, *Proceedings Indian Academy of Science* , 1939. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Physik und Religion, *Deutsche Frömmigkeit, Weimar* , VII, 242, 1939. [PPR]

Jordan, Pascual. Statistische Analyse biologischer Elementarreaktionen, *Archiv für die Gesellschaft für Virusforschung* , 1, 171, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Strahlenbiologie der Bakterien. Experiment und Theorie, *Protoplasma* , 32, 464 - 480, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Strahlenbiologische Erforschung des Lebensgeschehens, *Die Umschau* , 43. Jhg., 435 - 437, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Über die kosmologische Konstanz der Feinstrukturkonstanten, *Zeitschrift für Physik* , 113,

660 - 662, 1939. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Über die physikalische Begründung der Bircher-Bennerschen Ernährungslehre, *Die Ernährung* , IV, 8 - 13, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Über quantenmechanische Resonanzanziehung und über das Problem der Immunitätsreaktionen, *Zeitschrift für Physik* , 113, 431 - 438, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zum Problem der spezifischen Immunität, *Fundamenta Radiologica* , 5, 43 - 46, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zur Analyse der biologischen Wirkung von Strahlungsquanten, *Angewandte Chemie* , 52, 122, 1939. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zur Quantenbiologie, *Biologisches Zentralblatt* , 59, 1 - 39, 1939. [Biophysik]

1940

Jordan, Pascual. Heuristische Theorie der Immunisierungs- und Anaphylaxis-Erscheinungen, *Zeitschrift für Immunitätsforschung* , 97, 330 - 344, 1940. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Nationalistische Wissenschafts-Aufgabe ohne Kompromiß! *Wille zum Reich* , XIII, 54 - 55, 1940. [PPR]

Jordan, Pascual. Physikalische Untersuchungen an Eiweißmolekülen, *Die Naturwissenschaften* , 28, 69 - 77, 1940. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Statistik in der modernen Physik, Seite 1278 - 1287, in: *Die Statistik in Deutschland nach ihrem heutigen Stand. Ehrengabe für Friedrich Zahn. Vol. II* Berlin,

1940. [Physik]

Jordan, Pascual. Über die Ursache der Föhnkrankheit, *Die Naturwissenschaften* , 32, 630 - 631, 1940. [Biophysik]

1941

Jordan, Pascual. Am Rande der Welt. Betrachtungen zur modernen Physik, *Die neue Rundschau* , 52, 290 - 297, 1941. [PPR]

Jordan, Pascual. *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens* , 183 Seiten, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1941. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Die physikalische Unterwelt, *Die neue Rundschau* , 52, 16 - 22, 1941. [PPR]

Jordan, Pascual. Naturwissenschaft im Umbruch, *Deutschlands Erneuerung* , 25, 452 - 458, 1941. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Quantenphysik und Quantenbiologie, *Hypokrates, Stuttgart* , XII, 1013, 1941. [PPR]

Jordan, Pascual. Stellung der Mikrophysik im physikalischen Weltbild, *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht* , 54, 97 - 103, 1941. [PPR]

Jordan, Pascual. Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen, *Die Naturwissenschaften* , 29,

89 - 100, 1941. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Zur Analyse der biologischen Wirkung von Strahlungsquanten, Seite 142, in: *Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft 3. R Bd 19*, 1941. [Biophysik]

1942

Jordan, Pascual. Begriff und Umgrenzung der Quantenbiologie, *Physis, Beiträge zur naturwissenschaftlichen Synthese* , H 1, 13 - 26, 1942. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zukunftsaufgaben quantenbiologischer Forschung, *Physis, Beiträge zur naturwissenschaftlichen Synthese* , H 1, 64 - 79, 1942. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zur Deutung der sonnenbeschieneenen Nordlichter, *Zeitschrift für Physik* , 118, 441 - 442, 1942. [Physik]

1943

Jordan, Pascual. Die neuere Entwicklung der Quantenphysik, *Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft* , 3, 24, 1943. [Physik]

Jordan, Pascual. Neuere Entwicklungen der Quantentheorie, *Forschungen und Fortschritte* , 19, 321 - 323, 1943. [Physik]

1944

Jordan, Pascual. Physik im Vormarsch, *Das Reich* , 1, 1944. [PPR]

Jordan, Pascual. Quantenphysik und Biologie, *Die Naturwissenschaften* , 32, 309 - 316, 1944. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Über die Entstehung der Sterne. I. Grundlagen der Theorie,

Physikalische Zeitschrift , 45,

183 - 190, 1944. [Physik]

Jordan, Pascual. Über die Entstehung der Sterne. II. Veränderliche Sterne, *Physikalische Zeitschrift* , 45, 233 - 244 , 1944. [Physik]

Jordan, Pascual. Zum Problem der Eiweiß-Autokatalysen, *Die Naturwissenschaften* , 32, 20 - 26, 1944. [Biophysik]

1945

Jordan, Pascual and Houtermans, F. G. Die zeitliche Veränderung des Beta-Zerfalls und ihre experimentelle Prüfung, *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, math.-phys. Klasse* , 80 - 82, 1945. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Deutung der Höhenstrahlung, *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* , 77 - 79, 1945. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur projektiven Relativitätstheorie, *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* , 74 - 76, 1945. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Theorie des Farbensehens, *Physikalische Zeitschrift* , 45, 327 - 328, 1945. [Biophysik]

1946

Jordan, Pascual. Der Ursprung des Eiweiß-Lebens, *Universitas* , 1. Jhg., 244 - 248, 1946. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Die Stellung der Naturwissenschaft zur religiösen Frage. Religion als Erkenntnis, *Universitas* , 1. Jhg., 513 - 518, 1946. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Erschütterte Kausalität. Rückwirkung der Atomphysik auf die Philosophie, *Prisma. Kulturzeitschrift, München* , 1, 21 - 32, 1946. [PPR]

Jordan, Pascual. Relativistische Gravitationstheorie mit variabler Gravitationskonstanten, *Die Naturwissenschaften* , 33, 250 - 251, 1946. [Physik]

Jordan, Pascual and Houtermans, F. G. Über die Annahme der zeitlichen Veränderlichkeit des Beta-Zerfalls und die Möglichkeiten ihrer experimentellen Prüfung, *Zeitschrift für Naturforschung* , 1, 125 - 130, 1946. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Deutung der Höhenstrahlung, *Zeitschrift für Naturforschung* , 1, 301 - 304, 1946. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Lösung des Paradoxons von Chandrasekhar, *Die Naturwissenschaften* , 33, 218 - 219, 1946. [Physik]

1947

Jordan, Pascual. *Das Bild der modernen Physik* , 122 Seiten, Stromverlag, Hamburg, 1947. [PPR]

***Jordan, Pasual.** Das physikalische Weltbild des XX. Jahrhunderts, *Das Elektron in wiss. Technik* , 1, 81 - 87, 1947. [PPR]

Jordan, Pascual. *Die Herkunft der Sterne* , VI, 7170 Seiten, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1947. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Stellung der Naturwissenschaft zur religiösen Frage. Natur als

- Schöpfung, *Universitas* , 2. Jhg, 1 - 9, 1947. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Dimensionslose Naturkonstanten, *Physikalische Blätter* , 3, 35 - 42, 1947. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Eiweißmoleküle. Ein Kapitel moderner Naturwissenschaft , 71 Seiten, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1947. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Erweiterung der projektiven Relativitätstheorie, *Annalen der Physik* , 1, 219 - 228, 1947. [Physik]
- ***Jordan, Pascual.** Friedliche Atomphysik, *Die Zeit* , 18, 4, 1947. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Kommende Welt, *Neues Europa* , 2, 4 - 14, 1947. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Max Planck, *Optik. Zeitschrift für das gesamte Gebiet der Licht- und Elektronenoptik* , 2, 329 - 331, 1947. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Max Planck (verstorben), *Neues Europa. Halbmonatsschrift für Völkerverständigung* , 2, 29, 1947. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Projektive Relativitätstheorie und Kosmologie, *First Review of German Science II* , 26, 187, 1947. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über den Riemannschen Krümmungstensor. I. Einsteinsche Theorie, *Zeitschrift für Physik* , 124, 602 - 607, 1947. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über den Riemannschen Krümmungstensor. II. Eddingtonsche und Schrödingersche Theorie, *Zeitschrift für Physik* , 124, 608 - 613, 1947. [Physik]
- Jordan, Pascual and Müller, C.** Über die Feldgleichungen der Gravitation bei variabler "Gravitationskonstante", *Zeitschrift für Naturforschung* , 2a, 1 - 2, 1947. [Physik]
- Jordan, Pascual.** *Verdrängung und Komplementarität. Eine philosophische Untersuchung* , 86 Seiten, Stromverlag, Hamburg, 1947. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur Biophysik des Farbensehens, *Optik. Zeitschrift für das gesamte Gebiet der Licht- und Elektronenoptik* , 2, 169 - 189, 1947. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur Theorie der Sternentstehung, *Physikalische Blätter* , 3, 97 - 106, 1947. [Physik]
- ***Jordan, Pascual.** Unheimliche Natur, *Zeitwende* , 19, 208 - 216, 1947/48. [PPR]

1948

- Jordan, Pascual.** Der Zusammenhang der vier- und fünfdimensionalen Metrik, *Annalen der Physik* , 3, 153 - 155 , 1948. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Die Entstehung der Sterne, *Naturwissenschaftliche Rundschau* , 1. Jhg, 193 - 200, 1948. [Physik]
- Jordan, Pascual.** *Die Wandlung unseres Naturbildes* , Heliand-Verlag, 1948. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Kosmische Strahlung, *Sonntagsblatt für die evangelischen Kirchen* , 1, 4 -, 1948. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Max Plancks wissenschaftliche Leistung, *Physikalische Blätter* , 4, 134 - 137, 1948. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Moderne Astronomie, *Echo der Woche* , 2, 7 -, 1948. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Probleme der Eiweiß-Molekül-Struktur, *Physikalische Blätter* , 4, 229 - 238, 1948. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Projektive Relativitätstheorie und Kosmologie, *Naturforschung und Medizin in Deutschland* , 1, 187 - 195, 1948. [Physik]
- Jordan, Pascual, Timofeev-Ressovski, N. W. and Zimmer, K.G.** Über einige physikalische Vorgänge bei der Auslösung von Genmutationen durch Strahlung II, *Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre* , 82, 67 - 73, 1948.

