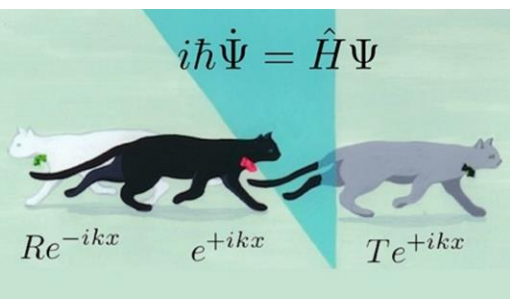
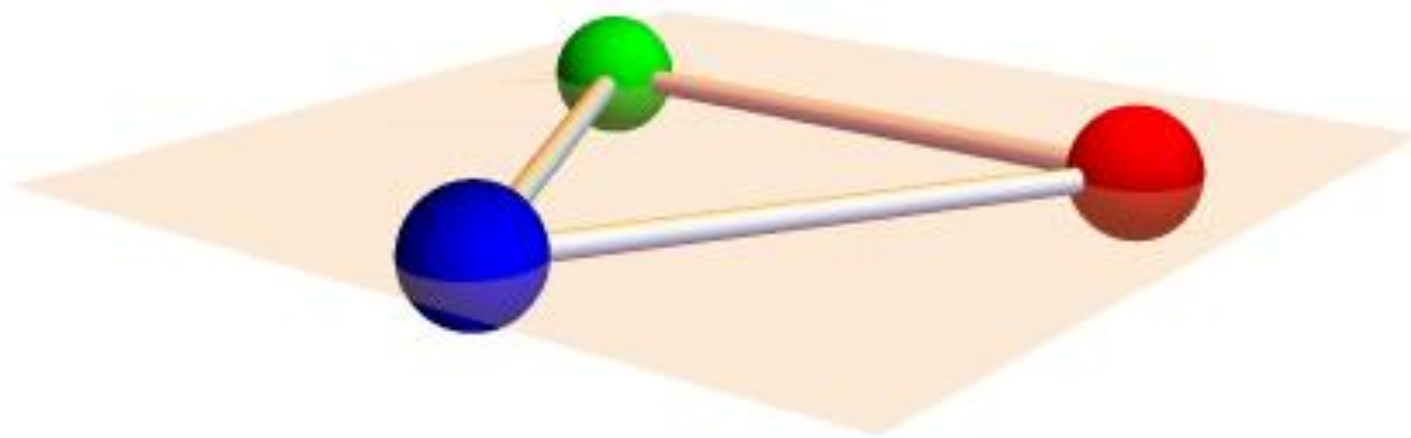


创立量子力学

天才们的游戏



曹则贤

中国科学院物理研究所 ₁

2016. 11. 08

内容提要

- 为什么要学习量子力学？
- 量子力学是什么样的学问？
- 量子力学英雄谱

Boltzmann, Balmer, Planck, Einstein, Bohr,
Sommerfeld, Wigner, Compton, Bose, Pauli, Fermi,
de Broglie, Heisenberg, Jordan, Born, Schrödinger,
Goudsmit, Uhlenbeck, Dirac, von Neumann,
Davisson-Germer, Hilbert, Weyl, Feynman, Bell

- 结束语

为什么我们要学习量子力学？

Aussi l'homme ne peut être heureux par la science, mais aujourd'hui il peut bien moins encore être heureux sans elle.

虽然人们并不是因为科学就幸福了，但是如今没有了科学人们可不怎么能幸福起来。

—Poincaré *La valeur de la Science*

虽然，人们不会因为懂得量子力学就是物理学家了，但是今天的人们如果不懂量子力学而宣称自己是物理学家的话，可能显得有点鲁莽！

—caozexian



现代物理两大支柱

量子力学 & 相对论

论学术价值：旗鼓相当

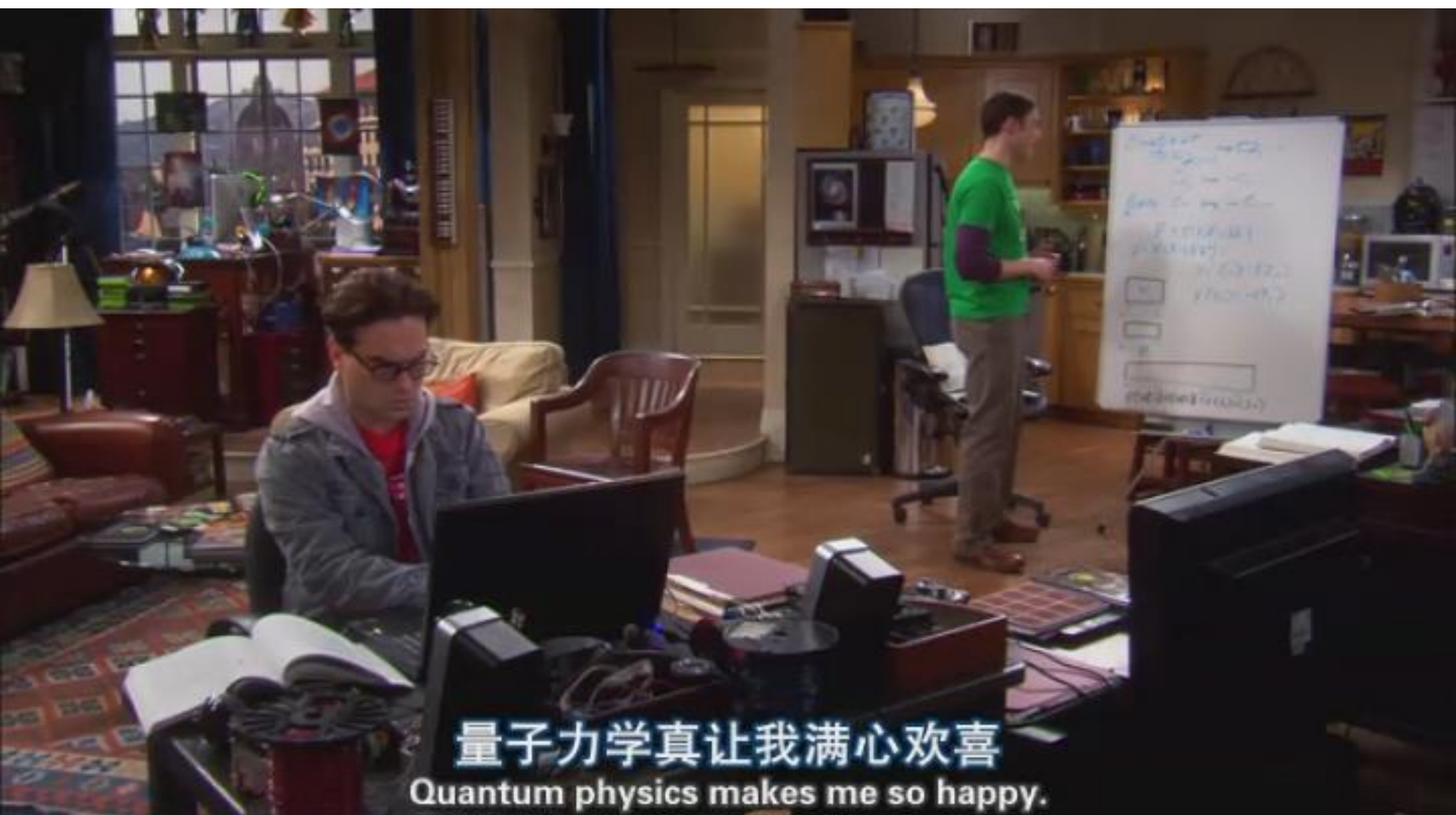
论应用价值：天渊之别



坐在玻尔的办公桌前（2011夏）

Did you hear the voice from Bohr when you sat beside his desk? Were you quantized at that moment?

