

# 南镜玻恩学派

*Über die Bornsche Schule*

$$E = mc^2$$

曹則賢

中国科学院 · 物理研究所

# 内容提要

School 何以为学派?

玻恩的生平

玻恩与量子力学 [学派由来]

玻恩的老师

玻恩的学生们/助手们

玻恩的著作

玻恩的影响



学派: **School master** 应该有点儿本征学问, **Disciples** 众多且不乏佼佼者



有学派的人: **MacTutor of Maestros**

索末菲学派、卢瑟福学派、朗道学派、**Bourbaki**, Kolmogorov, Gel'fand...?

A composite image featuring a chalkboard with physics diagrams and equations, and a portrait of Arnold Sommerfeld. The chalkboard contains:

- Vector diagrams showing a vector  $v$  being decomposed into parallel  $r_{||}$  and perpendicular  $r_{\perp}$  components relative to a normal vector  $n$ .
- Equations:  $v = v_{||} + v_{\perp}$ ,  $v_{||} = k(k \cdot v)$ ,  $v_{\perp} = -k \times (k \times v) = v - k(k \cdot v)$ .
- Equations for vector decomposition:  $r = r_{||} + r_{\perp}$ ,  $r_{||} = n(n \cdot r)$ ,  $r_{\perp} = -n \times (n \times r) = r - n(n \cdot r)$ .
- Geometric diagrams of a crystal lattice and a gyroscope.
- A portrait of Arnold Sommerfeld on the right side.

索末菲学问的几个侧面: 1 晶体衍射、原子结构与陀螺 (**Über die Theorie des Kreisels**)

## Born's school的说法

Born 在1954年的Dynamical Theory of Crystal Lattices序中提到过 “My own school”

# DYNAMICAL THEORY OF CRYSTAL LATTICES

BY  
MAX BORN

AND  
KUN HUANG

The situation seemed to demand an attempt at a new, comprehensive presentation. But the subject has become much too large to be dealt with from all aspects. The contributions of my own school during the last few years have been mainly concerned with non-conducting materials. It seemed to be desirable to give a description of the methods and results in this field.

# Max Born 生平

1882年12月11日出生  
于普鲁士的Breslau

同乡同龄大学者

Felix Hausdorff, 数学家

Heinrich Gerhard Kuhn, 物理学家

Fritz Haber, 化学家



**Breslau (现波兰的Wrocław)**

# Max Born 生平

1970年 1月5 日于Göttingen 辞世

1933-1952 in Britain.



**Extra Göttingam non est vita,  
si est vita non est ita.**

哥廷恩之外没有生活，  
有生活也不是这样的！

**Born's School**  
与量子力学有关

为什么只有在哥廷恩才会出现量子力学？



# Born 1924年6月造了 “Quantenmechanik”一词

“玻恩学派”与“量子力学”相关联

## Über Quantenmechanik.

Von M. Born in Göttingen.

(Eingegangen am 13. Juni 1924.)

Die Arbeit enthält einen Versuch, den ersten Schritt zur Quantenmechanik der Kopplung aufzustellen, welcher von den wichtigsten Eigenschaften der Atome (Stabilität, Resonanz für die Sprungfrequenzen, Korrespondenzprinzip) Rechenschaft gibt und in natürlicher Weise aus den klassischen Gesetzen entsteht. Diese Theorie enthält die Dispersionsformel von Kramers und zeigt eine enge Verwandtschaft zu Heisenbergs Formulierung der Regeln des anomalen Zeemaneffekts.

Es ist doch merkwürdig, daß so viele Leute gar keine Gefühl für die innere Wahrscheinlichkeit einer Theorie haben。

竟然有很多人对理论的内在可能性一点儿感觉都没有。

—— Born to Einstein (?)