[Biophysik]

Jordan, Pascual. Zur Begründung der Darstellungstheorie endlicher Gruppen, *Zeitschrift für Naturforschung*, 3a, 522 - 523, 1948. [Mathematik]

***Jordan, Pascual.** Zwischenmolekulare Kräfte, *Bibl. Biophysica*, 70, 1948. [Biophysik]

1949

Jordan, Pascual. Albert Einsteins Lebenswerk, *Thema*, 42, 42 - 45, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Allgemeine Konstanten und Angaben über Atome und Moleküle, Seite 27 - 45, in: *Taschenbuch für Chemiker und Physiker* 1949. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Atomkraft - Leben und Tod, *Sonntag. Eine Wochenzeitung für Kulturpolitik, Kunst und Unterhaltung*, 4, 4, 1949. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Atomsäule "Zoe". Das Geheimnis von Chatillon und andere Merkwürdigkeiten, *Sonntag. Eine Wochenzeitung für Kulturpolitik, Kunst und Unterhaltung*, 4, 4, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Bewußtsein und Wirklichkeit, Seite 230 - 233, in: *Naturwissenschaft - Religion - Weltanschauung. Clausthaler Gespräch 1948* Clausthal-Zellerfeld, 1949. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Cosmologica y Genesis Estelar, *Revista de Geofisica*, 8, 14 - 33, 1949. [Physik]

Jordan, Pascual. Das Problem der Gesetzlichkeit und die moderne Physik, *Universitas*, 4, Jhg, 49 - 54, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Der Mensch und die Atomkraft, *Thema*, 42, 4 - 6, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. *Der physikalische Positivismus*, 133 Seiten, Maschinengeschriebenes Vorlesungsskript Universität Hamburg, WS 1948/49, Staatsbibliothek zu Berlin (Nachlass P. Jordan), 1949. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Ursprung des organischen Lebens, *Merkur*, 3, 342 - 354, 1949. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Weg zur Atomphysik, *Rheinischer Merkur*, 4, 7 - 8, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Der Weg zur Quanten- und Wellenmechanik, *Angewandte Chemie*, 61, 129 - 152, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Die empirischen Unterlagen der Theorie der Sternentstehung, *Acta Physica Austriaca*, 2, 356 - 367, 1949. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Freiheit im naturwissenschaftlichen Denken. Ablösung der materialistischen Gedankenwelt / Die Grenzen der Bestimmbarkeit, *Christ und Welt*, 2, 12 - 13, 1949. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Molekülstruktur der Hämocyane, *Kolloid Zeitschrift*, 112, 7 - 13, 1949. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Farbsehen und Helligkeitsempfindung, *Naturforschung und Medizin in Deutschland*, 22, 156 - 160, 1949. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Formation of the Stars and Development of the Universe, *Nature*, 164, 637 - 640, 1949. [Physik]

Jordan, Pascual. Fünfdimensionale Kosmologie, *Astronomische Nachrichten*, 276, 193 - 208, 1949. [Physik]

Jordan, Pascual. Kosmogonische Anschauungen der modernen Physik, Seite 25 - 33, in: *Naturwissenschaft - Religion - Weltanschauung. Clausthaler Gespräch 1948* Clausthal-Zellerfeld, 1949. [PPR]

- Jordan, Pascual.** Mathematik und Naturgesetzlichkeit, *Physis. Stuttgart* , 2/3, 77 - 81, 1949. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Mathematik und Naturgesetzlichkeit, Seite 67 - 72, in: *Das Problem der Gesetzlichkeit* Bd 2, Richard Meiner Verlag, Hamburg, 1949. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Naturwissenschaften und humanistisches Gymnasium, *Universitas* , 4. Jhg., 617 - 618, 1949. [PPR]
- Jordan, Pascual.** On the process of measurement in quantum mechanics, *Philosophy of Science* , 16, 269 - 278, 1949. [Physik]
- ***Jordan, Pascual.** Organische Verstärkerwirkungen, *Ärzteblatt* , 3, 1 - 5, 1949. [Biophysik]
- ***Jordan, Pascual.** Periodisches System und Nullpunktsvolumen der Atome, Seite 46 - 48, in: *Taschenbuch für Chemiker und Physiker* 1949. [Physik]
- Jordan, Pascual.** *Physik im Vordringen* , VIII, 112 Seiten, In: Die Wissenschaft. Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und Technik, (Hg: W. Westphal), Bd. 99. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1949. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Quantenphysik des Lebendigen, Seite 97 - 104, in: *Naturwissenschaft - Religion - Weltanschauung. Clausthaler Gespräch 1948* Clausthal-Zellerfeld, 1949. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Resonanzanziehung, in: *Zwischenmolekulare Kräfte* Karlsruhe, 1949. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Svedbergs $2(\text{hoch } n)3(\text{hoch } m)$ -Gesetz der Eiweiß-Moleküle, *Naturwissenschaftliche Rundschau* , 2. Jhg., 411 - 416, 1949. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über das Molekül des Tabakmosaikvirus, *Kolloid Zeitschrift* , 113, 1 - 6, 1949. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Über eine nicht-desarguesche ebene projektive Geometrie, *Abhandlungen aus dem mathematischen Seminar der Universität Hamburg* , 16, 74 - 76, 1949. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Wann wird die Physik abgeschlossen sein?, *Physikalische Blätter* , 5, 101 - 107, 1949. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Zoe, der erste Atombrenner des Kontinents, *Natur und Technik* , 3, 62 - 63, 1949. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Zum Dedekindschen Axiom in der Theorie der Verbände, *Abhandlungen aus dem mathematischen Seminar der Universität Hamburg* , 16, 71 - 73, 1949. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Zur Axiomatik der Verknüpfungsbereiche, *Abhandlungen aus dem mathematischen Seminar der Universität Hamburg* , 16, 54 - 70, 1949. [Mathematik]
- ***Jordan, Pascual.** Drei Zeitalter menschlicher Erkenntnis, *Zeitwende* , 21, 345 - 351, 1949/50. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Über nichtkommutative Verbände, *Archiv der Mathematik* , 2, 56 - 59, 1949/50. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Zur Quantenlogik, *Archiv der Mathematik* , 2, 166 - 171, 1949/50. [Mathematik]

1950

- Jordan, Pascual.** Das Geheimnis der Gravitation, *Die Zeit* , 5, 4, 1950. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Das Plancksche Wirkungsquantum, Seite 5 - 18, Akademie Verlag, Berlin, 1950. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Das Schöpferische in der Natur, *Das goldene Tor* , 5, 409 - 417, 1950.

[PPR]

Jordan, Pascual. Der Abscheu vor der Mathematik, *Das goldene Tor* , 5. Jhg, 89 - 93, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Positivismus in der Naturwissenschaft, Seite 91 - 112, in: *Glaube und Forschung. Vorträge und Abhandlungen der evangelischen Akademie Christophorus-Stift* Bd 2 F, Gütersloh, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Positivismus in der Naturwissenschaft, Seite 93 - 112, in: *Glaube und Forschung 2: Gespräch zur Theologie und Physik* (Hg: Howe), Freizeiten Verlag, Gladbeck, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Ursprung des Eiweiß-Lebens, Seite 197 - 205, in: *Die Natur, das Wunder Gottes, im Lichte der modernen Forschung* Bd 352, Bonn, 1950. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Die neuen Probleme der Physik, *Sonntagsblatt, Hannover* , 3, 6, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die weltanschauliche Bedeutung der modernen Physik, *Technische Mitteilungen aus dem Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau, Düsseldorf* , H 6, 2 - 4, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** *Die weltanschauliche Bedeutung der modernen Physik* , 12 Seiten, VDMA Verein Deutscher Maschinenbau-Anstalten e. V., 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Einstein und die Relativitätstheorie, *Orion. Naturwissenschaftlich-technische Zeitschrift für Jedermann* , 4, 249 - 251, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Einsteins neue Forschungen, *Handelsblatt* , 5, 2, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Einsteins neue Untersuchungen, *Elektrotechnische Zeitschrift* , 71, 615 - 618, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** *La fisica del siglo XX* , Fondo de Cultura Economica, Mexico, 1950. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Natur als Sinnbild, Seite 106 - 115, in: *Werk und Dichter* (Hg: Frank Thiess), Hamburg, 1950. [PPR]

Jordan, Pascual. Über die empirischen Tatsachen zum Problem der Sternentstehung, *Abhandlungen der Wissenschaft und der Literatur Mainz, Abh. math.-natw. Kl.* , 219 - 231, 1950. [Physik]

