

原子物理学： 歴史的な背景

19 世紀後半、原子の存在が化学分野でほぼ認められた
(Mendelejew の周期表、1871 年)

が、物理学分野で存在を強く信じる人達:

L. Boltzmann, J.C. Maxwell (1860 年頃)

存在を強く否定する人達:

E. Mach (1906 年まで), M. Planck (1900 年まで)



L. Boltzmann
1844-1906



(ゼミナーでの対話)

Mach (後ろの列から): 「原子って見たことがあるの??」

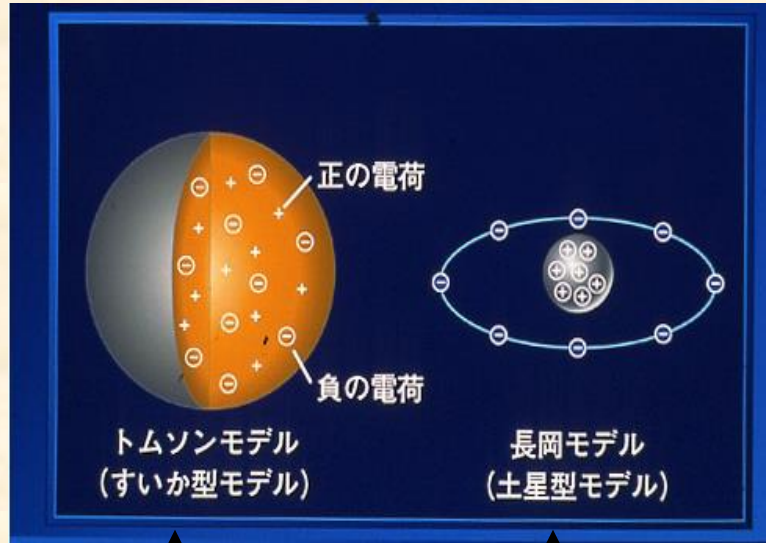
講師: ありませんが。。

Mach: 「ほらっ!!」

1903年、2つの原子模型が提唱された:



J.J. Thomson
(Cambridge)
1897年: 電子の発見



長岡 半太郎(東大)
原子核の存在を始めて
推定!

数千個の電子が正の媒質
(質量ゼロ)の中を運動する。

重い正の電荷を中心に、
電子が同一円の軌道に回る。

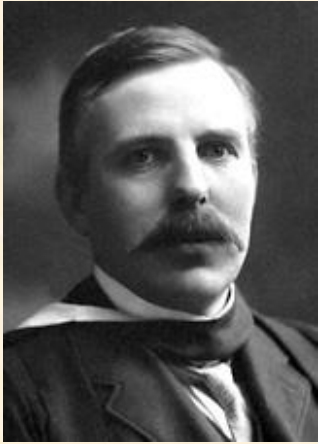
IV. Kinetics of a System of Particles illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity. By H. NAGAOKA, Professor of Physics, Imperial University, Tōkyō.*

長岡の論文
Phil. Mag. 7 (1904年)

The system, which I am going to discuss, consists of a large number of particles of equal mass arranged in a circle at equal angular intervals and repelling each other with forces inversely proportional to the square of distance; at the centre of the circle, place a particle of large mass attracting the other particles according to the same law of force. If these

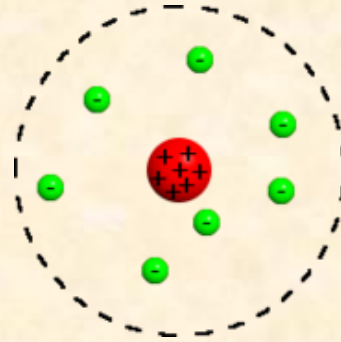
円の中心に、他の粒子を
同一の引力で引っ張る
重い粒子を置いておこう。

原子構造について初期の研究者:



E. Rutherford:

アルファ粒子散乱実験で、
原子核の発見 (1912 年).
原子核と原子の
大きさを定量的に求めた。



Rutherford の原子模型。
始めに、原子核は「重電子」と
呼んだ。電子の軌道は明記
しないが、原子核から比較的
遠いところで回る。

J.J. Balmer が、水素原子が放出する光
について次の公式を提唱した:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (n=2, m=3,4,5,6)$$

Balmer が、定数 R を 0.1% の正確さで求めた。



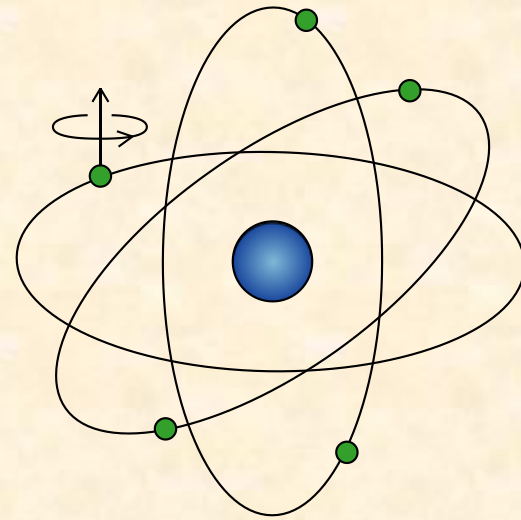
J.J. Balmer (1825-1898)

スイスの女子高校で数学
を担当。

定年後、初めての論文を
発表。合計3通の論文。

原子の父：

Niels Bohr (1885 – 1962)



Niels Bohr

1903 年: Copenhagen 大学入学。
父(生理学者)の実験室で実験した。

博士論文 (1911 年): 金属の電子論。



1904 年頃の N. Bohr。
お母さん(左)が Niels の
博士論文、初期の論文、
手紙などを手書きで
書いた。

イギリスへ留学: Cambridge 大学 (1911) で J.J. Thomson と研究、
Manchester 大学 (1912) で E. Rutherford と研究した。

Thomson, Rutherford 達に依頼された実験がうまく行かず、Bohr が自宅で一人で
理論を勉強した。

1913 年に Copenhagen へ戻り、大学の
助手として研究した。その頃、同僚から
Balmer の公式について話を聞いて、
原子の構造についてひらめいた。

論文が 1913 年 3 月完成、7 月掲載。

LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[SIXTH SERIES.]

JULY 1913.

I. *On the Constitution of Atoms and Molecules.*
By N. BOHR, Dr. phil. Copenhagen*.

Introduction.

IN order to explain the results of experiments on scattering
of α rays by matter Prof. Rutherford† has given a
theory of the structure of atoms. According to this theory,
the atoms consist of a positively charged nucleus surrounded
by a system of electrons kept together by attractive forces

The Structure of the Nuclear Atom with Quanta

1913

On the Constitution of Atoms and Molecules

N. Bohr,
Dr. phil. Copenhagen
(Received July 1913)

Introduction

In order to explain the results of experiments on scattering of α rays, matter Prof. Rutherford¹ has given a theory of the structure of atoms. According to this theory, the atom consists of a positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces. The total negative charge of the electrons is equal to the positive charge of the nucleus. Further, the nucleus is assumed to be the essential part of the mass of the atom.

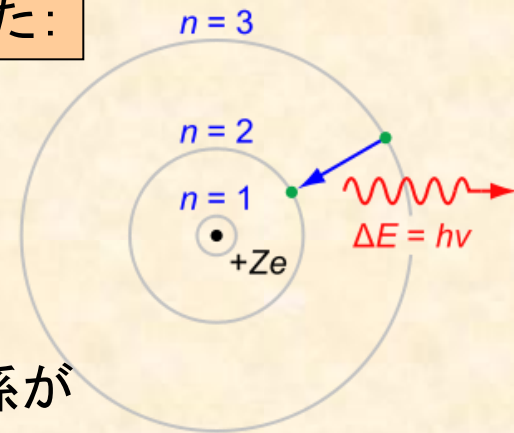


次の4つの仮定が Bohr の原子模型の基礎となった:

- 1) 電子の定常軌道が存在する。
(電磁波を放出しないで回る。)
- 2) 軌道上で、クーロン力と遠心力が釣り合っている。
- 3) 軌道上の全エネルギー (E) と公転周期 $T = \frac{1}{\nu}$ との関係が

$$E_n = -\frac{n^2}{2} h\nu$$

$n=1,2,3,\dots$ ν = 力学的な回転数!



となる。 h が Planck の定数。この仮定は
Planck の放射理論 (1900 年) との類推である。

- 4) 電子が別の軌道 (エネルギーの差 ΔE) へ飛ぶときに、振動数

$$\nu = \Delta E / h$$

の光が放出される。

コメント: 当時、原子核が陽子と電子から成ると思われた!

量子力学の発見

だれ？



W. Heisenberg
1925年6月



E. Schrödinger
1925年12月

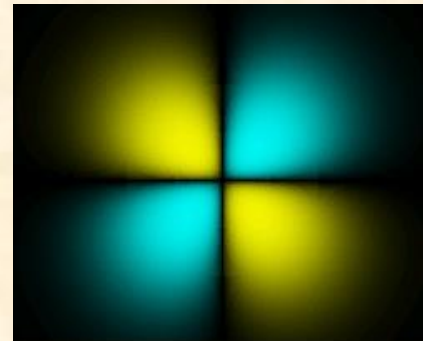
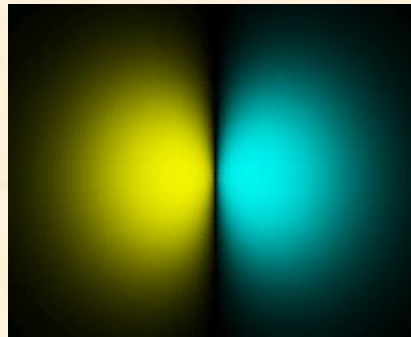
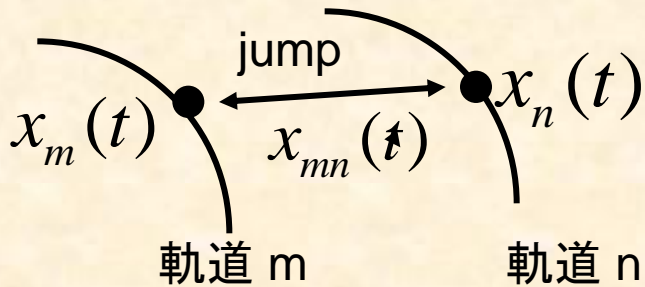
どこ？