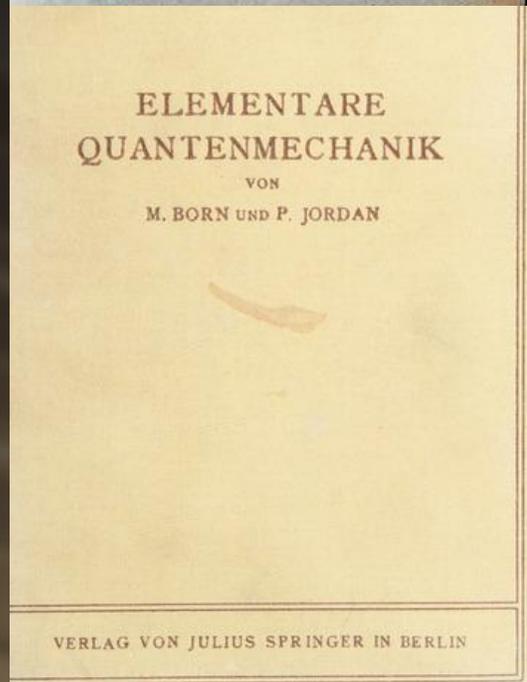
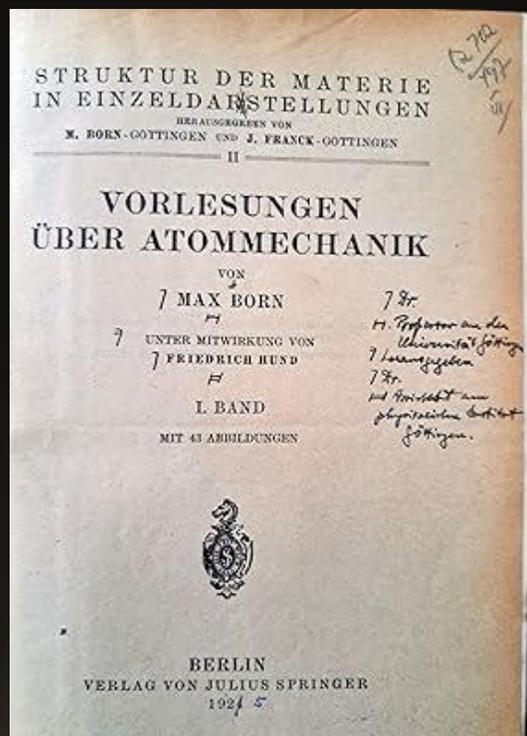
个人观点：

所有后来对量子力学的贡献，就其意义来说，加起来都比不上认识到应该有“Quantenmechanik”这门学问来得重要。

在1923-1924学期教授原子物理时，玻恩认识到了这门学问的存在，但他不知道那是什么样的学问，他为这门学问预留了《原子力学》一书的卷二，即1925年Born-Jordan的《基础量子力学》。

