

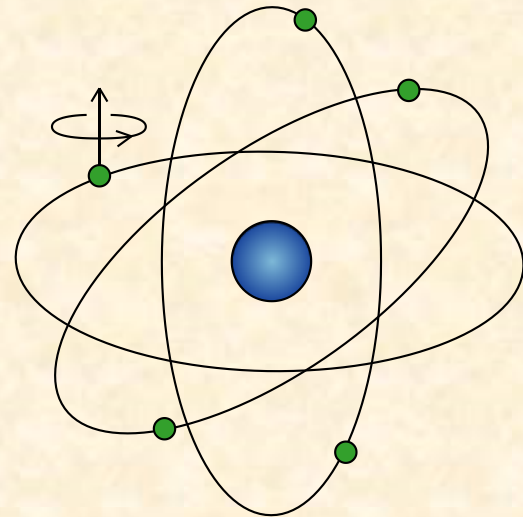


ベッツ ヴォルフガング
東海大学・理学部・物理学科

Niels Bohr (1885 – 1962)



原子の父



1900 年頃までの物理について:

1) 「光」って何ですか？



I. Newton (1670 年)

~~「光は粒子であり、
その大きさが
色に依存する。」~~



C. Huygens (1690 年)

「光は波であり、
その波長が
色に依存する。」



A. Einstein (1905 年)

「光は粒子であり、
そのエネルギーが
色に依存する。」

2) 「原子」って何ですか？

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??」

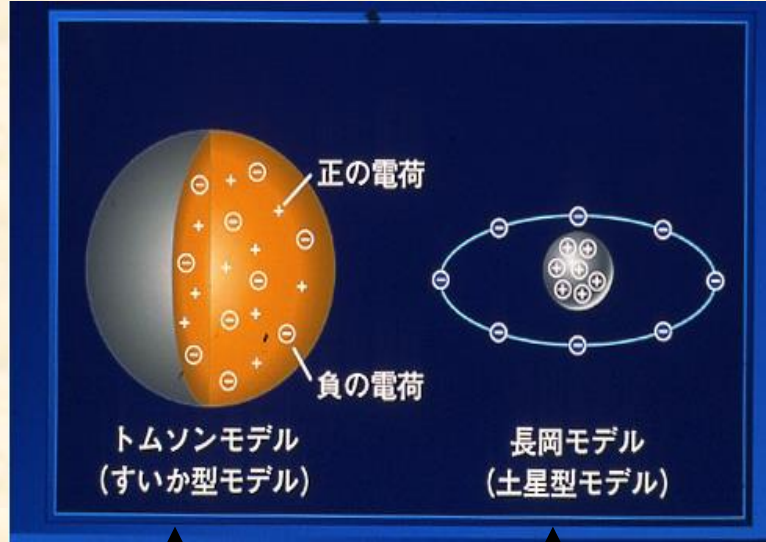
講師: ありませんが。。

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。

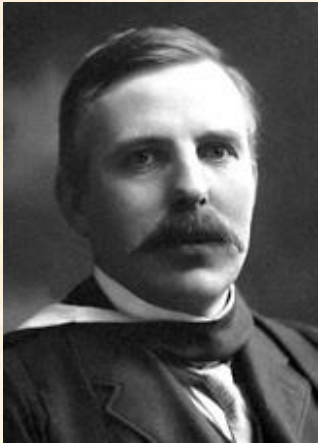
重い正の電荷を中心に、
電子が同一円の軌道に回る。

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)

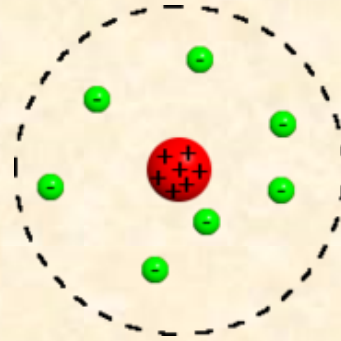
The system, which I am going to discuss, consists of a large number of particles of equal mass arranged in a circle at equal angular intervals and repelling each other with forces inversely proportional to the square of distance; at the centre of the circle, place a particle of large mass attracting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



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。

さて、これを背景として、Niels Bohr について考えましょう！

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 by 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.