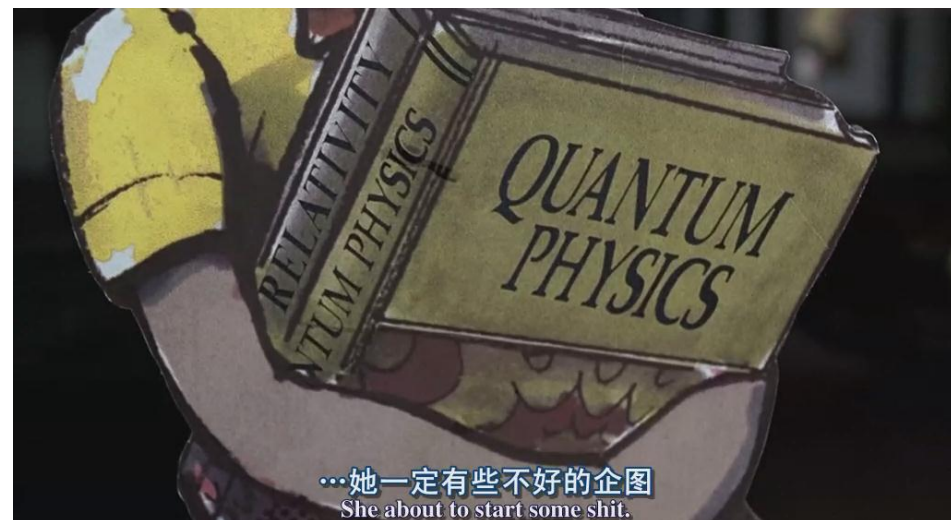
—Liucheng 2011.08.29



量子力学真让我满心欢喜
Quantum physics makes me so happy.

Why you felt little Tiffany deserved to die?

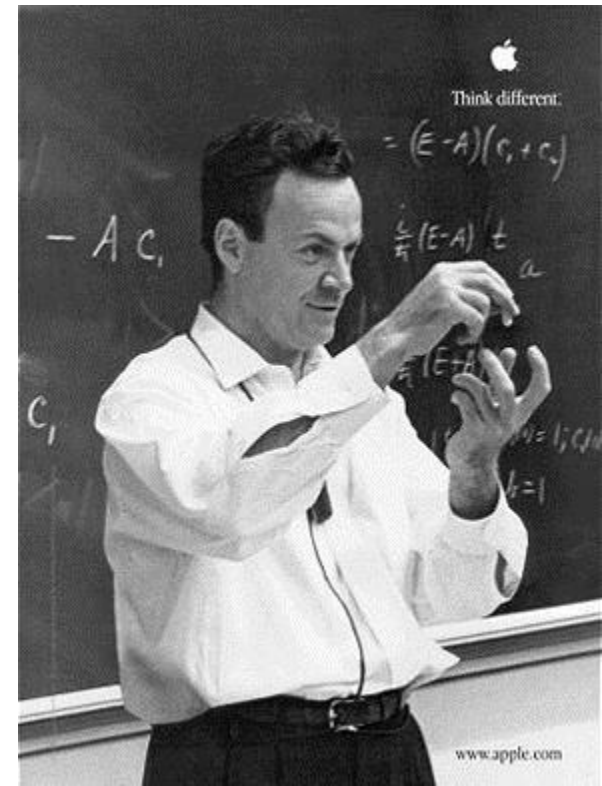
-scene from *Men in black*



She was the only one that seemed dangerous type, sir. Then I saw little Tiffany, 8-year-old white girl, middle of the ghetto, bunch of monsters at night with **quantum physics books**. **She is about to start some shit**. She is about 8-year-old, and those books are way too advanced for her. That means, I say **she is up to something**. 7

I think I can safely say, nobody
understands quantum mechanics.

--Feynman 1965



QM in my opinion

Quantum Mechanics: An Adventure of Mind

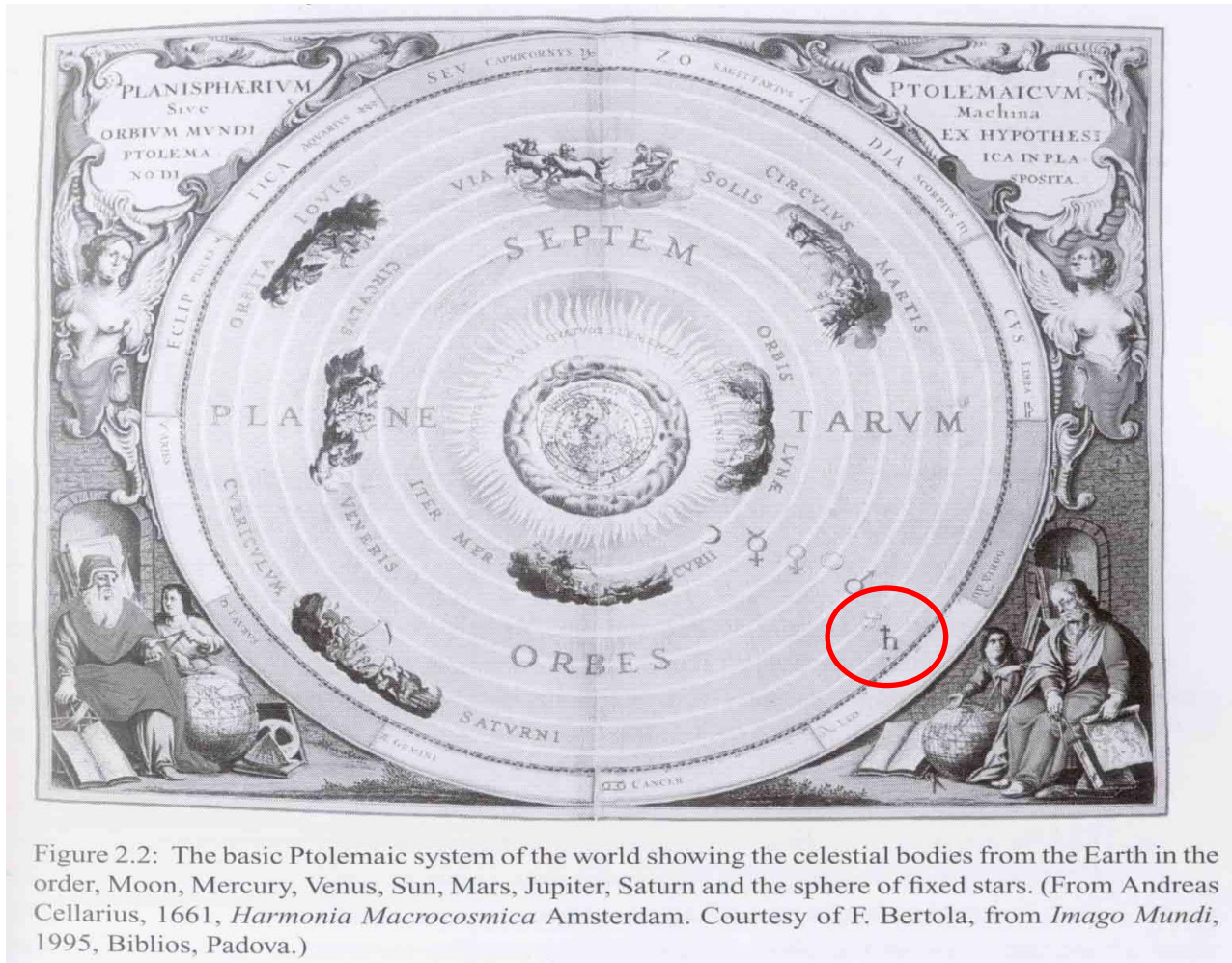
一点革命
知昨非
抛弃成见

佛法无深意！
Neither does Quantum Mechanics

量子力学的标签

The Planck constant!