当生命意识到宇宙奥秘的存在时，距它最终解开这个奥秘就只有一步之遥了。

—刘慈欣 《朝闻道》



# Who is involved in 量子论-量子力学?

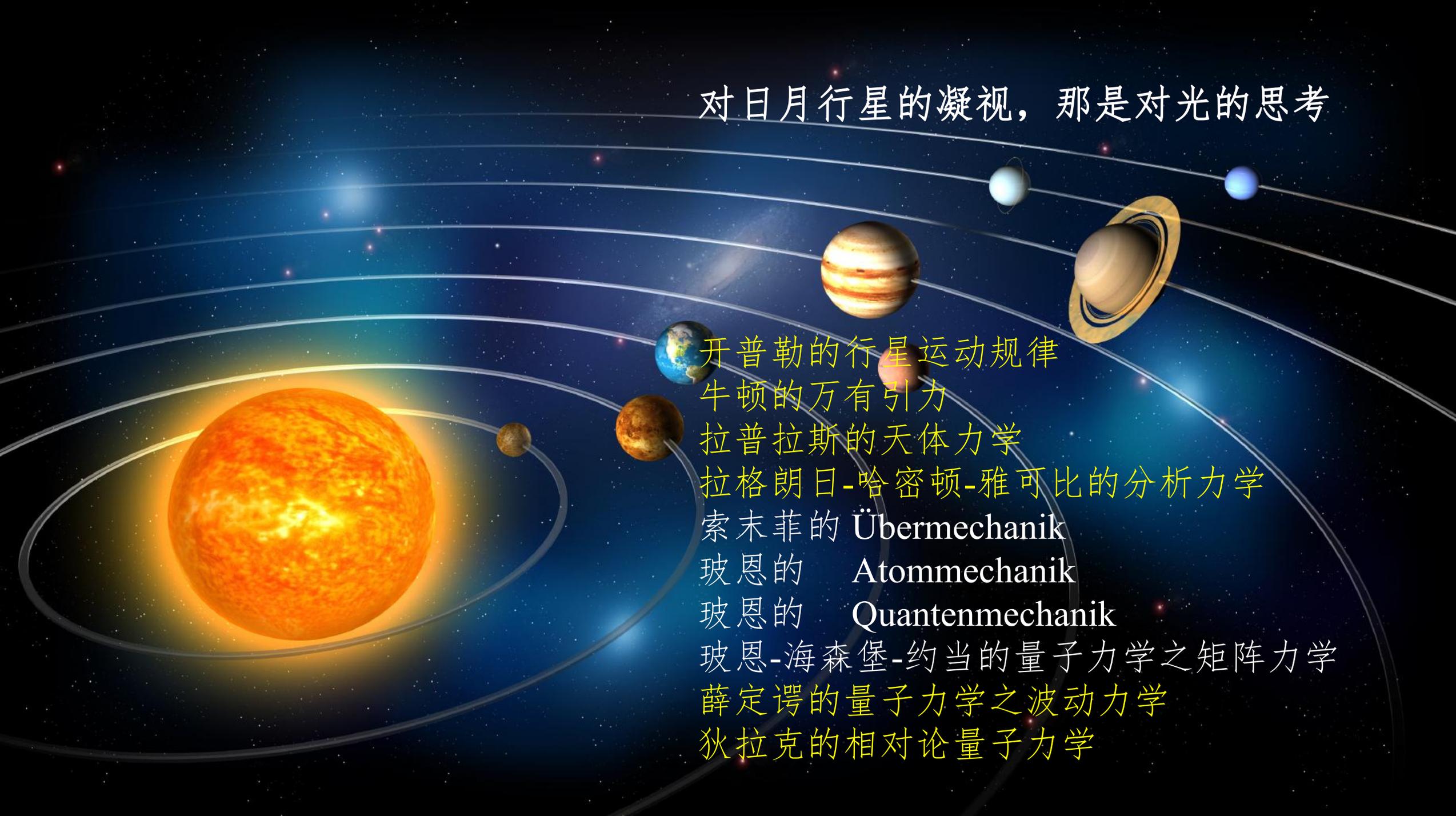


$$V = \sum P^* V_p$$
$$V = V_0 - \sum V_{r_A} \{1 - \sigma_A\}$$

$H_z$

$\Delta \mu$

$\Delta H$



对日月行星的凝视，那是对光的思考

开普勒的行星运动规律

牛顿的万有引力

拉普拉斯的天体力学

拉格朗日-哈密顿-雅可比的分析力学

索末菲的  $\ddot{U}$ bermechanik

玻恩的 Atommechanik

玻恩的 Quantenmechanik

玻恩-海森堡-约当的量子力学之矩阵力学

薛定谔的量子力学之波动力学

狄拉克的相对论量子力学

# Universität Göttingen

## Die Bronzen (大咖)

Gauss  
Riemann

电磁学  
电动力学

Hilbert, Klein, Minkowski, Runge, Voigt

Weyl

Born

Sommerfeld

量子力学不可能产生于哥廷恩以外的任何地方！

Jordan

Pauli  
Heisenberg

Göttingen  
Königsberg  
München  
Zürich (Einstein, Weyl, Schrödinger)

## 玻恩的师承

博士论文导师： Carl Runge

论文题目： Untersuchungen über die Stabilität der elastischen Linie in Ebene und Raum unter verschiedenen Grenzbedingungen (不同边界条件下2D-, 3D-空间中弹性线的稳定性研究)

### 其他导师

Woldemar Voigt (考官; 晶体学, 相对论-洛伦兹变换)

Karl Schwarzschild (考官; 相对论)

Joseph Larmor, George Searle, J. J. Thomson (半年, 电子理论)

Habilitation 考试委员包括 Hilbert, Klein & Minkowski

因为老师是真老师, 学的是真学问, Born 在所学的所有方向都开花结果了

# 玻恩的师承

## 一个小插曲

He then returned to Breslau, where he worked under the supervision of **Otto Lummer** and **Ernst Pringsheim**, hoping to do his habilitation in physics. A minor accident involving Born's black body experiment, a ruptured cooling water hose, and a flooded laboratory, led to Lummer telling him that he would never become a physicist. {Lummer, Pringsheim 位列**德国实验物理五杰**}

**那么问题来了，玻恩后来做实验研究不？**

1. 他做实验研究 (Otto Stern);
2. 牢牢地绑住实验大佬、好朋友 James Franck (1882-1964, NP 1925)