Jordan, Pascual. Über polynomiale Fastringe, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur Mainz, Abh. math.-natw. Kl.* , 335 - 340, 1950. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Vierdimensionale Begründung der erweiterten Gravitations-Theorie, *Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 317 - 334, 1950. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Zu Einsteins neuer Theorie, *Handelsblatt* , 5, 2, 1950. [PPR]

Jordan, Pascual. Zur Axiomatik der Quanten-Algebra, *Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Abh. math.-natw. Kl.* , 123 - 131, 1950. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zur Theorie der Cayley-Größen, *Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Abh. math.-natw. Kl.* , 1 - 7, 1950. [Mathematik]

1951

Jordan, Pascual. 50 Jahre Kunde vom Weltall. Kosmologie und Relativitätstheorie., *Orion. Illustrierte Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann* , 5, 9 - 15, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Einsteins physikalisches Lebenswerk, *Physikalische Blätter* , 7, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Elementarteilchen, *Orion. Illustrierte Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann* , 6, 9 - 13, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Leben im Licht, *Die naturwissenschaftliche Rundschau* , 4. Jhg, 503 - 505, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Mathematik in unserer Zeit, *Physikalische Blätter* , 7, 289 - 293, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Menschheit in Zeit und Raum, *Der Mittag* , 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Nachruf auf Arnold Sommerfeld, Seite 143 - 154, in: *Jahrbuch der Akademie der Wissenschaft und der Literatur Mainz*, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual. Neuere Gesichtspunkte der kosmologischen Theoriebildung, Seite 8 - 12, in: *Philosophisches Jahrbuch Bd 61*, 1951. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Probleme der Eiweißmolekülstruktur, *Michwirtschaft. Nürnberg* , 6, 12 - 14, 1951. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Reflections on Parapsychology, Psychoanalysis, and Atomic Physics, *Journal of Parapsychology* , 15, 278 - 281, 1951. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zukunft Europas, *Wort und Wahrheit. Monatschrift für Religion und Kultur, Wien* , 6, 15 - 17, 1951. [PPR]

Jordan, Pascual, Fricke, W. and Heckmann, O. Zur erweiterten Gravitationstheorie. I, *Zeitschrift für Astrophysik* , 28, 113 - 149, 1951. [Physik]

Jordan, Pascual. Zeitgeist im Spiegel der Naturwissenschaft, *Hochland* , 44, 134 - 148, 1951/52. [PPR]

1952

Jordan, Pascual. Algebraische Betrachtungen zur Theorie des Wirkungsquantums und der Elementarlänge, *Abhandlungen des mathematischen Seminars, Universität Hamburg* , 18, 99 - 119, 1952. [Physik]

Jordan, Pascual. An den Grenzen der Materie. Probleme der Elementarteilchen., *Orion. Illustrierte Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann* , 7, 4 - 8, 1952. [PPR]

Jordan, Pascual. Der Smyth Bericht, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* , 4, 1952. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die doppelte Verneinung, *Lutherische Rundschau, Genf* , 6, 1952. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Nichtigkeit des Birkhoffschen Satzes in der erweiterten Gravitationstheorie, *Zeitschrift für Physik* , 133, 558 - 560, 1952. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Die Technik und der Fortschrittsglaube, *Motortechnische Zeitschrift. Stuttgart* , 13, 1 -4, 1952. [PPR]

Jordan, Pascual. Eine Jugend, die Epoche machte. Zum 60. Geburtstag Louis de Broglies.(15. August), *Die neue Zeitung* , 1952. [PPR]

- Jordan, Pascual.** Einsamkeit im Kosmos, *Quatember* , 17, 20 - 27 , 1952. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Erkenntnis und Erfahrung, *Zeitwende. München* , 23, 670 - 681, 1952. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Physik und Religion. Das Ende des Maschinenmenschen., *Rheinischer Merkur* , 7, 7, 1952. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Professor Heisenberg über die Möglichkeiten der Atomtechnik in Deutschland, *Deutsche Zeitung und Wirtschaftszeitung* , 7, 2, 1952. [PPR]
- Jordan, Pascual.** *Schwerkraft und Weltall. Grundlagen der theoretischen Kosmologie* , VIII/207 Seiten,
In: *Die Wissenschaft*, (Hg: Wilhelm Westphal), Bd. 107. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1952. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über die Erhaltungssätze der Physik, *Zeitschrift für Naturforschung* , 7a, 78 - 81 , 1952. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Über die Erhaltungssätze der Physik II, *Zeitschrift für Naturforschung* , 7a, 701 - 702, 1952. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur axiomatischen Begründung der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik* , 133, 21 - 29, 1952. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Zur Integration der kosmologischen Gleichungen, *Zeitschrift für Physik* , 132, 655 - 658, 1952. [Mathematik]

1953

- Jordan, Pascual.** Atomenergie - Ende oder Zukunft ? Die Methode der Isotopen-Indikatoren, *Sonntagsblatt* , 10 - 11, 1953. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Atomphysik und Kosmologie, *Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen* , 6, 465 - 472, 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Atomphysik und Kosmologie, *Glückauf* , 89, 1153, 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Das Technetium als Prüfstein kosmologischer Theorien, *Die Naturwissenschaften* , 40, 407 - 408 , 1953. [Physik]
- *Jordan, Pascual.** Der Begriff der Wahrscheinlichkeit in der Phylogenie, Seite 41 - 47, in: *Scientific papers presented to Max Born* Oliver & Boyd, Edinburgh, 1953. [Biophysik]
- *Jordan, Pascual.** Die Bedeutung der Atomphysik für die Biologie, *Die Medizinische* , 12 - 15, 1953. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Die Entwicklung des Weltalls, der Erde und des Menschen, *Blicke in die volksdemokratischen Länder, Berlin* , 5, 14 - 15, 1953. [PPR]
- *Jordan, Pascual and E. Schneider,** . Die Entwicklung unserer Vorstellungen vom Kosmos, *Die Glashütte* , 4, 13 - 14, 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Die Rolle des organischen Lebens im Kosmos, *Orion. Illustrierte Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann* , 8, 7 - 10, 1953. [PPR]
- *Jordan, Pascual.** Die Rolle staubfeiner Verteilungen in neueren Weltentstehungstheorien, *Glückauf. Bergmännische Zeitschrift, Essen* , 89, 515, 1953. [Physik]
- *Jordan, Pascual.** Die Rolle staubfeiner Verteilungen in neueren Weltentstehungstheorien, *Tonindustrie Zeitung und keramische Rundschau, Zentralblatt für das Gesamtgebiet Steine Erden, Wiesbaden* , 77, 176 - 177, 1953. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Die Rolle staubfeiner Verteilungen in neueren Weltentstehungstheorien, *Zement, Kalk, Gips. Forschung, Herstellung und Verwendung, Wiesbaden* , 6, 188, 1953. [Physik]

- ***Jordan, Pascual.** Einsamkeit im Kosmos, *Die neue Schau. Monatsschrift für das kulturelle Leben im deutschen Haus* , 14, 3 - 6, 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Empirische Anhaltspunkte zur Dirac'schen Hypothese einer kosmologisch veränderlichen Gravitations-"Konstanten", *Physikalische Blätter* , 9, 149 - 153, 1953. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Fortschritt im Problem der Sternentstehung, *Die Naturwissenschaften* , 40, 541 - 545, 1953. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Kosmischer Staub, *Zeitschrift des Verbands deutscher Ingenieure* , 95, 283 - 289, 1953. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Kybernetik, Seite 91 - 98, in: *Verhandlungen Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin* 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Naturforschung und Bildung, *Studium Generale* , 6, 398 - 402, 1953. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** *Perspectiva de la fisica moderna* , Barcelona, 1953. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Probleme der Kosmologie, *Braunkohle. Wärme und Energie. Zeitschrift für Gewinnung und Verwendung der Braunkohle, Düsseldorf* , 5, 291, 1953. [PPR]
- Jordan, Pascual.** Probleme der Kosmologie, *Elektrotechnische Zeitschrift* , 74, 416 - 420, 1953. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Technik und Gleichförmigkeit. Prinzip der Individualität als Kennzeichnung höherer Stufen, *Handelsblatt* , 8, 1953. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Über Gravitationswellen in der erweiterten Gravitationstheorie, *Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe A* , 74, 144, 1953. [Physik]
- ***Jordan, Pascual.** Zum gegenwärtigen Stand der Treffertheorie der biologischen Strahlenwirkungen, *Die Medizinische* , 1513 - 1515, 1953. [Biophysik]
- Jordan, Pascual.** Zur Theorie der nichtkommutativen Verbände, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 59 - 64, 1953. [Mathematik]
- Jordan, Pascual and Witt, Ernst.** Zur Theorie der Schrägverbände, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 223 -232, 1953. [Mathematik]
- Jordan, Pascual.** Zwischen Atomkern und Kosmos. Über die Beziehungen der Gegenwartskunst zur modernen Naturwissenschaft, *Düsseldorfer Nachrichten* , 1953. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Die Zeit im heutigen Weltbild, Seite 5 - 7, in: *Jahrbuch der deutschen Gesellschaft für Chronometrie eV.* Bd 4, Stuttgart, 1953/1954. [PPR]