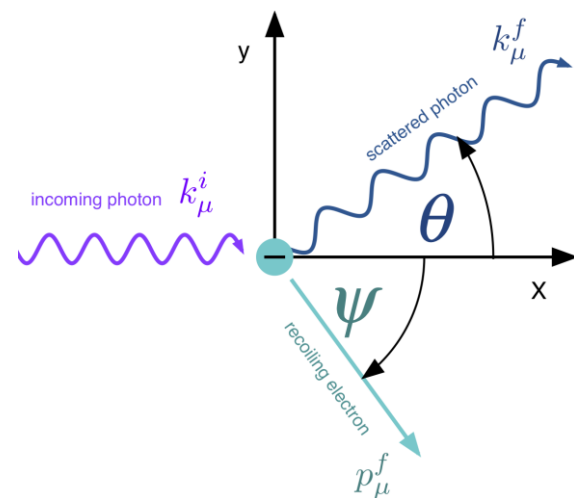
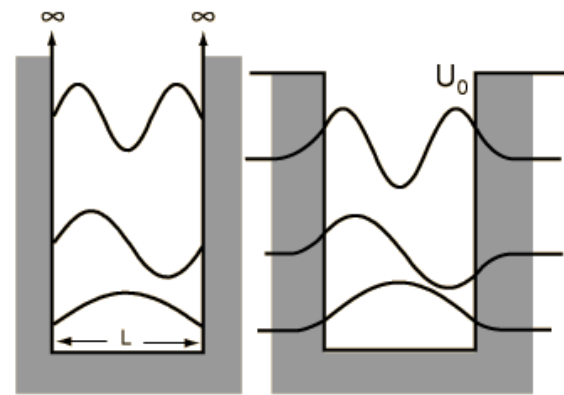
h



Himmer, Heaven, Harmony

量子力学教科书的程式

- (1) 微观世界（乌云与革命）
- (2) 波动方程
- (3) 波函数与算符
- (4) 解不同势函数下的波函数
- (5) 研究动力学（不同pictures）
- (6) 散射问题
- (7) 发证书，是量子物理学家了！



也许教会了我们一些科学思想 / 事实（？），它没教会这些之间的关联（如何形成一个自洽的知识体系），思想是如何被想到的，知识体系是如何创造、改造与整合的，如何塑造我们的判断力，我们又凭什么去接受那些事实。

The Dictionary of Quantum Physics

Igor R. Shafarevich, *Basic Notions of Algebra*, Springer (2005).

In QM, the basic **physical** notions are ‘coordinatised’ by **mathematical** objects:

Physical notion	Mathematical notion
State of a physical system	vector φ in an infinite-dimensional complex Hilbert space φ
Scalar physical quantity	Self-adjoint operator
Simultaneously measurable quantities (you it has many eigenvalues, how can you get all the values once)	Commuting operators
Quantity taking a precise value λ in state φ	Operator having φ as eigenvector with eigenvalue λ .
Set of values of quantities obtained by measurement	Spectrum of an operator
Probability of transition from state φ to state ψ	$ \langle \varphi \psi \rangle $ $ \varphi ^2 = \psi ^2 = 1$

量子与多少

Quantus, Quantum, Quanta,

how much的 阳、中、阴性形式

Quantity, Quantitative

意大利语初级教程

Quanto è questo?

Quanto costano?

这东西多少钱?

Quanti anni hai?

你有几个岁?



量子与多少

Quantum of Rain Fall 降雨量



舒适度、安全度



量子危机?
哪跟哪?

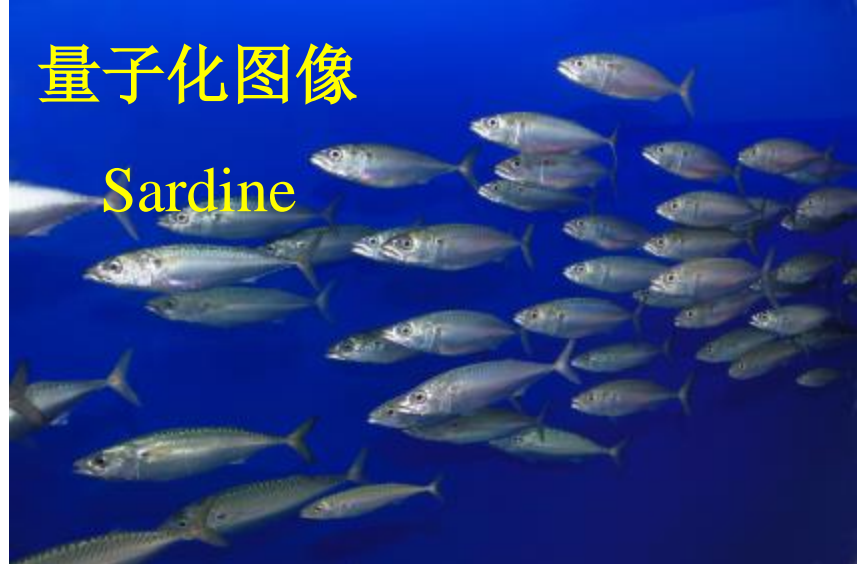
生活中的量子现象

量子：最小单位，基本完整性！

The quanta of light: photon

The quanta of fish school: a fish

量子化图像



连续图像

Fish school



Atom & Integer

不可分与不相连

Palm-fingers



Integer!



Digital, digitus: finger, toe
Integer: **untouched**, as a whole

量子测量：二桃杀三士

古冶子，公孙捷，
田开疆

步出齐东门，遥望荡阴里。
里中有三坟，累累正相似。
问是谁家冢？田疆古冶子。
力能排南山，文能绝地纪。
一朝中阴谋，二桃杀三士。
谁能为此者？相国齐晏子。

— 诸葛孔明 《梁父吟》



二桃杀三士选自 《南阳汉画像石精萃》
桃子 is something that is in some sense an atom!

量子化：个体的尊严

皮定钧 (1914~1976)，安徽金寨人。曾任兰州军区司令员，福州军区司令员，1955年被授予中将军衔。据传毛泽东主席有批示：“皮有功，少晋中。”

Tangible
physics

Sensible
physics



Quantized!

皮定钧规定：

鸡蛋必须以**煮鸡蛋**的形式发到士兵手里，
不许做成**鸡蛋汤**、**炒鸡蛋**



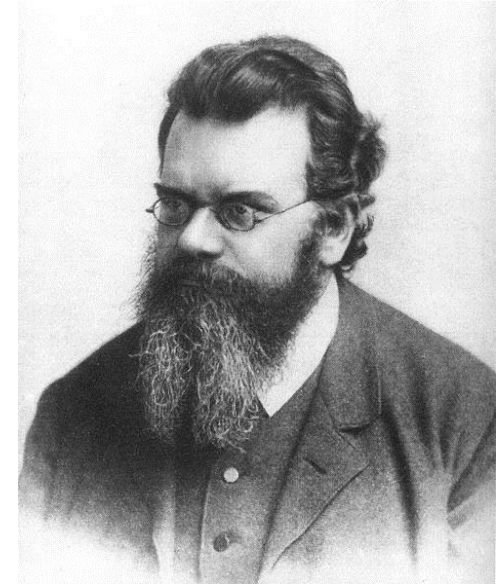
Continuous!