# 玻恩的师承

## Habilitation 问题 (学术独立)

1908年12月，Minkowski 让玻恩回哥廷根做Habilitation, 研究狭义相对论。**Otto Toeplitz** (1881-1940) 帮他突击Matrix algebra, 从而能用好四维Minkowski空间**矩阵**。1909年1月12日闵可夫斯基去世。

Habilitationsschrift 受到了Klein & Max Abraham的批评，但Hilbert 和 Runge 表示很有意思。Woldemar Voigt (1850- 1919). 负责担保玻恩的Habilitation “ Die Theorie des starren Elektrons in der Kinematik des Relativitätsprinzips (相对论运动学中的刚性电子理论)”

1909年10月23日 Habilitation lecture 是关于**原子**的汤姆孙模型的。

## 玻恩的师承

After having started studying mathematics in Breslau Born spent two summers at the University of Heidelberg and the ETH Zürich (同时期爱因斯坦从那里刚毕业? ).

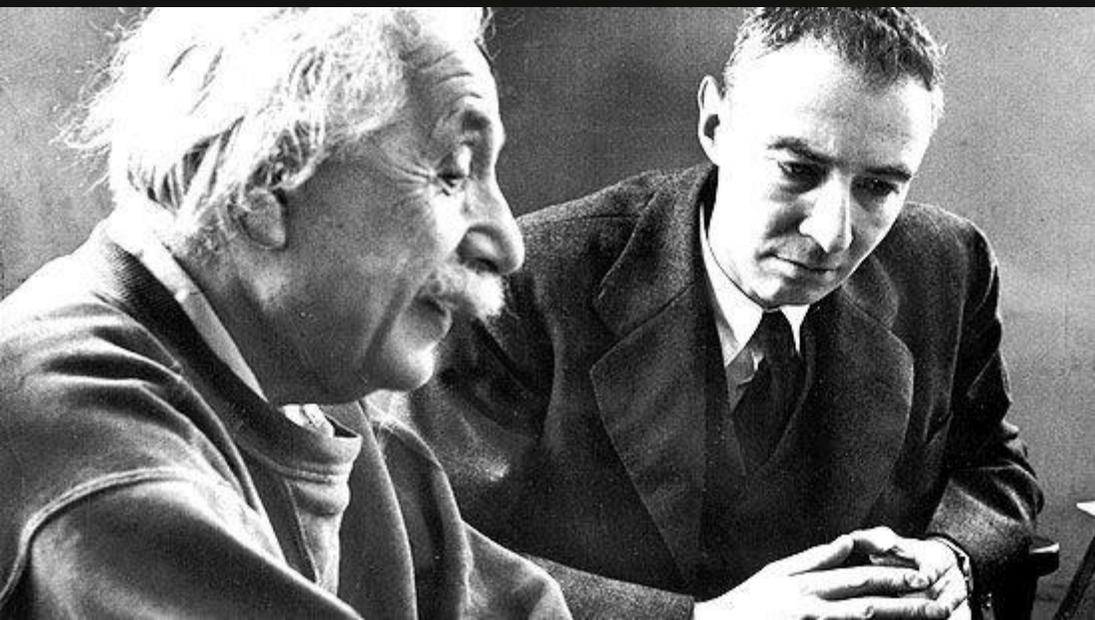
玻恩学的是数学，爱因斯坦学的是数学教育。

1904年到达哥廷恩. For the PhD thesis, Hilbert proposed Born to find out if **the zeros of the Bessel functions** are transcendental numbers.