1954

- Jordan, Pascual.** Atom und Mensch, Seite 149 - 164, in: *Vom Atom zum Weltsystem* Kröner, Stuttgart, 1954. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Atomforschung und Atomtechnik als Drohung und Versprechen für die Menschheit, *Die berufsbildende Schule* , 6, 435 - 445, 1954. [PPR]
- Jordan, Pascual.** *Atomkraft. Drohung und Versprechen* , 63 Seiten, In: Bibliothek der Zeit, Wilhelm Heyne Verlag, München, 1954. [PPR]
- ***Jordan, Pascual.** Der südliche Spiralarm unserer Milchstraße, *Orion* , 9, 219 - 222, 1954. [Physik]
- Jordan, Pascual.** Der Ursprung des organischen Lebens, in: *Orientierung im Weltall*

Zürich, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Wandel in der modernen Physik und sein Einfluß auf die Biologie, *Berliner Ärzteblatt* , 67, 118 - 119, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die Entstehung des Weltalls, *Kosmos* , 50, 3 - 8, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Naturforschung im Weltanschauungskampf, *Offene Welt* , 34, 8 - 12, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die Physik und das Leben, in: *Schöpfungsgeschichte und Evolutionstheorie* Stuttgart, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Zeit im heutigen Weltbild, Seite 5 - 7, Bd 4, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Ergebnisse und Probleme der erweiterten Gravitationstheorie, *Physikalische Blätter* , 10, 557 - 564 , 1954. [Physik]

Jordan, Pascual. *Forschung macht Geschichte* , 170 Seiten, V. Klostermann, Frankfurt/Main, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Forschung macht Geschichte, *Der Akademische Konvent. Monatsschrift, Mannheim* , 5, 225 - 229, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Friedliche Atomkerntechnik, *Schweißen und Schneiden* , 6. Jhg, 3 - 6, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Kopernikus und die Entwicklung des abendländischen Denkens, *Das Parlament, Beilage* , B XIX/54, 221 - 224, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** *La biologica cuantica* , Barcelona, 1954. [Biophysik]

***Jordan, Pascual.** Max Born, geb. 11. 12. 1882, Quantenforscher, *Experientia. Monatsschrift für das gesamte Gebiet der Naturwissenschaft, Basel* , 10, 518, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Organische und physikalische Gesetzmäßigkeit, Seite 117 - 134, in: *Organik. Beiträge zur Kultur unserer Zeit* (Hg: Heske, Franz and Mayer-Abich, Adolf), Pritzthaler Verlag, Berlin, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual. Vom Ursprung des organischen Lebens - und - Gibt es ein Leben auf dem Mars?, in: *Das Internationale Forum: "Orientierung im Weltall"* Fontana Verlag, Zürich, 1954. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Wenn Milchstraßen zusammenstoßen, *Orion* , 9, 37- 43, 1954. [Physik]

Jordan, Pascual. Zufall und Bestimmung, Seite 210 - 215, Mainz, 1954. [PPR]

Jordan, Pascual and Böge, Werner. Zur Theorie der Schrägverbände II, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 77 - 92, 1954. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zwei Gelehrte, die Geschichte machten. Zum 75. Geburtstag der großen Physiker Albert Einstein (14. März) und Otto Hahn (8. März), *Die Zeit* , 4, 1954. [PPR]

1955

Jordan, Pascual. Die Messung der historischen Zeit, *Universitas* , 10. Jhg, 165 - 170, 1955. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Atomkraft im Alltag, *Rufer Monatshefte, Gütersloh* , 2, 31 - 32, 1955. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Bericht über die nichtkommutativen Verbände, *Monumentum Bambergense* , 551 - 555, 1955. [Mathematik]

***Jordan, Pascual.** Das Atomzeitalter, *Jahrbuch des baltischen Deutschtums* , 107 - 114, 1955. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Das Ende der Ideologie, *Neue deutsche Hefte. Beiträge zur*

- europäischen Gegenwart, Gütersloh* , 581 - 594, 1955. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Das Formproblem der Elite, *Eckart* , 25, 61 - 63, 1955. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Dichter und Gelehrte, Seite 48 - 50, in: *Jahrbuch der Freien Akademie der Künste* Hamburg, 1955. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Die Geschichtlichkeit des Universums, *Sonntagsblatt* , 7 - 8, 1955. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Die Physik und das Leben, Seite 109 - 122, in: *Schöpfungsglaube und Evolutionstheorie* Stuttgart, 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Einsteins physikalisches Lebenswerk, *Physikalische Blätter* , 11, 289 - 297, 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Keine Furcht vor Dämonen! *Hannoversche Allgemeine Zeitung* , 1, 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Niederste Lebensformen. Virus, Bakteriophagen., *Orion. Illustrierte Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann* , 10, 85 - 89, 1955. [Biophysik]
- ***Jordan, Pascual**. *Physics of the 20 century* , Philosophical Library, New York, 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Physik im XX. Jahrhundert, Seite 15 - 37, in: *Forscher und Wissenschaftler im heutigen Europa - Weltall und Erde* Stalling Verlag, Oldenburg, 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Ruhm und Einsamkeit. Abschied von Albert Einstein., *Der Mittag* , 1955. [PPR]
- Jordan, Pascual**. *Schwerkraft und Weltall. Grundlagen der theoretischen Kosmologie* , IX/277 Seiten, Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1955. [Physik]
- ***Jordan, Pascual**. *Science and the Course of History* , 139 Seiten, Yale University Press, New Haven, 1955. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Weltentstehung und Elementenentstehung, Seite 80 - 98, in: *Vorträge des Deutschen Betonvereins eV* 1955. [PPR]

1956

- Jordan, Pascual**. *Atom und Weltall: Einführung in den Gedankeninhalt der modernen Physik* , VII/144 Seiten, Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1956. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Beiträge zur Theorie der Schrägverbände, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 27 - 42, 1956. [Mathematik]
- Jordan, Pascual**. *Der gescheiterte Aufstand. Betrachtungen zur Gegenwart.* , 181 Seiten, V. Klostermann, Frankfurt/ Main, 1956. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Mensch, Natur, Technik, Seite 1 - 11, Bd 4, Darmstadt, 1956. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Probleme der Elitebildung, *Wingolfs-Blätter, Kassel-Wilhelmshöhe* , 75, 117 - 118, 1956. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. *Tutkimus luo Historiaa* , Söderström, Helsinki, 1956. [Populärer Artikel]
- Jordan, Pascual**. Wie sieht die Welt von morgen aus?, *Die Welt* , 1956. [PPR]
- ***Jordan, Pascual**. Die Verantwortung des Wissenschaftlers, *Internationale Jahresberichte der Politik, München* , Lfg 4, 50 - 55, 1956/57. [PPR]
- Jordan, Pascual**. Über die Hypothese einer Veränderlichkeit der sogenannten

Gravitationskonstante, 157 – 167, in: *Fünfzig Jahre Relativitätstheorie, Helvetica Physica Acta Supplementum IV*, Birkhäuser Verlag, 1956. [Physik]

1957

***Jordan, Pascual**. Am größten Fernrohr der Welt, *Westermanns Monatshefte*, 98, 47 - 53, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Auf dem Weg in die Einsamkeit. Automation, Atomenergie - und was dann?, *Die Kultur*, 5, 1, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Aufgaben des Atomzeitalters, *Neues Abendland. Zeitschrift für Politik, Geschichte und Kultur, München*, 12, 15 - 20, 1957. [PPR]

***Jordan, Pascual**. Das Gewissen des Forschers, *Burschenschaftliche Blätter. Monatsschrift für deutsche Burschschafter, Frankfurt/Main*, 72, 196 - 197, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Existenzberechtigung der Anti-Materie, *Orion. Naturwissenschaftlich-Technische Zeitschrift für Jedermann*, 12, 9 - 14, 1957. [Physik]

Jordan, Pascual. Die Theorie der Schrägverbände, *Abhandlungen des mathematischen Seminars, Universität Hamburg*, 21, 127 - 138, 1957. [Mathematik]

***Jordan, Pascual**. Die Überwindung der Vermassung und Vereinzelnung, Seite 73 - 79, in: *Jahrbuch des baltischen Deutschtums Lüneburg*, 1957. [PPR]

***Jordan, Pascual**. Die Verantwortung des Wissenschaftlers, *Der Mittag, Düsseldorf (25.4.1957)*, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Geistige und erzieherische Probleme des Atomzeitalters, *Die höhere Schule*, 1, 2 - 4, 1957. [PPR]

***Jordan, Pascual**. Kraft und Feld, *Universum*, 74, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Rätsel des Ursprungs. Über die Urmutter aller späteren Eiweißmoleküle, *Christ und Welt*, 10. Jhg., 10, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Revolution durch den Geist. Letzte Erkenntnisse der modernen Physik, *Der Tag*, 3 - 4, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Über die Notwendigkeit des Umdenkens in der modernen Entwicklung der Physik,

Physikalische Blätter, 13, 361 - 366, 1957. [PPR]

***Jordan, Pascual**. Verantwortung der Wissenschaft, *Europaruf. Organ der abendländischen Erneuerung, Winterthur*, 1, 5, 1957. [PPR]

***Jordan, Pascual**. Vorwort, in: *R. Cartier: Die Welt, woher die kommt, wohin die geht* Hamburg, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Wandlung des Weltbildes. Rückwirkungen auf die Industriegesellschaft, *Rheinischer Merkur, Deutschland - Ausgabe*, 23, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. Wilhelm Lenz (verstorben), *Physikalische Blätter*, 13, 269 - 270, 1957. [PPR]

Jordan, Pascual. *Wir müssen den Frieden retten*, 20 Seiten, Verlag Staat und Gesellschaft, Köln, 1957. [PPR]

1958

***Jordan, Pascual**. Das Problem der Ungelernten, *Die Schulgemeinde, Bremen*, 6, 25 - 27,

1958. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Erforschung des Kosmos, *Schleswig-Holstein. Monatshefte für Heimat und Volkstum* , 10,