量子力学是一伙儿天才们的头脑风暴的产出。
这些天才们之所以能有这样伟大的成就，只不过是
因为：

**确实是天才；确实早学了数学与物理；
恰巧在那个时空点上。**



量子力学英雄谱之 Boltzmann



1877年 能量单元的假设

一个 n 个粒子的体系，每个粒子具有

$(0, 1, 2, \dots, p)$ 个能量单位的能量，
则总能量一定的平衡态是什么样子？

(Ludwig Boltzmann, 1844-1906)

$$n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_p = n$$

$$0 \cdot n_0 + 1 \cdot n_1 + \dots + p \cdot n_p = \lambda$$

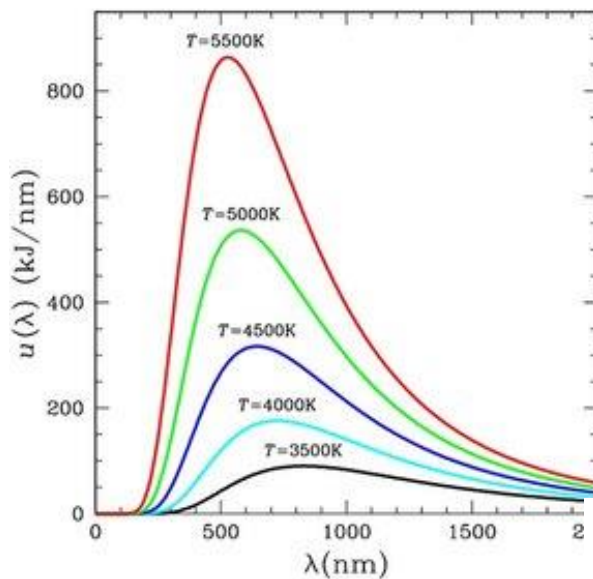
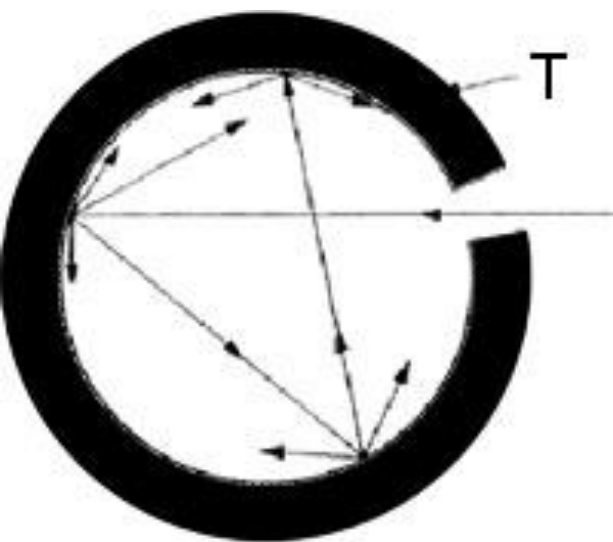


$$P = \frac{n!}{n_0! n_1! \dots n_p!}$$

$$n_p \propto \exp(-\beta p)$$

在此约束条件下，
分布状况有什么
特点？

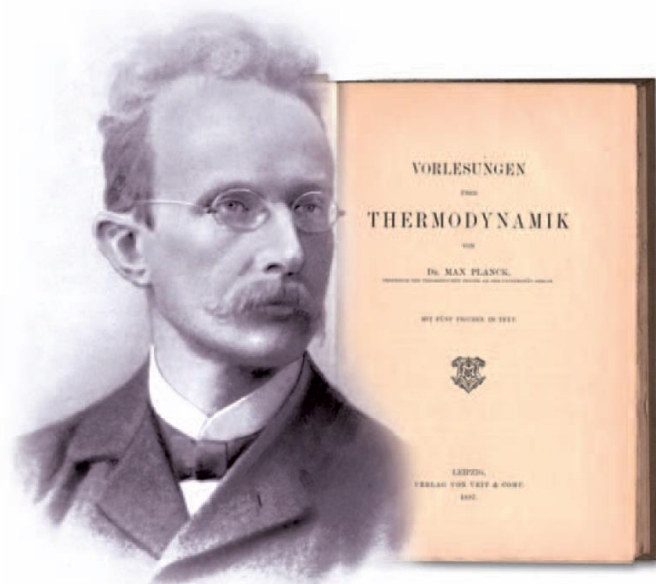
量子力学英雄谱之-Planck



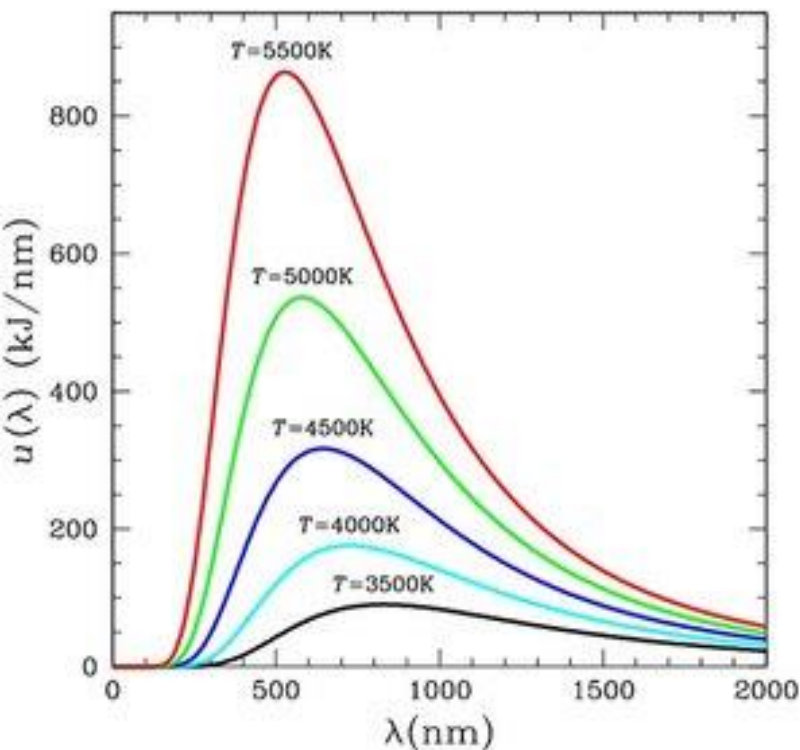
(Max Planck, 1858—1947)

1900年普朗克要回答如下问题：

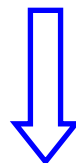
黑体辐射实验曲线的方程该是什么样的？



量子力学英雄谱之-Planck



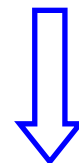
$$\frac{\partial^2 S_\nu}{\partial U_\nu^2} = - \frac{k}{U_\nu (h\nu + U_\nu)}$$



$$\frac{\partial(1/T)}{\partial U_\nu} = - \frac{k}{U_\nu (h\nu + U_\nu)}$$



$$U_\nu = \frac{h\nu}{\exp(h\nu / kT) - 1}$$



$$h = 6.55 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad \leftarrow \quad e_\nu = \frac{4\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\exp(h\nu / kT) - 1} \quad 22$$

量子力学英雄谱之-Planck

To distribute the energy U_N (P portions) among N oscillators (for the calculation of entropy with classical concept of billiard balls) with frequency ν .