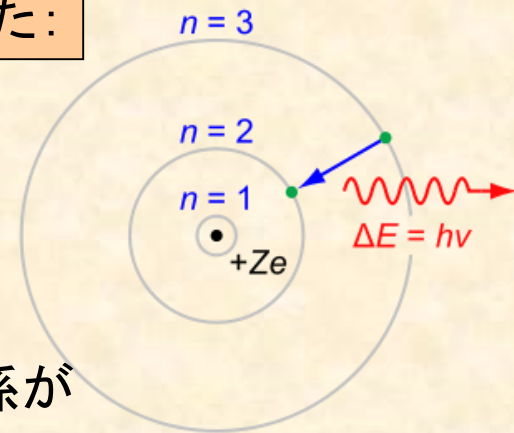


次の4つの仮定が Bohr の原子模型の基礎となった:

- 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!

戦争中に Bohr が講師としてイギリスの Manchester へ戻る (1914 年 – 1916 年)。ただし、E. Rutherford はそのときに海軍のために忙しく、共同研究ができなかった。

1916 年、Copenhagen 大学の教授。

1917 年、理論物理学研究所を設立。

落成式は 1921 年。

最初の助手：H. Kramers (オランダ)。



1920 年の N. Bohr
「研究所の教皇」*



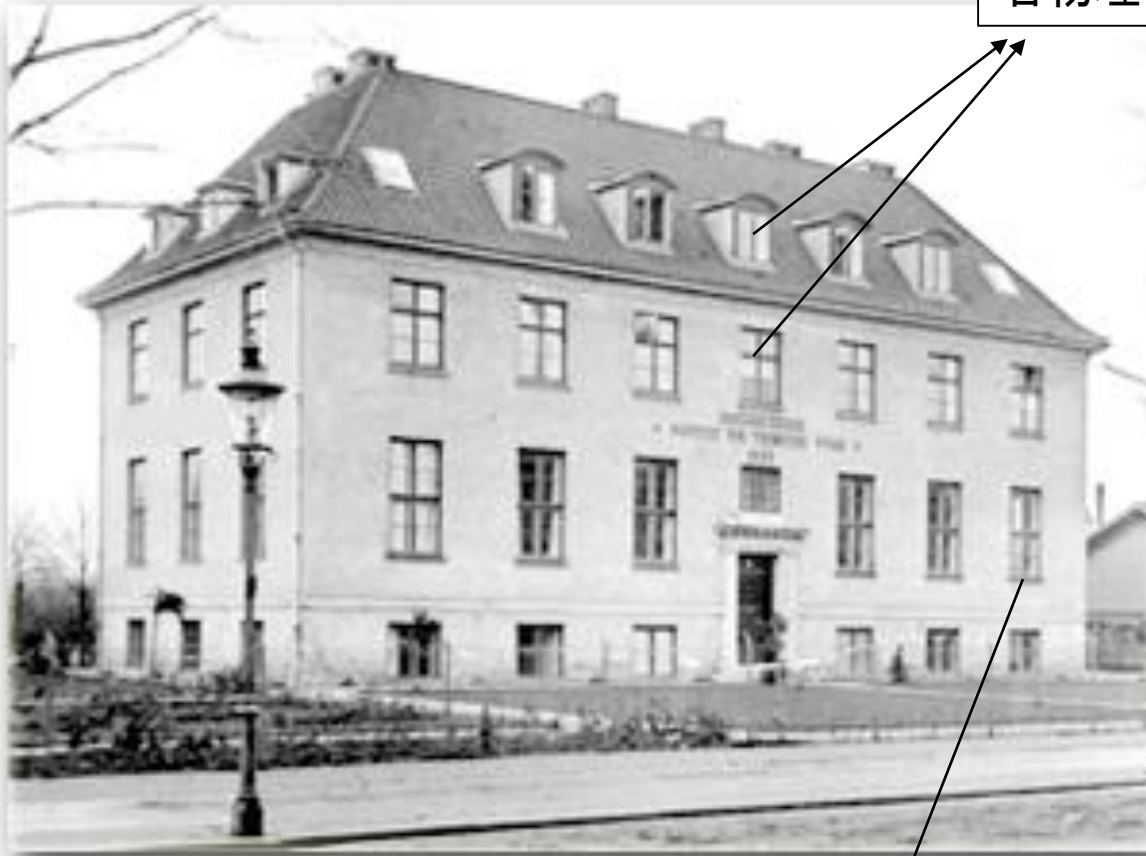
H. Kramers
「研究所の枢機卿」*

(* W. Heisenberg の解釈)

この研究所が 1965 年までに理論物理の中心的な役割を果たした。
1965 年「Niels Bohr Institute」(NBI) へ名変更、現在も重要な研究センター。

研究所の地下室で実験も行われた。
1940 年代から加速器実験 (サイクロトロン、Van de Graaf)。

1920 年頃の Bohr の研究所:



Bohr 家族および客員研究者の住まい。
名物理学者は皆ここに住んだこともある。



W. Heisenberg
ここで不確定性原理
を発見



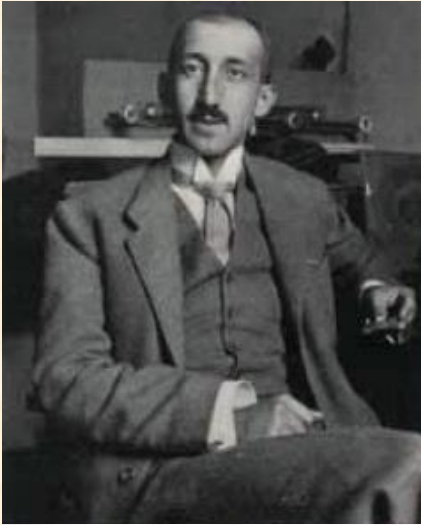
E. Schrödinger
ここで論争のために
熱を出し寝たつきり



L. Meitner
ここでナチス迫害
から臨時亡命

理論研究所はこの1階だけ。
所長 Bohr (「教皇」)、助手 Kramers (「枢機卿」)
のみ個別の研究室があった。客員研究員は
共同で大きな「研究ホール」(図書室)を利用。

地下室で実験が行われた。例えば、



G. Hevesy

ここで **Hafnium** (Hf, 原子番号 72) を発見。Hafniae=Copenhagen (ボアの案は Danium=Denmark でしたが。。。)

ここで医学物理の **tracer 方法** を発展させた。

1943 年ノーベル賞。



O. Frisch

L. Meitner の甥。

ここで保管されていたドイツのノーベル受賞者 Laue, Franck の金メダルを溶かし、金と中性子散乱実験を行った。

1939 年: Frisch-Peierls による原子爆弾の案文。

1942 年: Manhattan Project.

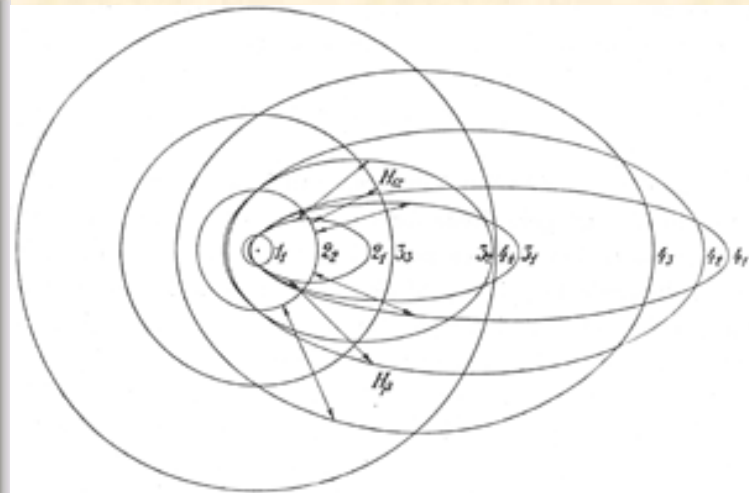
1920 年: Bohr が原子の殻模型を展開し、周期表を説明。

1922 年: Bohr がノーベル賞を受賞 (1921 年の賞): 「原子の構造および原子からの放射についての研究のため」

1922 年のノーベル賞は A. Einstein へ (光電効果の説明のため)。
(ただし、Einstein は日本滞在中のため、受賞式に欠席。)



N. Bohr のノーベル受賞書



N. Bohr のノーベル・スピーチ用の原子模型のスケッチ。

N. Bohr の理論は現在「古い量子論」と呼ばれている。
本当の「量子力学」が 1925 年に誕生した。

量子力学の発見

だれ？



W. Heisenberg
1925年6月



E. Schrödinger
1925年12月

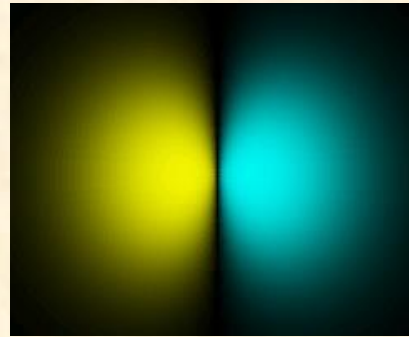
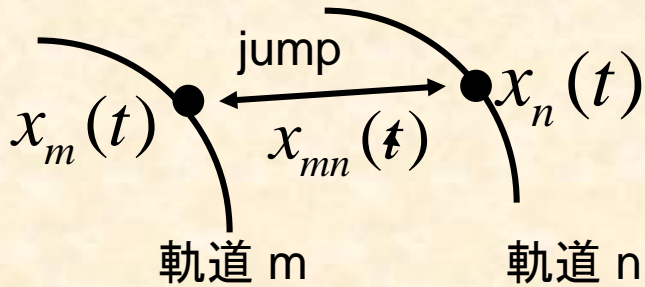
どこ？