229 - 230, 1958. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Mikro- und Makrowelt, *Wissenschaft und Weltbild, Zeitschrift für die Grundlagen der Forschung* , 11, 241 - 252, 1958. [PPR]

Jordan, Pascual. Research on the Theory of General Relativity, *Office of the Aerospace Research USAF, European Office, Rept. no. WCLJ TN-58-1* , 1 - 113, 1958. [Physik]

Jordan, Pascual. The Mathematical Theory of Formally Complex Rings and the Relation of These Algebras to Unitary Group Representations, to Quantum Mechanics, and to the Theory of Lattices, *Office of Aerospace Research USAF, European Office, Rept. Contract AF 61 (514) - 1233* , IV, 1 - 64, 1958. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Über distributive Schrägverbände, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 227 - 257, 1958. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Wider das materialistische Weltbild. Theologie und Naturwissenschaft heute/Unbekannter Karl Heim, *Christ und Welt* , XI, 6, 1958. [PPR]

Jordan, Pascual. *Wie sieht die Welt von morgen aus ?* , 174 Seiten, In: List-Bücher, Bd. 99. List, München, 1958. [PPR]

1959

***Jordan, Pascual.** Der theoretische Physiker. Die Leistungen des Nobelpreisträgers Max von Laue, *Rheinischer Merkur* , 13, 6, 1959. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Bedeutung der Diracschen Hypothese für die Geophysik, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 769 - 795, 1959. [Physik]

***Jordan, Pascual.** *La physique et le secret de la vie organique* , 248 Seiten, A. Michel, Paris, 1959. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Zum gegenwärtigen Stand der Diracschen kosmologischen Hypothesen, *Zeitschrift für Physik* , 157, 112 - 121, 1959. [Physik]

1960

Jordan, Pascual. Bau in die Tiefe. Pläne und Wirklichkeit unterirdischer Anlagen, *Der Mittag* , 1960. [PPR]

Jordan, Pascual. Elite und Gemeinschaft, Seite 28 - 32, in: *Philosophie und Recht. Festschrift zum 70. Geburtstag von Carl August Emge* (Hg: Klug, Ulrich), Fritz Steiner Verlag, Wiesbaden, 1960. [PPR]

Jordan, Pascual, Ehlers, Jürgen and Sachs, Rainer. Progress in the Field of General Relativity, *Air Research and Development Command, USAF, European Office, AF 61(052)-147* , II, 1 - 39, 1960. [Physik]

Jordan, Pascual, Ehlers, Jürgen and Kundt, Wolfgang. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 21 - 105, 1960. [Physik]

1961

Jordan, Pascual and Ehlers, Jürgen. Beiträge zur relativistischen Mechanik kontinuierlicher Medien. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie IV, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 791 - 837, 1961. [Physik]

Jordan, Pascual, Ehlers, Jürgen and Sachs, Rainer K. Beiträge zur Theorie der reinen Gravitationsstrahlung. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie II, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 1 - 62, 1961. [Physik]

***Jordan, Pascual.** *Como sera el mundo del manana* , Compania General Fabril Edit, Buenos Aires, 1961. [PPR]

Jordan, Pascual. Discussion of Empirical Facts Giving Support to Dirac's Hypothesis of a Variable "Constant" of Gravitation, Seite 5 - 72, in: *Problems of Gravitation. Final Report no. 2, Office of Aerospace Research USAF, European Office, AF 61(052)147* (Hg: P. Jordan; J. Ehlers; W. Kundt), 1961. [Physik]

Jordan, Pascual and Kundt, Wolfgang. Geometrodynamik im Nullfall. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie III, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 85 - 97, 1961. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Ist der Mensch eine Maschine? Die moderne Naturwissenschaft widerlegt die These des Materialismus, *Contact* , 1, 28 - 29, 1961. [PPR]

Jordan, Pascual. Raumfahrt und Naturforschung, *Astronautica Acta, Wien* , 7, 59 - 63, 1961. [PPR]

Jordan, Pascual. The mathematical theory of quasi order, semigroups of idempotents and noncommutative lattices. A new field of modern algebra, *Final report no. 1, Office of Aerospace Resaerch USAF, European Office* , 2 - 84, 1961. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Über distributiv-modulare Schrägverbände, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 695 - 720, 1961. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Über die Darstellung der Lorentzgruppe mit Quaternionen, Seite XII/310, 84 - 89, in: *Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit* (Hg: W. Bopp), Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1961. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zum Problem der Erdexpansion, *Die Naturwissenschaften* , 48, 417 - 425, 1961. [Physik]

1962

Jordan, Pascual. Atom und Weltall, Seite 60 - 73, Bd 34, Verlag Dr. Max Gehlen, Bad Homburg vor der Höhe, Berlin, Zürich, 1962. [PPR]

Jordan, Pascual. Atom und Weltall, Seite 135, in: *Zur Begründung der Matrizenmechanik. Dokumente der Naturwissenschaft. Abteilung Physik* E. Bettenberg, Stuttgart, 1962. [Physik]

Jordan, Pascual, Kundt, Wolfgang and Trümper, Manfred. Beiträge zur Theorie der Gravitations-Strahlungsfelder. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie V, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 965 - 1000, 1962. [Physik]

Jordan, Pascual. Der Mensch im Betrieb. Aus der Sicht des Naturwissenschaftlers, Seite 159 - 176, in: *Veröffentlichung der Walter-Raymond-Stiftung* Bd 2, 1962. [PPR]

Jordan, Pascual. Halbgruppen von Idempotenten und nichtkommutative Verbände, *Journal für Reine und Angewandte Mathematik* , 211, 136 - 161, 1962. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Kosmologie. Bau und Geschichte des Weltalls, Seite 193 - 216, in: *Bildungsbuch der Büchergilde* 1962. [PPR]

Jordan, Pascual and Ozsvath, Istvan. Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen mit einfach transitiver Bewegungsgruppe. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie VI, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 1001 - 1021, 1962. [Physik]

Jordan, Pascual. Nichtkommutative Verallgemeinerung der Theorie der Verbände, Seite 11 - 18, in: *Simposio di Meccanica e Matematica Applicada. Celebrazioni archimedee del secolo XX* Siracusa, 1962. [Mathematik]

Jordan, Pascual. *Vorausbestimmung und Naturgesetzlichkeit. Beziehungen zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und Naturgesetzlichkeit. "Pfingsten 1962"* , Staatsbibliothek zu Berlin, Preussischer Kulturbesitz, Nachlass P. Jordan, 1962. [PPR]

Jordan, Pascual. Zur Frage der Gültigkeitsgrenzen der Quantenmechanik, *Zeitschrift für Physik* , 171, 19 - 33, 1962. [Physik]

1963

Jordan, Pascual. *Der Naturwissenschaftler vor der religiösen Frage. Abbruch einer Mauer* , 353 Seiten, Gerhard Stalling, Oldenburg/Hamburg, 1963. [PPR]

Jordan, Pascual. Gedenken an Niels Bohr, *Physikalische Blätter* , 19, 60 - 63, 1963. [PPR]

***Jordan, Pascual.** *La fisica del siglo XX* , Fondo de cultura, Mexico, 1963. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Naturekenntnis gibt den Glauben frei. - Abbruch einer Mauer, *Zeitschrift für Religions- und Geistesgeschichte, Köln* , 15, 154 - 164, 1963. [PPR]

1964

Jordan, Pascual, Beiglböck, Wolf, Bichteler, Klaus, Kundt, Wolfgang and Trümper, Manfred. Contributions to Actual Problems of General Relativity, *Final report 3, Office of Aerospace Research USAF, European office, AF 61(052)-567* , 1 - 105, 1964. [Physik]

Jordan, Pascual. Die gedanklichen Grundlagen der modernen Kosmologie, *Universitas* , 19, 1049 - 1055, 1964. [PPR]

Jordan, Pascual. Empirical Aspects of Dirac's Gravitational Hypothesis. (Continuation), *Final report no. 1, Office of the Aerospace Research, USAF, European Office, AF 61(052)-567* , 92, 1964. [Physik]

Jordan, Pascual. Four Lectures about Problems of Cosmology, Seite 101 - 136, 224 - 231, Instituto Gulbenkian de Ciencia, Lisboa, 1964. [Physik]

Jordan, Pascual. Irreversibilität und Zeitrichtung, *Zeitschrift für Naturforschung* , 19 a, 519 -523, 1964. [Physik]

Jordan, Pascual. Ist der Mensch nur ein Uhrwerk? Die moderne Naturwissenschaft vor der religiösen Frage, *Die Welt* , 1964. [PPR]

Jordan, Pascual. Ist die Determinierung endgültig widerlegt?, *Physikalische Blätter* , 20, 345 - 351 und 550 - 551, 1964. [PPR]

Jordan, Pascual. Physics and Adjacent Fields of Study, Seite 9 - 11, in: *Man and Science* (Hg: W. Leifer),

Max Huber Verlag, 1964. [PPR]

Jordan, Pascual. Physik und Philosophie, *Der Horizont*, 7, 97 - 109, 1964. [PPR]

Jordan, Pascual. Progress in the Mathematical Theory of Noncommutative Lattices. (Skew lattices), *Final rept.*

no. 2, Office of Aerospace Research USAF, European Office, 1 - 66, 1964. [Mathematik]