Suppose U_N is indefinitely large, divisible, and the total number P of equal part

$$W = \frac{(P + N - 1)!}{P!(N - 1)!}$$

$$S_N = Nk \left[\left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right]$$

$$U = \frac{\varepsilon}{\exp(\varepsilon / kT) - 1}$$

$$e_\nu = \frac{4\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\exp(h\nu / kT) - 1}$$

$$P = U_\nu / h\nu$$

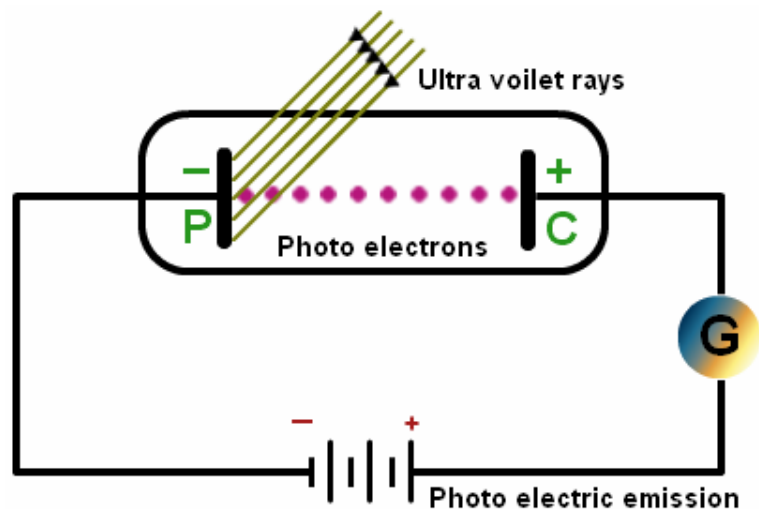
Planck called it
'**Energieelemen**

↑

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial U}$$

量子力学英雄谱之-Einstein

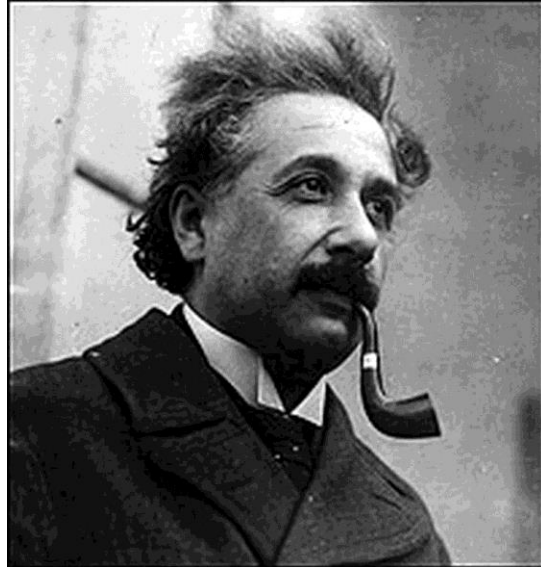
1905年，爱因斯坦利用辐射的基本能量单位的假说，成功解释了光电效应。



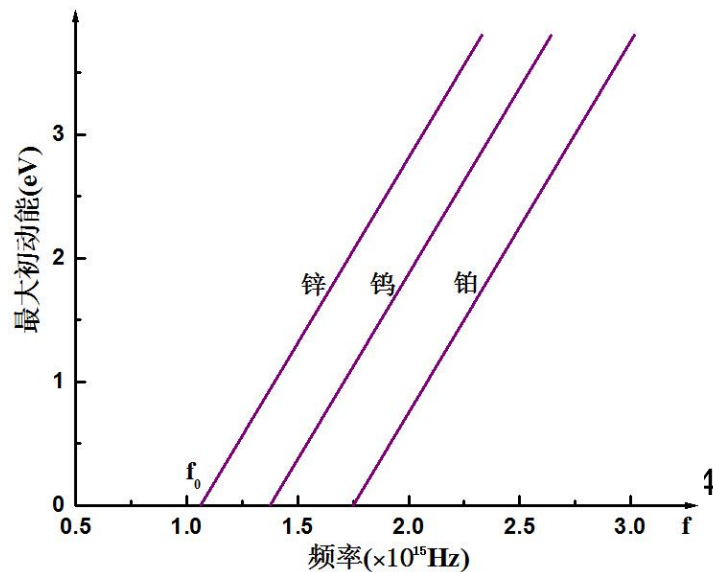
$$E_k = h\nu - \phi$$

这为爱因斯坦赢得了1921年度诺贝尔物理奖。至此，光有能量单位尘埃落定！

$$\varepsilon = h\nu$$



(Albert Einstein, 1879-1955)

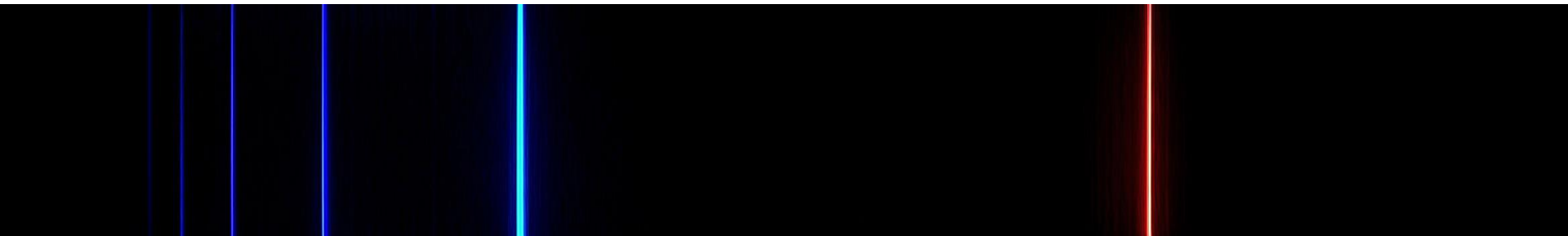


量子力学英雄谱之-Balmer



1885, Ordering of H Spectral Lines

(Johann Balmer, 1825 - 1898)



H α	H β	H γ	H δ
6562.10	4860.74	4340.10	4101.2 Å

量子力学英雄谱之-Balmer

H=3645.6

$$\frac{9}{5}h, \frac{4}{3}h, \frac{25}{21}h, \frac{9}{8}h$$

equivalent to

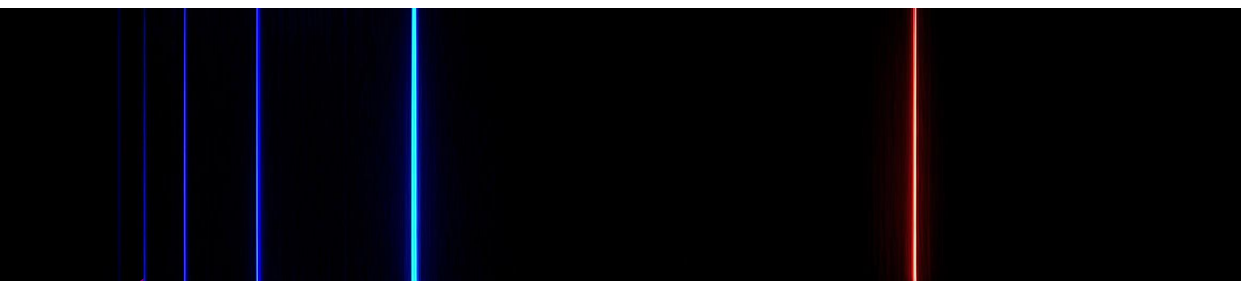
$$\frac{9}{5}h, \frac{16}{12}h, \frac{25}{21}h, \frac{36}{32}h$$