未来，薛定谔方程为代表的所谓波动力学大抵都退化为这类问题，这也是**玻恩对薛定谔波动力学贡献巨大**的缘由。

# 与Einstein 好兄弟一辈子

创造量子力学时期，Born 与 Planck, Einstein, Sommerfeld, Lorentz, Schrödinger 等人惺惺相惜。



Heidelberger Taschenbücher

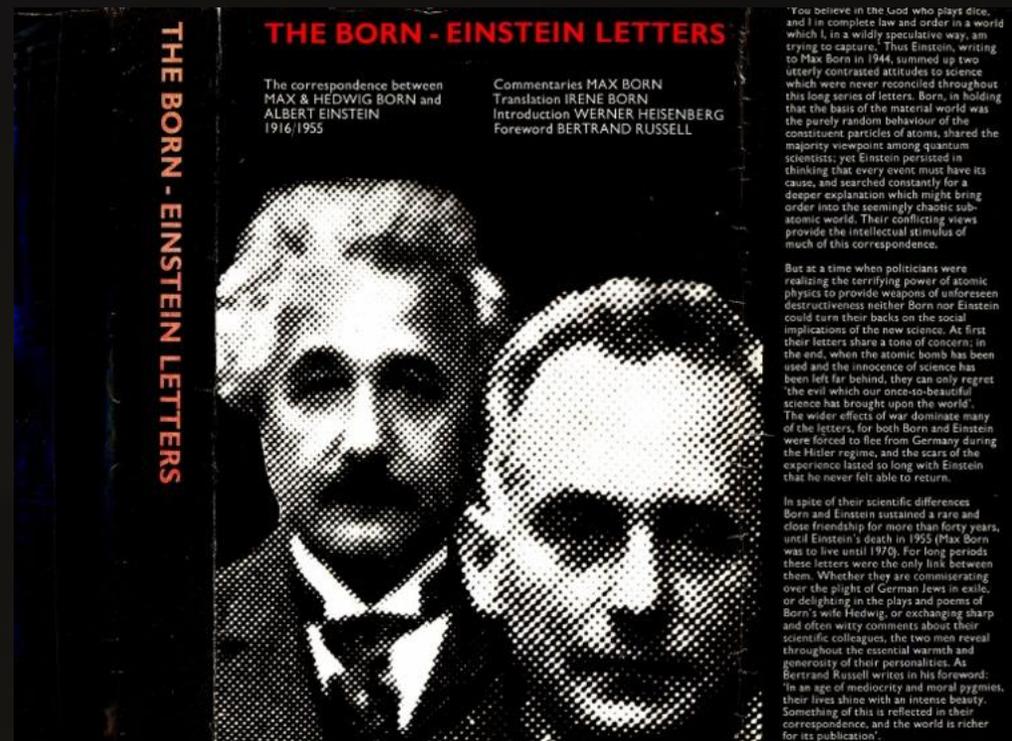
*Max Born*

*Die Relativitätstheorie Einsteins*

5. unveränderte Auflage



Springer-Verlag



## The BORN-EINSTEIN Letters

Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955 with commentaries by **MAX BORN**

Translated by Irene Born

# 玻恩的学生们

Mary Bradburn

Kaijia Cheng (程开甲)

Max Delbrück (NP-Med.)

Walter Elsasser

Siegfried Flügge (Rechnenmethoden der Quantentheorie)

Maria Goeppert-Mayer (NP-Chem.)

Herbert S. Green

Friedrich Hund

Pascual Jordan

Edgar Krahn

J. Robert Oppenheimer

Lothar Wolfgang Nordheim

Huanwu Peng (彭桓武)

Mary Bradburn

Maurice Pryce

Carl Hermann

Bertha Swirles

Victor Frederick Weisskopf

Liming Yang (杨立铭)

Sheila Tinney

to those less gifted, he patiently handed out respectable but doable assignments.

有些师生名份的

Enrico Fermi (NP)

Huang Kun

Emil Wolf

# 玻恩的助手们

|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Wolfgang Pauli (NP):           | 泡利方程、泡利矩阵...           |
| Werner Heisenberg (NP):        | 海森堡求和规则、模型；同位旋，交换作用    |
| Pascual <b>Jordan</b> :        | 矩阵力学，量子场论              |
| Friedrich <b>Hund</b> :        | 洪特规则1925，量子隧穿          |
| Enrico Fermi (NP):             | 费米统计，Golden rule, 链式反应 |
| Gerhard Herzberg (NP, chemie): | 原子谱、分子谱                |
| Léon Rosenfeld:                | coined lepton          |
| Otto Stern (NP 1943):          | 分子束                    |
| Edward Teller:                 | 氢弹                     |
| Eugene Wigner (NP):            | 群论入量子力学                |
| Walter Heitler:                | valence bonding        |
| Herbert S. <b>Green</b> :      | 量子场论                   |

# 玻恩与量子力学的创造

Max Born

Pascual Jordan

Wolfgang Pauli

John von-Neumann

PAM Dirac (外人)

Erwin Schrödinger (外人)

Владимир Александрович Фок (外人)