Jordan, Pascual, Ehlers, Jürgen and Kundt, Wolfgang. Quantitatives zur Diracschen Schwerkraft-Hypothese, *Zeitschrift für Physik*, 178, 501 - 518, 1964. [Physik]

Jordan, Pascual. Über Matrizen-Darstellungen von Halbgruppen von Idempotenten, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.*, 3, 105 - 117, 1964. [Mathematik]

Jordan, Pascual. De bron van de ethiek (engl. A new approach to moral philosophy), Seite 44 - 53, Bd 2, Hilversum, Amsterdam, 1964 - 1965. [PPR]

1965

Jordan, Pascual. Das Kausalitätsproblem in der modernen Physik und das Problem der Willensfreiheit, *De Brug*, 9, 72 - 90, 1965. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Ausweg in die Einsamkeit. Automation, Atomenergie - und was dann?, *Europa*, 16, 54 - 56, 1965. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Mensch als Naturwesen, Seite 11 - 26, in: *Forschung und Lebensordnung. Mit und ohne Teilhard de Chardin. Veröffentlichung der Keyserling-Gesellschaft für Freie Philosophie* Bd 3, 1965. [PPR]

Jordan, Pascual. Kosmologische Modelle, *n + m. Naturwissenschaft und Medizin, Mannheim*, 2, 3 - 13, 1965. [PPR]

Jordan, Pascual and Ozsvath, Istvan. New Homogeneous Solutions of Einstein's Field Equations with Incoherent Matter. Strenge Lösungen der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie VII, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.*, 1 - 31, 1965. [Physik]

Jordan, Pascual. Opiniones actuales sobre el universo, *Folia Humanistica*, 3, 481 - 488, 1965. [PPR]

Jordan, Pascual. Zum 100. Geburtstag der Maxwellschen Gleichungen, *Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe A*, 86, 65 - 68, 1965. [PPR]

1966

Jordan, Pascual. A contribution to the theory of semigroups of idempotents, Seite 184 - 191, in: *Perspectives in Geometry and Relativity. Essays in Honor of Vaclav Hlavaty* Indiana University Press, Bloomington & London, 1966. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Ansprache des Präsidenten, Seite 3 - 11, 1966. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die Bedeutung der modernen Naturwissenschaft für die West-Ost-Auseinandersetzung,

Seite 283 - 293, in: *Deutsche Studien. Vierteljahreshefte für die vergleichende Gegenwartskunde* Bd 4, Lüneburg, 1966. [PPR]

Jordan, Pascual. *Die Expansion der Erde. Folgerungen aus der Diracschen Gravitationshypothese*, XIV/180 Seiten, Friedrich Vieweg & Söhne, Braunschweig, 1966. [Physik]

Jordan, Pascual. Dirac-Hypothese und Erdexpansion, *Physikalische Blätter*, 22, 443 -

453, 1966. [Physik]

Jordan, Pascual. Dirac's hypothesis of a variable gravitational "constant" and experimental facts, *Cahiers de Physique* , 20, 357 - 369, 1966. [Physik]

Jordan, Pascual. Heutige Vorstellungen vom Weltall, *Universitas. Zeitschrift für Wissenschaft, Kunst und*

Literatur , 21, 337 - 345, 1966. [Physik]

***Jordan, Pascual.** Leuchttürme des Weltalls, *Universum* , 83, 1966. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Naturwissenschaft und Weltanschauung als Problem in Ost und West, Seite 61 - 69,

in: *West-östliche Perspektiven:Wirtschaft, Soziologie, Wissenschaft, Politik* (Hg: Ruth Endress), Forkel-Verlag, Stuttgart, 1966. [PPR]

Jordan, Pascual. Religiöses und naturwissenschaftliches Weltbild, Seite 10 - 22, in: *Evolution und christliches Weltbild* 1966. [PPR]

Jordan, Pascual. Spontaneität im Naturgeschehen, Seite 381 - 400, in: *Integritas. Geistige Wandlung und menschliche Wirklichkeit* (Hg: Stolte, Dieter and Wisser, Richard), Reinhard Wunderlich Verlag Hermann Leins, Tübingen, 1966. [PPR]

Jordan, Pascual. Was erwartet die Wissenschaft von einer Mondlandung?, *Technische Rundschau* , 3 - 7, 1966. [PPR]

Jordan, Pascual. Zur Deutung der Mondoberfläche, *Die Naturwissenschaften* , 53, 117 - 123, 1966. [Physik]

1967

Jordan, Pascual. Der Beitrag der Naturwissenschaften zum Problem der Willensfreiheit, Seite 735 - 749, Bd 1 - 2, München, 1967. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Mensch und der Kosmos, *Das Gas- und Wasserfach* , 108, 1165 - 1169, 1967. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Die Expansion der Erde. Folgerungen aus der Diracschen Gravitationshypothese, *Die Umschau in Wissenschaft und Technik* , 67, 434, 1967. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Zahl [Omega sub c = 2 super 10000], Seite 24 - 33, Verlag EJ Brill, Leiden, 1967. [Physik]

Jordan, Pascual. Earth Expansion; General Relativity; Problems of Abstract Algebra., *Final Report, Office of Aerospace Research, USAF, European Office, ARL-653 981* , 1 - 61, 1967. [Physik]

Jordan, Pascual. Himmelsmechanik und die Dirac-Hypothese, *Zeitschrift für Physik* , 201, 394 - 395, 1967. [Physik]

Jordan, Pascual. Kausalität und Willensfreiheit. Auch philosophische Prinzipien unterliegen der empirischen Nachprüfung, *Rheinischer Merkur* , 12, 1967. [PPR]

Jordan, Pascual. La espondeidad de los fenomenos de la naturaleza, *Folia Humanistica* , 5, 577 - 596, 1967. [PPR]

Jordan, Pascual. Religion und Ideologie als geschichtliche Wirkmächte, Seite 171 - 185, in: *Säkularisation und Utopie. Erbacher Studien. Ernst Forsthoff zu seinem 65. Geburtstag* W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart/ Berlin, 1967. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Religion und Naturwissenschaft in ihrer Wechselbeziehung, Seite 306 - 314, in: *Religion und Religionen. Festschrift für Gustav Menschig zu seinem 65. Geburtstag* Bonn, 1967. [PPR]

Jordan, Pascual. Über die Wolkenhülle der Venus, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 43 - 53, 1967. [Physik]

Jordan, Pascual and Matsushita, S. Zur Theorie der Lie-Tripel-Algebren, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 121 - 134, 1967. [Mathematik]

1968

Jordan, Pascual. Bemerkungen zu der Arbeit von H. Hönl und H. Dehnen: "Erlaubt die 3[Grad]-Kelvin-Strahlung Rückschlüsse auf eine konstante oder veränderliche Gravitationszahl?", *Zeitschrift für Astrophysik* , 68, 201 -203, 1968. [Physik]

Jordan, Pascual. Die heutige Physik - wer kann da noch glauben?, *Informationsbrief der Bekenntnisbewegung "Kein anderes Evangelium, Beilage* , 17, 6 - 10, 1968. [PPR]

Jordan, Pascual. Die moderne Physik und das Geheimnis des organischen Lebens, Seite 45 - 56, in: *Das Geheimnis des Lebens* 1968. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Kybernetik und Naturerkenntnis, *technica. Illustrierte technische Rundschau, Bern* , 17, 703 - 708, 715, 1968. [PPR]

Jordan, Pascual. Über das Verhältnis der Theorie der Elementarlänge zur Quantentheorie, *Communications in Mathematical Physics* , 2, 279 - 292, 1968. [Physik]

Jordan, Pascual, Matsushita, S. and Rühaak, H. Über nichtassoziative Algebren, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 289 - 307, 1968. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zur Deutung des lunaren Alpentals, *Die Naturwissenschaften* , 55, 225, 1968. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Theorie nicht-assoziativer Algebren, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 25, 25 - 38, 1968. [Mathematik]

1969

Jordan, Pascual. *Albert Einstein. Sein Lebenswerk und die Zukunft der Physik* , 302 Seiten, In: *Wirkung und Gestalt*, Bd. 6. Huber & CoAG, Frauenfeld und Stuttgart, 1969. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Erforschung des Mondes, *Naturwissenschaftliche Rundschau* , 22, 440 - 446, 1969. [Physik]

Jordan, Pascual. Einführung, Seite 1, Rowohlt, Reinbeck bei Hamburg, 1969. [PPR]

Jordan, Pascual. Kausalität und Willensfreiheit, *Rheinischer Merkur* , 1969. [PPR]

Jordan, Pascual and Rühaak, H. Neue Beiträge zur Theorie der Lie-Tripel-Algebren und der Osborn-Algebren, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 1 - 13, 1969. [Mathematik]

Jordan, Pascual. On the possibility of avoiding Ramsey's hypothesis in formulating a theory of Earth expansion, Seite 55 - 63, in: *The Application of Modern Physics to the Earth and Planetary Interiors* (Hg: S. K. Runkorn), Wiley, 1969. [Physik]

Jordan, Pascual. *Perspektiven der Zukunft* , 17 Seiten, Bundesverband Druck e.V., 1969. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Planung für die Zukunft, *Schriftenreihe des Vereins Beratender Ingenieure* , 2, 20 Seiten, 1969. [PPR]

Jordan, Pascual. Über das Verhältnis der Theorie der Elementarlänge zur Quantentheorie. II, *Communications in Mathematical Physics* , 11, 293- 296, 1969. [Physik]

Jordan, Pascual and mit Rühaak, H. Über einen Zusammenhang der Lie-Tripel-Algebren mit den Osborn-Algebren, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 49 - 57, 1969. [Mathematik]