In 1884, Johann Jacob Balmer (1825-1898)

$$\frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

$$\left(\frac{4n^2}{n^2 - 2^2}\right)^{-1} = \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}$$

$$\lambda = \text{const.} \left(\frac{m^2}{m^2 - n^2} \right)$$



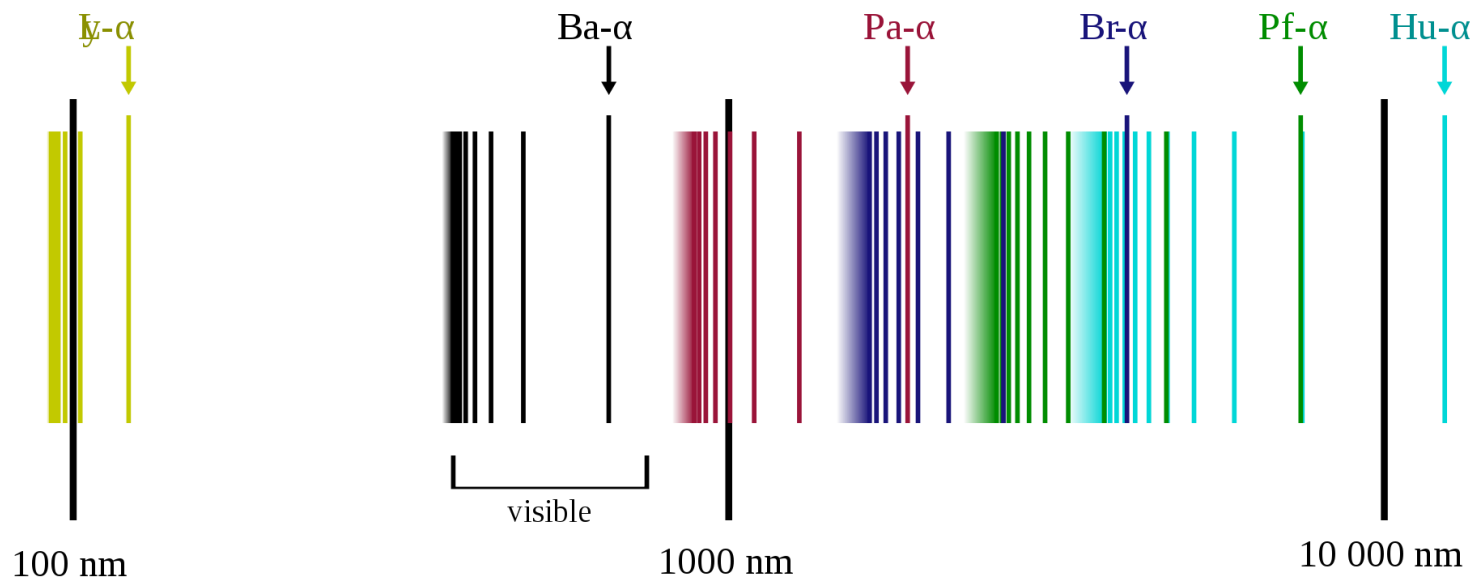
$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

It also tells what is discrete energy levels and energy band!!

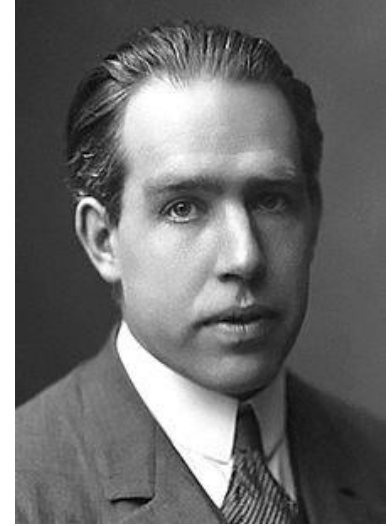
量子力学英雄谱之-Balmer

$$\nu \propto \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \longrightarrow \quad \nu_{nm} \propto \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

4→5→∞, 为什么呀?



量子力学英雄谱之-Bohr



1913年玻尔提出了氢原子的模型，首次给出了电子轨道的量子化条件

Jump, Sprung

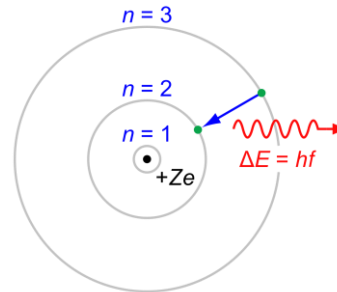
$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$



$$E_n \propto \varepsilon_0 - 1/n^2$$

(Niels Bohr, 1885-1962)

$$V_{nm} \propto \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$



Bohr's Model

$$\oint p dx = nh$$

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^2 n^2} \propto -\frac{1}{n^2}$$

量子力学英雄谱之-Bohr

Bohr' s model 回答了什么问题?

频率, 或者谱线位置问题.

$$\nu_{nm} \propto \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

谱线的特征: 位置, 亮度, 宽度, 精细结构, 简并度

量子力学英雄谱之-Heisenberg

1925年，海森堡试图回答谱线的
强度问题，建立矩阵力学



Frequency \rightarrow Intensity

(Werner Heisenberg, 1901 – 1976)

Observable: frequencies observed in quantum jumps

Fictional: frequencies come from Fourier-analyzing sharp classical orbits

The orbit $x(t)$ is periodic:

$$x(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} e^{i2\pi nt/T} X_n$$

$$X_n = X_{-n}^*$$

Matrix Mechanics

$(XP)_{nm}$?

$$H = \frac{1}{2}(x^2 + p^2)$$

$$x(t) = \sqrt{2E} \cos(t)$$

$$p(t) = \sqrt{2E} \sin(t)$$

由经典量子条件，可得轨道面积是
Planck常数的整数倍，

$$E = n\hbar$$

$$A(t) = x(t) + ip(t) = \sqrt{2E}e^{it}$$

这是只有一个
分量的Fourier
变换诶！

$$A^\dagger(t) = x(t) - ip(t) = \sqrt{2E}e^{-it}$$

Matrix Mechanics

$$\mathbf{X}_{nm}(t) = e^{i(E_n - E_m)t/\hbar} \mathbf{X}_{nm}(0)$$

A_{mn} is the $(m - n)$ -th Fourier coefficient of the classical orbit, the matrix for A is nonzero only **on the line just above the diagonal**.

$$\sqrt{2}x(0) = \sqrt{h/2\pi} \begin{pmatrix} 0 & \sqrt{1} & 0 & 0 & \\ \sqrt{1} & 0 & \sqrt{2} & 0 & \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & \sqrt{3} & \\ & 0 & \sqrt{3} & 0 & \\ & & 0 & & \dots \end{pmatrix}$$

$$\sqrt{2}p(0) = \sqrt{h/2\pi} \begin{pmatrix} 0 & i\sqrt{1} & 0 & 0 & \\ -i\sqrt{1} & 0 & i\sqrt{2} & 0 & \\ 0 & -i\sqrt{2} & 0 & i\sqrt{3} & \\ & 0 & -i\sqrt{3} & 0 & \\ & & 0 & & \dots \end{pmatrix}$$

构造出了 $x(0)$, $p(0)$, 然后呢?

量子力学英雄谱之-Born

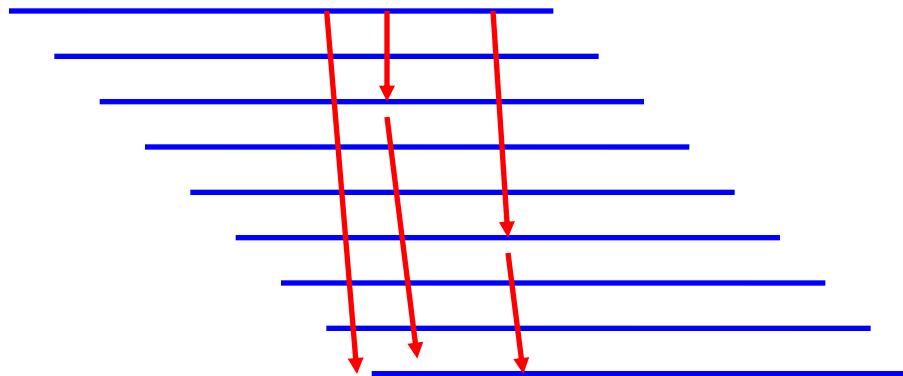


(Born wrote) and immediately there stood before me the strange formula

$$xp - px = i\hbar$$

(Max Born, 1882-1970)