Werner Heisenberg {矩阵三部曲，第一篇Heisenberg是唯一作者，没有矩阵一词；第二篇玻恩、约当创立矩阵力学；第三篇是对第二篇的补充，署名为Born-Heisenberg-Jordan}

# 玻恩与海森堡



$$X(n, n - \alpha) \text{ for } x(n, t)$$

$$Y(n, n - \beta) = \sum_{\alpha} X(n, n - \alpha) X(n - \alpha, n - \beta)$$

Weinberg 在 Dreams of a final theory 说 Heisenberg 的这一篇论文难读，那是因为他不知道人家在说什么！

Heisenberg 在这之前对 **谱线强度** 有深入研究，是跟着 Sommerfeld 以及同 Bohr/Krammers 合作研究而来的。他的思路是用具体的表达式表现的，不是什么虚头八脑的 **直觉**！

玻恩的谦虚说法 “海森堡的矩阵力学.....”

# 玻恩与波动力学

薛定谔形式的量子力学不仅能描述定态，还能描述跃迁

将原子散射入射电子的波函数写成原子未扰动波函数×电子半空间波×系数因子之叠加，则系数因子的诠释为系数模平方是电子散射到特定方向上的概率！

这就是所谓的玻恩诠释！

## Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge.

[Vorläufige Mitteilung.<sup>1)</sup>]

Von Max Born, Göttingen.

(Eingegangen am 25. Juni 1926.)

Durch eine Untersuchung der Stoßvorgänge wird die Auffassung entwickelt, daß die Quantenmechanik in der Schrödingerschen Form nicht nur die stationären Zustände, sondern auch die Quantensprünge zu beschreiben gestattet.

$$\psi_{n\tau}^{(1)}(x, y, z; q_k) = \sum_m \int \int_{\alpha x + \beta y + \gamma z > 0} d\omega \Phi_{nm}(\alpha, \beta, \gamma) \sin k_{nm}(\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta) \psi_m^0(q_k).$$

Das bedeutet: die Störung läßt sich im Unendlichen auffassen als Superposition von Lösungen des ungestörten Vorgangs. Berechnet man die zur Wellenlänge  $\lambda_{nm}$  gehörige Energie nach der oben angegebenen de Broglieschen Formel, so findet man

$$W_{nm} = h\nu_{nm}^0 + \tau,$$

wobei  $\nu_{nm}^0$  die Frequenzen des ungestörten Atoms sind.

Will man nun dieses Resultat korpuskular umdeuten, so ist nur eine Interpretation möglich:  $\Phi_{nm}(\alpha, \beta, \gamma)$  bestimmt die Wahrscheinlichkeit<sup>1)</sup> dafür, daß das aus der  $z$ -Richtung kommende Elektron in die durch  $\alpha, \beta, \gamma$

<sup>1)</sup> Anmerkung bei der Korrektur: Genauere Überlegung zeigt, daß die Wahrscheinlichkeit dem Quadrat der Größe  $\Phi_{nm}$  proportional ist.

# 玻恩与约当



库朗与希尔伯特的《数学物理方法》第一版出现于**1924**年！

Richard Courant 是捉刀人

撰写其间 Jordan是Courant 的助手

Jordan 熟知矩阵代数！

可比拟者：狄拉克，泡利

P. Jordan, Zur Quantenmechanik der Gasentartung, Zeitschrift für Physik 44, (1927).

P. Jordan & O. Klein, Zum Mehrkörperproblem der Quantentheorie, Zeitschrift für Physik 45, 751-765 (1927).

## METHODEN DER MATHEMATISCHEN PHYSIK

VON

R. COURANT UND D. HILBERT

ORD. PROFESSOR DER MATHEMATIK  
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

ORD. PROFESSOR DER MATHEMATIK  
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

ERSTER BAND  
ZWEITE VERBESSERTER AUFLAGE  
MIT 26 ABBILDUNGEN

Jordan 1902-1980

 Springer

# 玻恩与约当

公设D: 对于每一个 $q$ , 存在一个共轭动量 $p$ .