Jordan, Pascual. Zur Frage einer physikalischen Verwendbarkeit nicht-assoziativer Algebren,

Zeitschrift für Physik , 229, 193 - 198, 1969. [Mathematik]

1970

Jordan, Pascual. Relativitätstheorie und physikalischer Zeitbegriff, Seite 23 - 35, in: *Zeit und Ewigkeit* Bd 20,

(Hg: P. Jordan; J.B. Lotz; M. Müller), Badenia, Freiburg, 1970. [PPR]

Jordan, Pascual. *Schöpfung und Geheimnis* , 222 Seiten, Gerhard Stalling, Oldenburg & Hamburg, 1970. [PPR]

Jordan, Pascual. Sollte man überhaupt Kontakte suchen?, Seite 153 - 165, in: *Sind wir allein im Kosmos* , Piper Verlag, 1970. [PPR]

Jordan, Pascual. Über die Expansion der Milchstraße und die Deutung der Weberschen Gravitations-Signale, *Zeitschrift für Physik* , 233, 84 - 88, 1970. [Physik]

Jordan, Pascual. Über die Zukunft der Physik, *Physikalische Blätter* , 26, 481 - 489, 1970. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Ungelöste Probleme der Physik, *Physikalische Blätter* , 26, 481 - 489, 1970. [PPR]

Jordan, Pascual, Lotz, Johannes Baptist and Müller, Max. *Zeit und Ewigkeit* , 51 Seiten, Badenia-Verlag, 1970. [PPR]

1971

Jordan, Pascual. *Begegnungen. Albert Einstein, Karl Heim, Hermann Oberth, Wolfgang Pauli, Walter Heitler, Max Born, Werner Heisenberg, Max von Laue, Niels Bohr* , 207 Seiten, Stalling, Oldenburg und Hamburg, 1971. [PPR]

Jordan, Pascual. *Die weltanschauliche Bedeutung der modernen Physik* , 31 Seiten, In: Schriftenreihe der Liga Europa, Klinger-Verlag, München, 1971. [PPR]

Jordan, Pascual. Diskussionsbemerkungen zur exobiologischen Hypothese, *Akademie der Wissenschaft und der Literatur, Mainz. Abh. math.-natw. Kl.* , 1 - 28, 1971. [Biophysik]

Jordan, Pascual. Naturgesetz und Mathematik, Seite VII/366, 101 - 109, in: *Quanten und Felder. Physikalische und philosophische Betrachtungen zum 70. Geburtstag von Werner Heisenberg* (Hg: H. P. Dürr), Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1971. [PPR]

Jordan, Pascual. On Heisenberg's 70th Birthday, *Central Europe Journal* , 19, 405 - 408, 1971. [PPR]

Jordan, Pascual. *The expanding earth. Some consequences of Dirac's gravitation hypothesis* , XV/ 202 Seiten, Pergamon Press, Oxford, 1971. [Physik]

Jordan, Pascual. Werner Heisenberg 70 Jahre, *Physikalische Blätter* , 27, 559 - 562, 1971. [PPR]

Jordan, Pascual. *Wie frei sind wir? Naturgesetz und Zufall* , 68 Seiten, In: Thesen und Texte, Bd. 18. A. Fromm, Osnabrück, 1971. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Zukunftsaussichten der Atomwaffenentwicklung, *Wehrtechnik* , 3, 146 - 148, 1971. [PPR]

1972

Jordan, Pascual. Biologie aus dem Gesichtswinkel der Physik, *VDI Nachrichten* , 114, 89 - 93, 1972. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Der Konservative und der Zeitgeist, *Konservativ heute. Gesellschaft für konservative Publizistik, Bonn - Bad Godesberg* , 3, 155 - 158 , 1972. [PPR]

***Jordan, Pascual.** *El hombre de ciencia ante el problema religioso* , 431 Seiten, Ediciones Guadarrama, Madrid, 1972. [PPR]

Jordan, Pascual. *Erkenntnis und Besinnung: Grenzbetrachtungen aus naturwissenschaftlicher Sicht* , 223 Seiten, Stalling, Oldenburg, 1972. [PPR]

Jordan, Pascual. Gibt es kosmische Energie-Quellen?, *Physikalische Blätter* , 28, 113 - 118, 1972. [Physik]

Jordan, Pascual. Gibt es noch das Kausalitätsprinzip. Die Beweiskraft der Quantentheorie und die philosophischen Folgerungen - Erwiesene Spontaneität, *Rheinischer Merkur* , 11, 1972. [PPR]

Jordan, Pascual. La Creacion y la Fisica, *Folia Humanistica* , 10, 793 - 809, 1972. [PPR]

Jordan, Pascual. Possibilities of generalizations of quantum mechanical formalism, Seite 141 - 146, in: *Magic without Magic: John Archibald Wheeler. A collection of essays in honor of his sixtieth birthday* W. H. Freeman and co., San Francisco, 1972. [Mathematik]

1973

***Jordan, Pascual.** Das Gespenst der Welthungersnot, *Koservativ heute.* , 4, 30 - 35, 1973. [PPR]

Jordan, Pascual. Early Years of Quantum Mechanics: Some Reminiscences, Seite XXIV/839, 294 - 299, in: *The Physicist's Conception of Nature* (Hg: Jagdish Mehra), D. Reidel, Dordrecht/ Boston, 1973. [PPR]

Jordan, Pascual. Erinnerungen an Wolfgang Pauli, *Physikalische Blätter* , 29, 292 - 298, 1973. [PPR]

Jordan, Pascual. Freiheit und Natur, Seite 40 - 49, in: *Achtzehn Philosophen sehen unsere Welt* Verlag Anton Hain, Meisenheim an der Glan, 1973. [PPR]

Jordan, Pascual. The Expanding Earth, Seite XXIV/839, 60 - 70, in: *The Physicist's Conception of Nature* (Hg: Jagdish Mehra), D. Reidel, Dordrecht/ Boston, 1973. [Physik]

Jordan, Pascual. Zur Frage der Tragweite der Copernicanischen Wende, Seite 21 - 25, in: *Nicolaus Copernicus zum 500. Geburtstag* Böhlau Verlag, Köln, Wien, 1973. [PPR]

1974

Jordan, Pascual. Die Diracsche Hypothese und die Theorie der Erdexpansion. Wird der Mond langsamer?, *VDI Nachrichten* , 2, 1974. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Existenz Gottes und die heutige Naturwissenschaft, Seite 690 - 696, in: *Humanismo Pluridimensional. Sociedad Brasileira de Filosofos Catolicos* Ediciones Loyola, Sao Paulo, 1974. [PPR]

Jordan, Pascual. Forschung als Gefahr. Erzeugung neuer Bakterien möglich, *Rheinischer Merkur* , 36, 1974. [PPR]

***Jordan, Pascual.** Nikolaus Kopernicus, in: *Die Großen der Weltgeschichte* Bd 4, 1974.

[PPR]

***Jordan, Pascual.** *Science and the Course of History* , 139 Seiten, Greenwood Press, Westpoint, Connecticut, 1974. [PPR]

1975

***Jordan, Pascual.** Atomwaffen und Bevölkerungsschutz, *Zeitbühne, Mai* , 18 - 22, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Anfangsjahre der Quantenmechanik. - Erinnerungen, *Physikalische Blätter* , 31, 97 - 103, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Fragwürdigkeit des technischen Treibens. An welche Grenze stößt der forschende Physiker?, *Rheinischer Merkur* , 22, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Physikalischen Blätter am Beginn des neuen Jahres 1975, *Physikalische Blätter* , 31, 1 - 2, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Theorie der Erdexpansion, *Physikalische Blätter* , 31, 487 - 495, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Fünfzig Jahre Quantenmechanik, *Physikalische Blätter* , 31, 597 - 602, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. My recollections of Wolfgang Pauli, *American Journal of Physics* , 43, 205 - 208, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Pascual Jordan *1902, Seite 194 - 218, in: *Philosophie in Selbstdarstellungen* Bd I,

(Hg: Pongratz, Ludwig J.), Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1975. [PPR]

Jordan, Pascual. Zufall und Gesetz im physikalischen Geschehen, Seite 66 - 72, in: *Die Grenze der machbaren Welt* (Hg: Benz, Ernst), Verlag E. J. Brill, Leiden, 1975. [PPR]

1976

Jordan, Pascual. *Aufbruch zur Vernunft: Ein Naturforscher zur deutschen Besinnung* , 67 Seiten, Ed. Interfrom AG, Zürich, 1976. [PPR]

Jordan, Pascual. In Memoriam Werner Heisenberg, Seite 494 - 497, Aachen, 1976. [PPR]

Jordan, Pascual. Naturwissenschaft und Glaube, *Blickpunkt Kirche. Informationen* , 6 - 7, 1976. [PPR]

Jordan, Pascual. Titan der Wissenschaft. Pascual Jordan beschreibt seinen Weg mit Werner Heisenberg in die Neuzeit der Physik, *Rheinischer Merkur* , 16, 1976. [PPR]

Jordan, Pascual. Wende durch die Quantenphysik. Wissenschaft im Wandel: Weltanschauliche Konsequenzen aus Werner Heisenbergs Grunderkenntnis, *Rheinischer Merkur* , 30, 1976. [PPR]

1977

***Jordan, Pascual.** Anektotische Erinnerungen an Mathematiker und Physiker, in: *Texte und Thesen 1977*. [PPR]

Jordan, Pascual. Ciencia y tecnica en el futuro de la humanidad, *Nuestro tiempo* , 182, 559 - 588, 1977. [PPR]