量子化条件



$$C(n, m) = \sum_a A(n, a)B(a, m)$$

矩阵力学

量子力学英雄谱之-Jordan



$$xp - px = i\hbar$$

$$[x, p] = xp - px$$



$$[a, bc] = [a, b]c + b[a, c]$$



$$[p, x^n] = -i\hbar nx^{n-1}$$

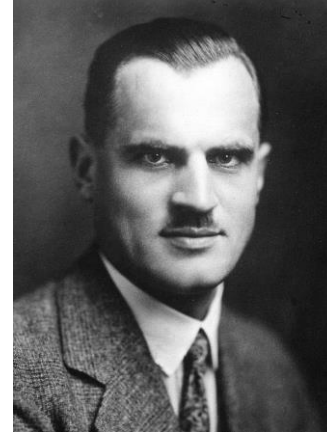
(Ernst Pascual Jordan, 1902 – 1980)

P is differential operator!

$$\hat{p}_x \mapsto -i\hbar \partial_x$$

量子力学英雄谱之-Compton

1923, 康普顿研究X-射线的
电子散射

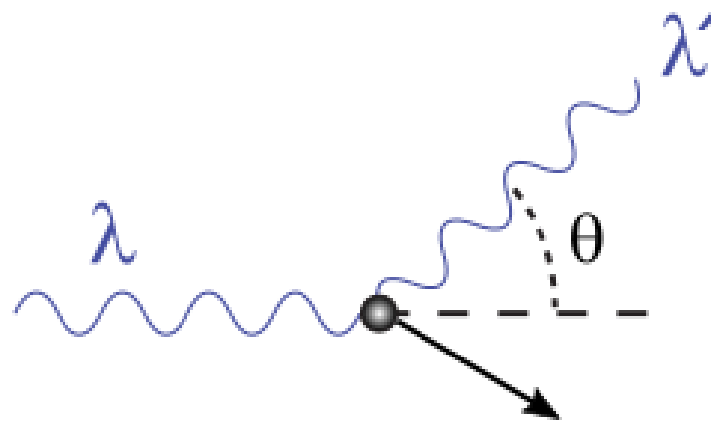


Arthur Compton, 1892-1962

$$\varepsilon = h\nu$$

$$p = h\nu/c = h/\lambda$$

光的单元就是个粒子。1926
年光子一词出现。



$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

量子力学英雄谱之 -de Broglie

1924年，De Broglie提出物质波

光如果也是粒子，
那电子这样的粒子
也是波，波长、频
率，啱！

$$p = h / \lambda$$

$$\varepsilon = h \nu$$



Luis De Broglie, 1892-1987

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\nu = \frac{\varepsilon}{h}$$

量子力学英雄谱之-Davisson & Germer

(Clinton Davisson, 1881-1958)

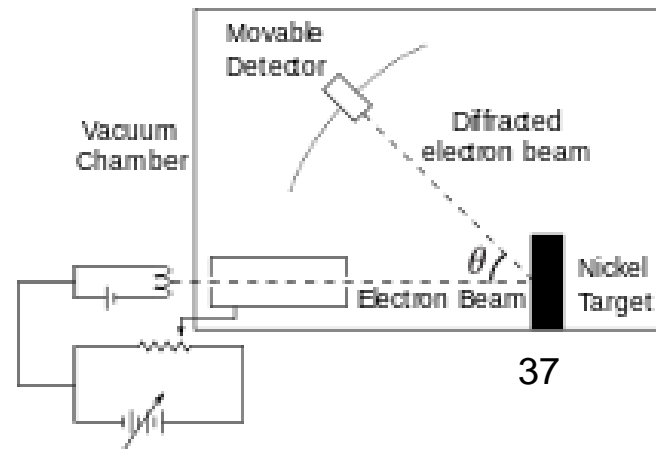
(Lester Halbert Germer, 1896-1971)

1927年，电子衍射

那就用电子
枪试试呗！

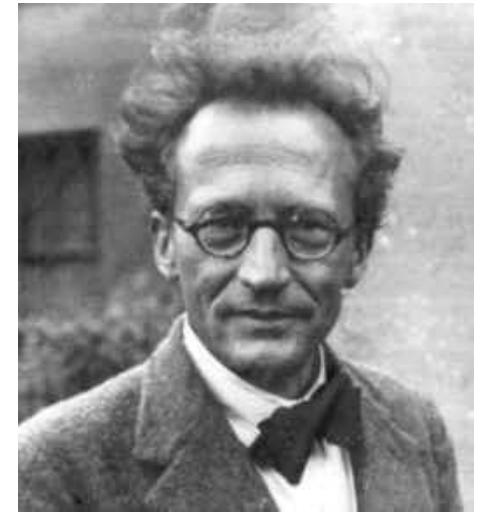


电子照射到Ni晶体上的行为和X-ray一样，所以是‘X-ray’那样的波。纳尼？



量子力学英雄谱之-Schrödinger

1926年，薛定谔给物质波找到了一个波动方程。



(Erwin Schrödinger, 1887-1961)

德拜 (Peter Debye): 如果要谈论波，总要有个波动方程吧？

Quantisierung als Eigenwertproblem

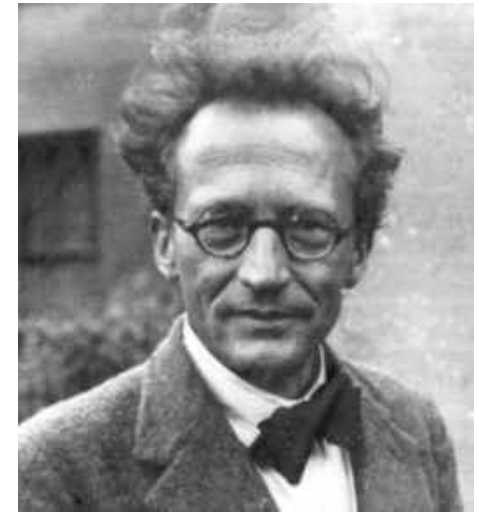
Erste Mitteilung: Ann. Phys. 79, 361(1926)

Zweite Mitteilung: Ann. Phys. 79, 489(1926)

Dritte Mitteilung: Ann. Phys. 80, 437(1926)

Vierte Mitteilung: Ann. Phys. 81, 109(1926)

量子力学英雄谱之-Schrödinger



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

$$H = p^2/2m + V(r)$$

$$\hat{p}_x \mapsto -i\hbar\partial_x$$

薛定谔把他的方程应用到氢原子上，得到了

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left\{\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right)\psi - \frac{e^2}{r}\psi\right\} = E\psi \quad E_{nlm} \propto -1/n^2$$

$$\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = \sqrt{\left(\frac{2}{na_0}\right)^3 \frac{(n-l-1)!}{2n(n+l)!}} e^{-\rho/2} L_{n-l-1}^{2l+1}(\rho) Y_l^m(\theta, \varphi)$$

这是什么东西？

$$\rho = 2r/na_0$$

量子力学英雄谱之-Born

1925年玻恩和约当协助建立了矩阵力学；1926年他给出了波函数的几率幅诠释。



(Max Born, 1882-1970)

归一化
$$\int_V \psi^* \psi dV = 1$$

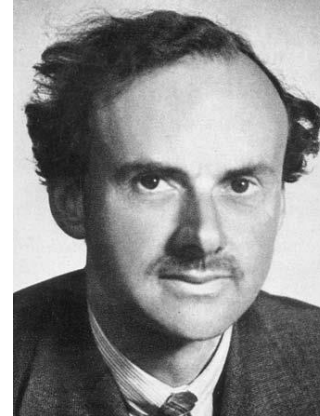
叠加性
$$\psi = \alpha_1 \psi_1 + \alpha_2 \psi_2$$

$$\psi^* \psi = (\psi, \psi)$$

$$\psi^* \psi d\tau$$

是体积元内 $d\tau$ 粒子被发现的几率

量子力学英雄谱之 - Dirac



$$(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \mathbf{x}\mathbf{p} - \mathbf{p}\mathbf{x} = i\hbar$$

一般情形
呢?