对于任意给定的 $q$ 值,  $p$ 所有可能的值都是等概率的。  
(Bei einem gegebenen Wert von  $q$  sind alle möglichen Werte von  $p$  gleich wahrscheinlich)

坐标-共轭动量间的概率幅为  $e^{-iqp/\hbar}$ ; 若用算符说话,

$$\hat{p} = -i\hbar\partial_q$$

Pascual Jordan, Über eine neue Begründung der Quantenmechanik (量子力学新基础), Zeitschrift für Physik 40, 809-838 (1927)



# Born–Jordan Quantization

Theory and Applications

真正的学问 **never fade out**

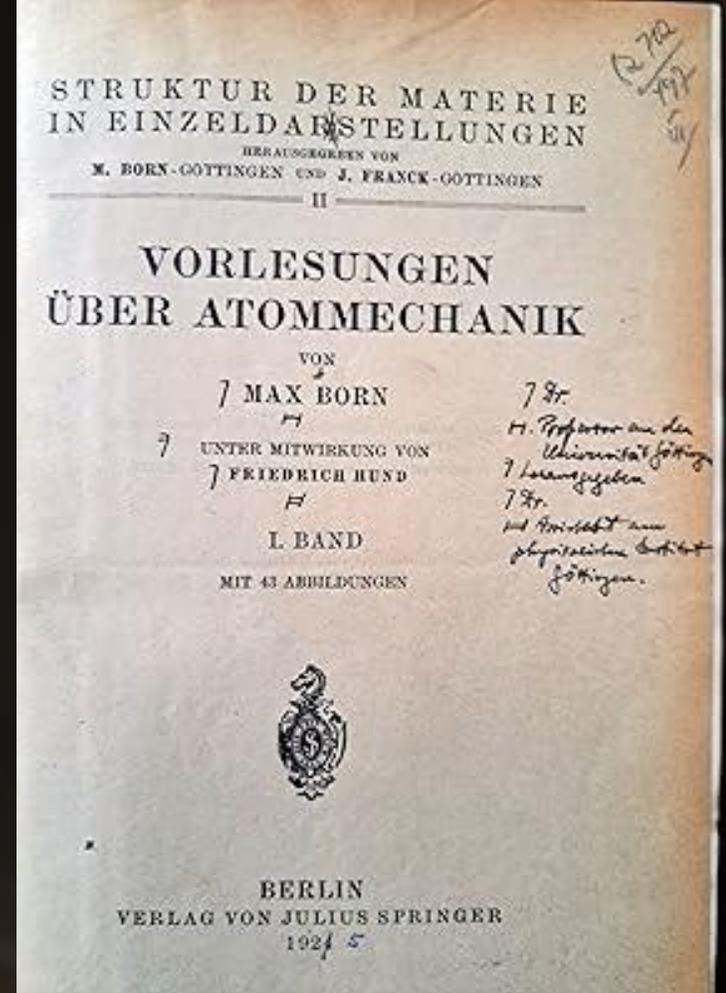
Proper length of the identical bodies

$$l = \frac{PP'}{OC} = \frac{O'O'}{OC}$$

Minkowski showed that:



Friedrich Hund und Max Born, 1966



generalized Hamilton  
mechanics to Atommechanik  
洪特定则  
隧穿效应

# 玻恩的著作

1. Dynamik der Kristallgitter, 1915
2. **Dynamical Theory of Crystal Lattices, with Kun Huang, 1954**
3. Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen, 1920
4. Vorlesungen über **Atommechanik**, 1925
5. Problems of Atomic Dynamics, 1926
6. Elementare Quantenmechanik (Zweiter Band der Vorlesungen über Atommechanik), with Pascual Jordan, 1930
7. Optik: Ein Lehrbuch der elektromagnetische Lichttheorie, 1933
8. **Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, with Emil Wolf, 1959**
9. Moderne Physik, 1933
10. Experiment and Theory in Physics, 1943
11. Natural Philosophy of Cause and Chance, 1949
12. A General Kinetic Theory of Liquids with H. S. Green, 1949
13. Physics in My Generation, 1956; Physik im Wandel meiner Zeit, 1957