Jordan, Pascual. Daran glaube ich, *Welt am Sonntag* , 9, 1977. [PPR]

Jordan, Pascual. Die Gravitationskonstante ist nicht konstant. Die Erde dehnt sich aus, *Bild der Wissenschaft* , 14/6, 82 - 87, 1977. [PPR]

Jordan, Pascual. Die moderne Physik weist den Weg zur vollen Freiheit, *Sonntagsmagazin der Lübecker Nachrichten* , 1977. [PPR]

Jordan, Pascual. Gauß, das einsame Genie, *Die Welt* , 1977. [PPR]

Jordan, Pascual. The philosophical significance of modern physics, *Universitas. Quarterly English Language Edition* , 19, 39 - 48, 1977. [PPR]

1978

Jordan, Pascual. Der Natur die Antwort überlassen. Die Parapsychologie braucht neue Denkweisen, *Der Report* , 7, 1978. [PPR]

Jordan, Pascual. Moderne Physik - weltanschaulich betrachtet, *Der Report* , 7, 1978. [PPR]

Jordan, Pascual. Warum ich kein Marxist bin, *Der Report* , 7, 1978. [PPR]

1979

Jordan, Pascual. Wie ist das mit der Relativität?, *Die Welt* , 1979. [PPR]

Rezensionen

Jordan, Pascual. Rezension zu: Handbuch für Physik (Hrsg. H.Geiger, K.Scheel) Band IX, Theorien der Wärme, 1926, Verlag Julius Springer, *Die Naturwissenschaften* , Heft 12, 290 - 293, 1926. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: J. H. Jeans: Dynamische Theorie der Gase, Fr. Vieweg & Sohn, 1926, *Die Naturwissenschaften* , Heft 34, 792 - 793, 1926. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Cohn, Emil: Das elektromagnetische Feld. Ein Lehrbuch. 2. Aufl. Verlag Julius Springer, 1927, *Die Naturwissenschaften* , Heft 38, 790 - 791, 1927. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Handbuch der Physik (Hrg. H. Geiger, K. Scheel), Bd 15. Magnetismus; Elektrodynamisches Feld. Verlag Julius Springer, *Die Naturwissenschaften* , Heft 44, 885 - 886, 1927. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Schrödinger, E.: Abhandlungen zur Wellenmechanik. Verlag J.A. Barth, 1927, *Die Naturwissenschaften* , Heft 18, 412 - 413, 1927. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Tolmann, R.: Statistical Mechanics with Applications to Physics and Chemistry. Chemical Catalogue Company, 1927, *Die Naturwissenschaften* , Heft 38, 791 - 792, 1927. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Fowler, R. H.: Statistical Mechanics. The Theory of the Properties of Matter in Equilibrium. Cambridge University Press, *Die Naturwissenschaften* , Heft 35, 695 - 696, 1929. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Frenkel, J.: Lehrbuch der Elektrodynamik. 2. Bd: Makroskopische Elektrodynamik der materiellen Körper, *Die Naturwissenschaften* , Heft

24, 444 - 445, 1929. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Sommerfeld, Arnold: Atombau und Spektrallinien. Wellenmechanischer Ergänzungsband. Fr. Vieweg & Sohn, 1929, *Die Naturwissenschaften*, Heft 17, 278 - 279, 1929. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Weyl, H.: Gruppentheorie und Quantenmechanik, Verlag S. Hirzel, 1928, *Die Naturwissenschaften*, Heft 22, 407 - 408, 1929. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Bloch, Eugène: L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta. Hermann & Cie, 1930, *Die Naturwissenschaften*, Heft 23, 551 - 552, 1930. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Haas, A.: Materiewellen und Quantenmechanik, 3. Aufl., Akademische Verlagsgesellschaft, 1930, *Die Naturwissenschaften*, Heft 24, 570 - 571, 1930. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Wintner, A.: Spektraltheorie der unendlichen Matrizen. Einführung in den analytischen Apparat der Quantenmechanik. Verlag S. Hirzel, 1929, *Die Naturwissenschaften*, Heft 24, 571, 1930. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Condon E.U., Morse, P.M.: Quantum Mechanics, McGraw Hill, 1929, *Die Naturwissenschaften*, Heft 30, 662, 1931. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Landé, A.: Vorlesungen über Wellenmechanik (gehalten an der Staatsuniversität zu Columbus, USA), Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1930, *Die Naturwissenschaften*, Heft 42, 866, 1931. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Mott, N.F.: An Outline of Wave Mechanics, Cambridge University Press, 1930, *Die Naturwissenschaften*, Heft 42, 867, 1931. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Ruark, A.E., Urey, H.C.: Atoms, Molecules and Quanta, *Die Naturwissenschaften*, Heft 30, 661 - 662, 1931. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Perrin, Jean: La recherche scientifique, Hermann & Cie, Paris, 1933, *Die Naturwissenschaften*, Heft 49, 867 - 868, 1933. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Breysig, Kurt: Naturgeschichte und Menschheitsgeschichte, Verlag M. & H. Marcus, 1933, *Die Naturwissenschaften*, Heft 6, 91 - 92, 1934. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Handbuch der Physik, zweite Auflage. Band XXIV, 2. Teil: Aufbau der zusammenhängenden Materie, Verlag Julius Springer, 1933, *Die Naturwissenschaften*, Heft 48, 809 - 811, 1934. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Ramon y Cajal: Regeln und Ratschläge zur wissenschaftlichen Forschung. Verlag Ernst Reinhardt, München, 1933, *Die Naturwissenschaften*, Heft 8, 121 - 122, 1934. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Marx, E.: Handbuch der Radiologie. Bd 6: Quantenmechanik der Materie und Strahlung (2. Auflage der "Theorie der Radiologie") Teil 1: Atome und Elektronen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1933, *Die Naturwissenschaften*, Heft 1, 12 - 13, 1934. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Joos, G.: Lehrbuch der Theoretischen Physik, 2. Auflage, *Die Naturwissenschaften*, Heft 7, 118 - 119, 1935. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: L'électron magnétique (Théorie de Dirac), Hermann & Cie, 1934, *Die Naturwissenschaften*, Heft 35, 614, 1935. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Noltenius Friedr.: Raum, Strahlung, Materie, Verlag Johann Ambrosius Barth, 1935, *Die Naturwissenschaften*, Heft 36, 628, 1935. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Schultz, Julius: Das Ich und die Physik, Verlag Felix Meiner, 1935,

Die Naturwissenschaften , Heft 51, 868, 1935. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Hilbert, David: Gesammelte Abhandlungen. Dritter Band: Analysis. Grundlagen der Mathematik. Physik. Verlag Julius Springer, 1935, *Die Naturwissenschaften* , Heft 16, 252 - 253, 1936. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Zimmer, Ernst: Umsturz im Weltbild der Physik. Gemeinverständlich dargestellt. 3. Aufl. Knorr & Hirth, 1936, *Die Naturwissenschaften* , Heft 35, 559, 1936. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Kernphysik, Vorträge am Physikalischen Institut der ETH im Sommer 1936, Verlag Julius Springer, 1936, *Die Naturwissenschaften* , Heft 15, 235 - 236, 1937. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: v. Weizsäcker, C.F.: Die Atomkerne. Grundlagen und Anwendungen ihrer Theorie, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1937, *Die Naturwissenschaften* , Heft 7, 109, 1937. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Westphal, W.H.: Physik, *Die Naturwissenschaften* , Heft 4, 64, 1938. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Ramsauer, G.: Das freie Elektron in Physik und Technik, *Die Naturwissenschaften* , Heft 28, 440, 1942. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Friedrich Dessauer: Weltfahrt der Erkenntnis. Leben und Werk Isaak Newtons, *Universitas* , 6. Jhg., 1353 - 1355, 1951. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Heinz Forster: Das Gedächtnis. Eine quantenphysikalische Untersuchung, *Universitas* , 6. Jhg., 81, 1951. [Rezension]

Pascual, Jordan. Rezension zu: Mittasch, A.: Julius Robert Mayers Kausalbegriff, *Physikalische Zeitschrift* , 1941. [Rezension]

Jordan, Pascual. Rezension zu: Joos, G.: Lehrbuch der Theoretischen Physik, 3. Auflage, *Die Naturwissenschaften* , Heft 29, 462, 1940. [Rezension]

Veröffentlichungen Jordans unter einem Pseudonym

Domaier, Ernst. Religion, Moralismus und soziale Gesinnung, *Deutsches Volkstum* , 905, 1930. [PPR]

Domaier, Ernst. Überschulung und Bürokratie, *Deutsches Volkstum* , 175, 1930. [PPR]

Domaier, Ernst. Überschulung und Klassenkampf, *Deutsches Volkstum* , 271, 1930. [PPR]

Domaier, Ernst. Wider die Geistreichigkeit der Kunstschriftstellerei, *Deutsches Volkstum*, 757, 1930. [PPR]

Domeier, Ernst. Gulliver besucht die Marxisten, *Deutsches Volkstum*, 107, 1931. [PPR]

Domaier, Ernst. Technik, Arbeitslosigkeit und Krieg, *Deutsches Volkstum* , 838, 1931. [PPR]

Domaier, Ernst. Surrogatismus, *Deutsches Volkstum* , 431, 1932. [PPR]

Rack, Erwin. *Das Problem der Elite* , 77 Seiten, Privatdruck im Nölke Verlag, Hamburg, 1950. [PPR]