Poisson Bracket

$$[u, v] = \frac{\partial u}{\partial q} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial q} \quad (\text{P.A.M. Dirac, 1902-1984})$$

$$[u_1 u_2, v_1 v_2] \mapsto \frac{u_1 v_1 - v_1 u_1}{[u_1, v_1]} = \frac{u_2 v_2 - v_2 u_2}{[u_2, v_2]}$$

量子对
易子

$$uv - vu = k[u, v]$$

$$k = i\hbar$$

$$[q, p] = \frac{\partial q}{\partial q} \frac{\partial p}{\partial p} - \frac{\partial q}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial q} = 1$$

量子力学英雄谱之 - Dirac

Relativity: $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$

$$\hat{p}_x \mapsto -i\hbar \partial_x$$

$$H \mapsto i\hbar \partial_t$$

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)\psi = m^2 c^2 \psi$$

$$z^2 = x^2 + y^2 = (\alpha x + \beta y)^2$$

$$\alpha^2 = \beta^2 = 1$$

$$\alpha\beta + \beta\alpha = 0$$

⋮

$$i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu \psi - mc \psi = 0$$

它竟然告诉我们世界上有正电子
-反粒子，反物质

4 by 4
matrix

量子力学英雄谱之-Wigner

1922~1925年,维格纳在其博士论文中首次提到分子激发态有能量展宽 $\Delta\varepsilon$,它同平均寿命 Δt 通过关系式 $\Delta\varepsilon \cdot \Delta t \sim \hbar$,相联系. 而海森堡提出 $\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$ 是在1927年.

Wigner 还和Weyl 一起把群论引入了量子力学。
有了群论的量子力学才能理解光谱的各种特征



(Eugene Wigner, 1902 – 1995)

量子力学英雄谱之-Wigner

1922~1925年,维格纳在其博士论文中首次提到分子激发态有能量展宽 $\Delta\varepsilon$,它同平均寿命 Δt 通过关系式 $\Delta\varepsilon \cdot \Delta t \sim \hbar$,相联系. 而海森堡提出 $\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$ 是在1927年.

Wigner 还和Weyl 一起把群论引入了量子力学。

有了群论的量子力学才能理解光谱的各种特征：**简并度**



(Eugene Wigner, 1902 – 1995)

量子力学英雄谱之-Weyl

Weyl和Wigner一起把群论引入了量子力学。

有了群论的量子力学才能理解光谱的各种特征。

Weyl帮助薛定谔解的氢原子问题。

对量子力学和相对论都有贡献的有两个人：**Weyl & Einstein**

Weyl Fermion, Weyl Semimetal



(Hermann Weyl, 1885-1955)

量子力学英雄谱之-Pauli



1924年泡利推断电子还存在一个二值的自由度，并提出了‘不相容原理’。泡利矩阵是描写自旋角动量的数学工具。1930年，泡利预言了中微子的存在。

(Wolfgang Pauli, 1900-1958)

$$E_{nlm} \rightarrow E_{nlm;s}$$

2D complex Hilbert space of matrix, 4个独立变量，需要四个基—**Pauli Matrices**。

$$\sigma_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

量子力学英雄谱之-Bose

1924年玻色在假设光量子的能级有子能级(sublevel)的前提下得出了黑体辐射公式。



(Satyendra Nath Bose, 1894 –1974)

爱因斯坦接着玻色的工作发展起了玻色-爱因斯坦统计。自旋为整数的粒子都满足玻色-爱因斯坦统计，被称为玻色子。

Suppose we have a number of energy levels, labeled by index i , each level having energy ϵ_i and containing a total of particles n_i . Suppose each level **contains g_i distinct sublevels**, all of which have the same energy, and which are indistinguishable. Then for these n_i photons in g_i cells,

$$W = \frac{(n_i + g_i - 1)!}{n_i!(g_i - 1)!} \quad g \geq 2$$

Lagrange Multipliers

$$f(n_i) = \ln W(n_i, g_i) + \alpha(N - \sum_i n_i) + \beta(E - \sum_i n_i \epsilon_i)$$

$$n_i = \frac{g_i}{\exp(\alpha + \beta \epsilon_i) - 1}$$

$$g = 2$$

QM: $l=1$
SR: $m=0$

量子力学英雄谱之 -von Neumann



$$\int_V \psi^* \psi dV = 1$$

$$\psi = \alpha_1 \psi_1 + \alpha_2 \psi_2$$

(John von Neumann, 1903-1957)

von Neumann: 你们知道这些是什么意思吗?

1926年，冯·诺依曼指出，算符的本征态张成一个矢量空间并名之为**希尔伯特空间**，量子态可以看成希尔伯特空间中的一个矢量；1932年撰写《量子力学的数学基础》。

量子力学英雄谱之-Sommerfeld

Werner Heisenberg

Wolfgang Pauli

Peter Debye

Paul Sophus Epstein

Hans Bethe

Ernst Guillemin

Karl Becher

Paul Peter Ewald

Herbert Fröhlich

Erwin Fues

Helmut Hönl

Ludwig Hopf

Walther Kossel

Adolf Kratzer

Alfred Landé

Otto Laporte

Wilhelm Lenz

Rudolf Peierls

Walter Rogowski

Rudolf Seeliger

Heinrich Welker

Gregor Wentzel

MacTutor of Maestros

大师的大-师



Arnold Sommerfeld, (1868 – 1951)

Herbert Kroemer

Linus Pauling

Walter Heitler

Werner Romberg

据说被提名81次，终于也没获得诺贝尔奖

量子力学英雄谱之-Sommerfeld

$$E_{nlm} \rightarrow E_{nlm;s}$$

Azimuthal quantum number & Spin quantum number

玻尔模型把电子限制在一个平面内，简化得太狠了些，电子是在整个三维空间内绕原子核运动的。三维空间内绕一点的运动可由距离 r 和两个角坐标，倾角 θ 和方位角 ϕ ，来描述。倾角 θ 和方位角 ϕ 分别引入第二和第三量子数。1916年索末菲引入三维的量子化模型

$$E = \frac{p_r^2}{2m_e} + \frac{\ell^2}{2m_e r^2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

$$\oint p dx = kh$$

$$E \propto -\frac{1}{(\ell + k)^2}$$

Summary

- 量子理论是在经典理论上的建树，是一场头脑风暴的结果；
- 年轻人富有革命性，中老年人更见功底和系统性；
- **Be a genius, rush to the stormy front of science to explore your talent.**



Terence Tao (陶哲轩) and Paul Erdos in 1985

你信不信有天才？

不管你信不信，我反正是信了。

-caozexian 20160103



George Gamow



John von Neumann

早熟：冷静，深思

感谢大家的捧场！



创立量子力学—天才们的游戏

Establishing QM: the play of geniuses

1900~1928年间是物理学史上最激动人心的时代，一群天才，主要是年轻人，在不到三十年的时间里构造了崭新的量子力学体系，从而改变了物理学的面貌，也彻底地改变了人类社会的面貌。本报告系统地回顾量子力学被创建的过程，讲述那些天才们的非凡一念以及那些闪光思想得以产生的逻辑背景和相互间的内在关联，努力凭借历史叙事现场构建量子力学的理论框架。量子力学从来都不是什么革命，它只是经典物理学自然的、逻辑的延续。