## 玻恩的影响

科学的最终目的是人类  
的荣耀

科学最迷人的地方是对  
人格的塑造

谁学物理谁知道！

# 玻恩对中国的意义

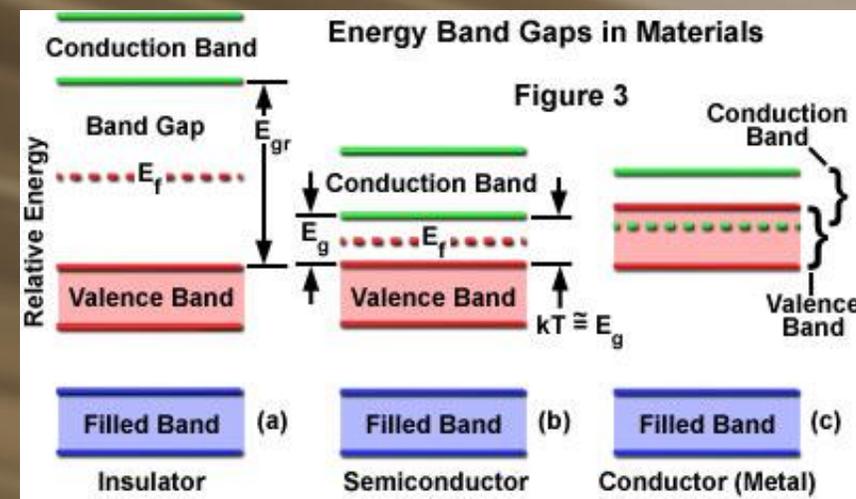
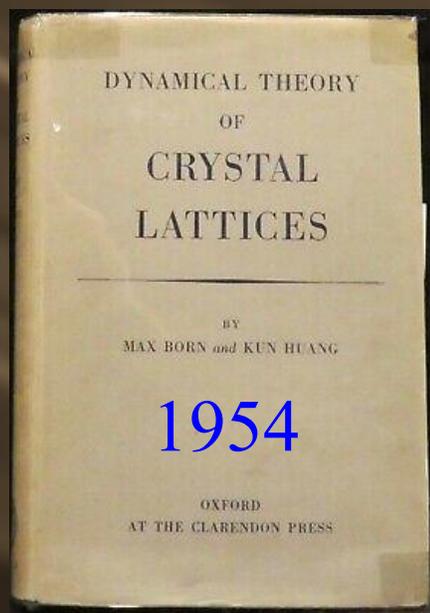
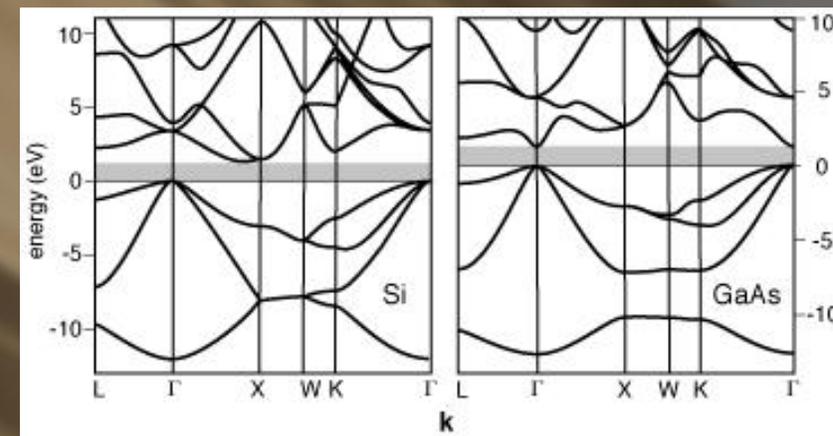
$$i\hbar\partial\psi/\partial t = H\psi$$

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = \left(\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(\mathbf{r})\right)\Psi$$

$$V(\mathbf{r}) = V(\mathbf{r} + n_1\mathbf{a}_1 + n_2\mathbf{a}_2 + n_3\mathbf{a}_3)$$



1947年，英国爱丁堡，28岁的中国青年黄昆(1919-2005)朝量子力学奠基人Max Born乱糟糟的书桌上瞟了一眼，开启了中国半导体工业的篇章。未尝不可说，今日我国的半导体工业始于那个青年与Born合著的Dynamical theory of crystal lattices.



量子力学很幸运，构成量子力学这门学问的原始文献完整地存在着，我们只需要读懂它就好，在文字、数学和物理的意义上读懂它。量子力学历史会是真正意义上的Geschichte而不是 Historie 。只要是基于原文献说话，哪怕长着一双偏见的眼睛、还戴着一副偏见的眼睛都不妨碍我们认识到真正的量子力学及其创造者与创造过程。

—曹则贤 《量子力学真面目》

# 一句感慨

如何成为一个真正的学者？

生来是那块料子，上过真正的学校，遇到过真正的老师，读过真正的书，真正思考过真正的问题。

*Thank you for  
your attention!*