Helgoland
ドイツ北海の島



Arosa
スイス湯治場



電子は「粒子」である。
ときどき「量子飛び」が起こる

解釈に対立
↔

電子は「波」である。
ときどき振動モードが変わる

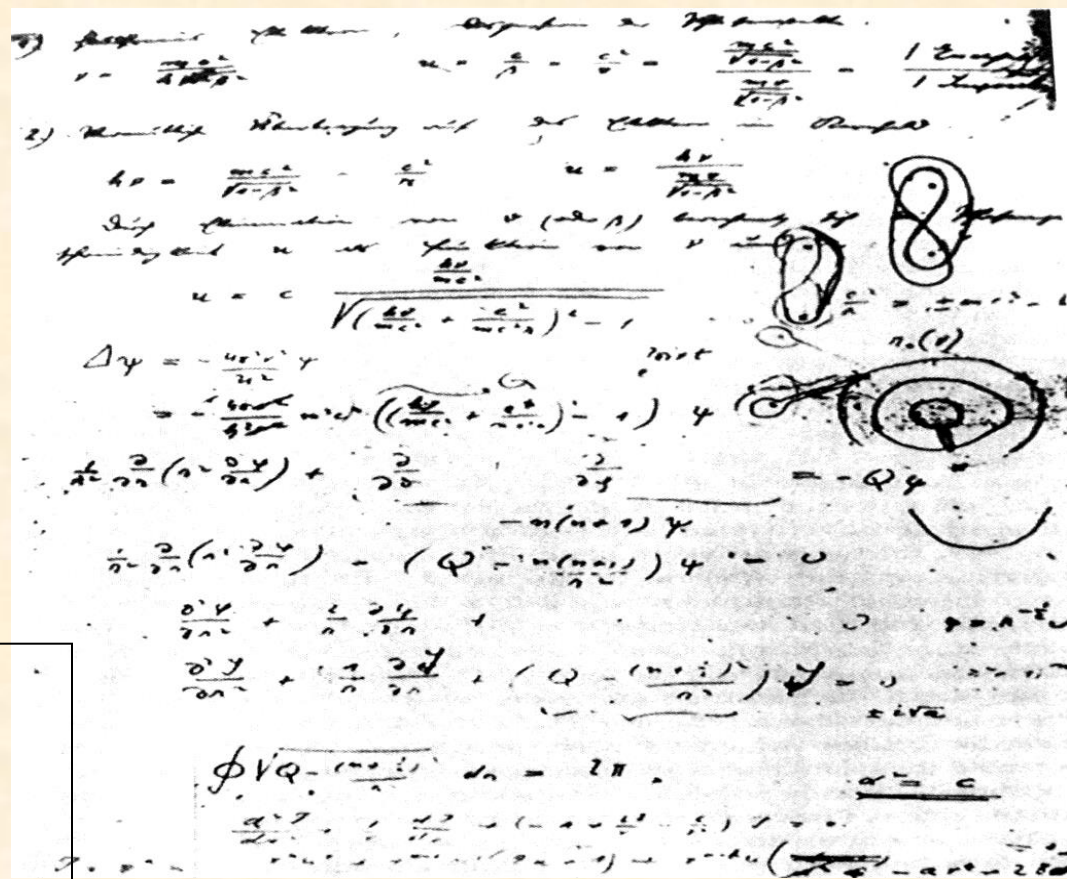
Bohr の意見: 両方が正しい! (Complimentarity, particle-wave duality)

1925年11月: Schrödinger が de Broglie のアイディア「物質波」についてゼミナールして、同僚の Debye のコメント:「この理論がなんらかに役に立つため、粒子が満たす波動方程式が必要だ。でも、そんなことは有り得ないね...」

1925年の冬休に、Arosa にて、波動方程式を発見した。



Arosa 湯治場(スイス) 当時の写真



Arosa の計算ノート

この冬休みの研究結果:
水素原子の Schrödinger 方程式

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \Psi = 0$$

Working out Quantum Mechanics



ANNALEN DER PHYSIK. VIERTE FOLGE. BAND 79.

Quantisierung als Eigenwertproblem;
von E. Schrödinger.
(Zweite Mitteilung.)¹⁾

Hamiltonsche Analogie zwischen Mechanik und
Elektronen, das Eigenwertproblem der
partielle Systeme zu behandeln,
Zusammenhang näher beleuchten
partiellen Differentialgleichungen

Über quantentheoretische Umdeutung
kinematischer und mechanischer Beziehungen.
Von W. Heisenberg in Göttingen.
(Eingegangen am 29. Juli 1925.)



... soll versucht werden, Grundlagen zu
... Mechanik, die ausschließlich
... beobachtet

DIE WISSENSCHAFTLICHE
Sammlung von Einzeldarstellungen aus den
Naturwissenschaft und der Techn.
Herausgegeben von Prof. Dr. WILHELM WILHELM
BAND 85

Gruppentheorie und ihre
Anwendung auf die Quanten-
mechanik der Atomspektren
Von
Eugen Wigner