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)

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



量子論について、Bohr と Einstein の対話： 1920 年に初顔合わせ（ベルリンにて）。

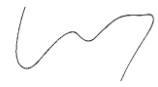



A. Einstein:
「量子論は
まだ最終の理論ではない。
神様がサイコロを
振らないので。」

N. B.

A. E.

スポーツ
パイプ
yes
1人で
「Bohr スクール」を設立
terrible

 
(harmony) (uniformity)

奥さんと幸せに

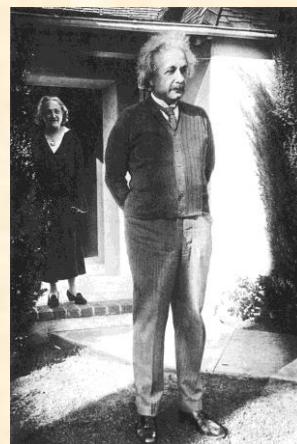


趣味 ?
タバコ?
運転 ?
重要な研究 ?
教育 ?
手書き ?

結婚生活 ?

音楽
パイプ
no
1人で
「Einstein スクール」がない
clear

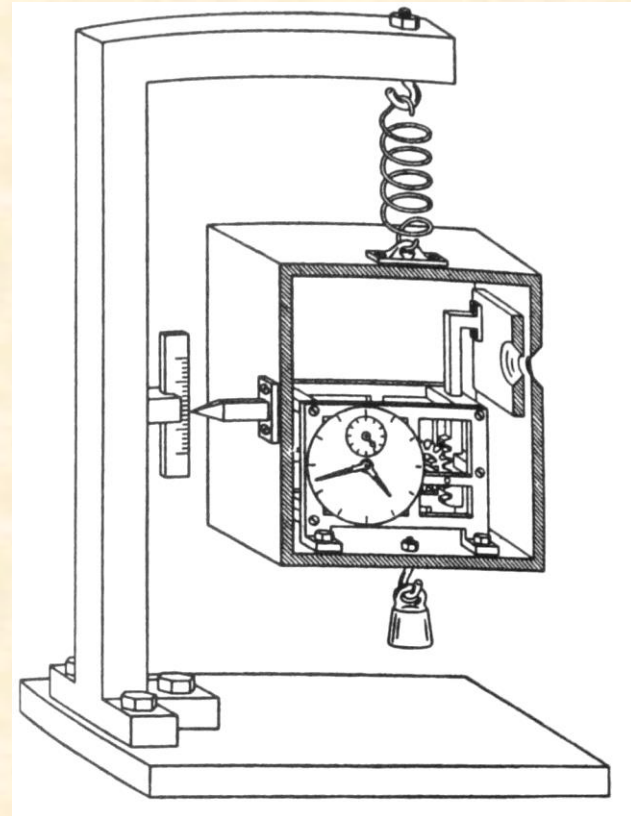
Das Gesetz von der Äquivalenz von Masse und Energie ($E = mc^2$)



2人の奥さんと不幸に



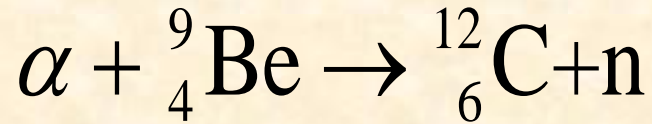
1930年、Einstein が量子論の反証を提案した。



N. Bohr の指示で書かれたもの：これで Einstein の反証が正しくないことを示した。

1930 年後の Bohr の主な研究分野は原子核物理学でした。

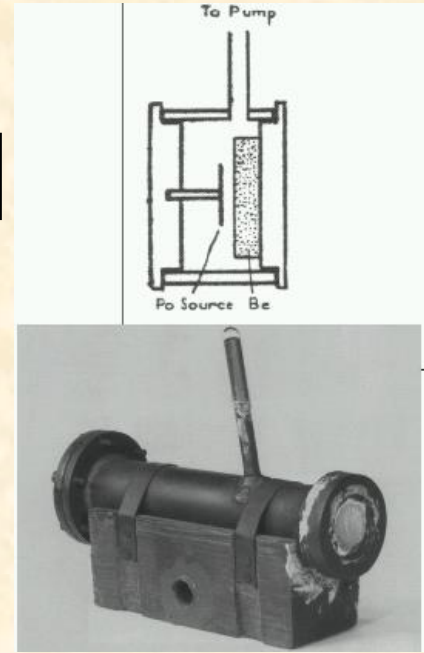
1932 年、Chadwick (Rutherford の弟子) が中性子を発見した:



その中性子が陽子と電子から成ると思われた:

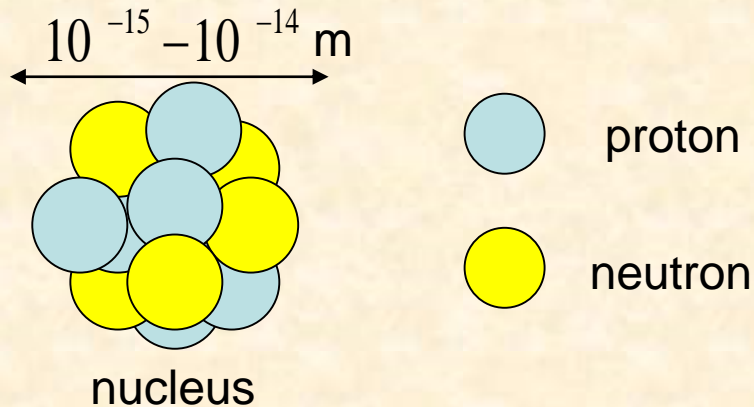
[...] It is concluded that the radiation consists, not of quanta as hitherto supposed, but of neutrons, particles of mass 1, and charge 0. Evidence is given to show that the mass of the neutron is probably between 1.005 and 1.008. This, suggests that the neutron consists of a proton and an electron in close combination, the binding energy being about 1 to 2 x 10⁶ electron volts. [...]

Chadwick, Mai 1932 [roysoc]



Chadwick の実験装置

その後、Heisenberg が「原子核が陽子と中性子から成る」考え方を提唱した。



Bohr が 1930 年代から、原子核についての模型(液滴模型、集団模型)などを創った。

The Neutron and the Positron



The Existence of a Neutron.

By J. CHADWICK, F.R.S.
(Received May 10, 1932.)

§1. It was shown by Bothe and Becker* that some light elements when bombarded by α -particles of polonium emit radiations which appear to be of the γ -ray type. The element beryllium gave a particularly marked effect of this kind, and later observations by Bothe, by Miss Curie Tolint† and by

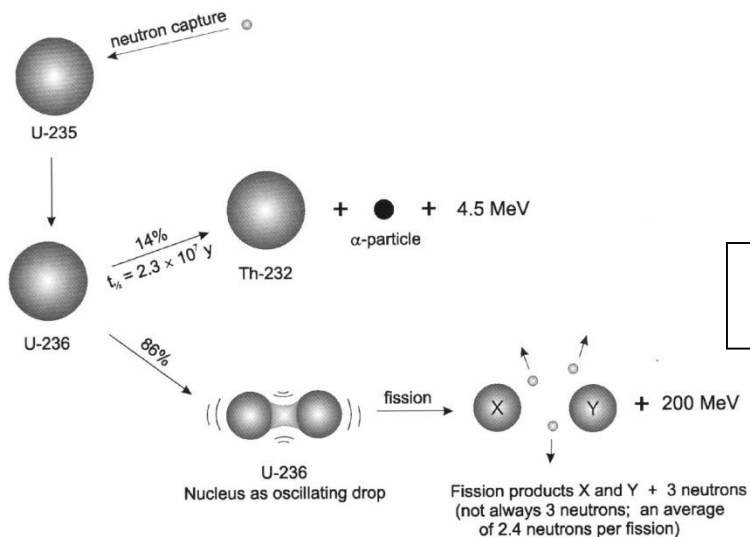
The Positive Electron

CARL D. ANDERSON, *California Institute of Technology, Pasadena, California*
(Received February 28, 1933)

Out of a group of 1300 photographs of cosmic-ray tracks in a vertical Wilson chamber 15 tracks were of positive particles which could not have a mass as great as that of the proton. From an examination of the energy-loss and ionization produced it is concluded that the charge is less than twice, and is probably exactly equal to, that of the proton. If these particles carry unit positive charge,

curvatures and ionizations produced require the mass to be less than twenty times the electron mass. These particles will be called positrons. Because of their association with other tracks they will be called positrons. Because of their association with other tracks they will be called positrons.

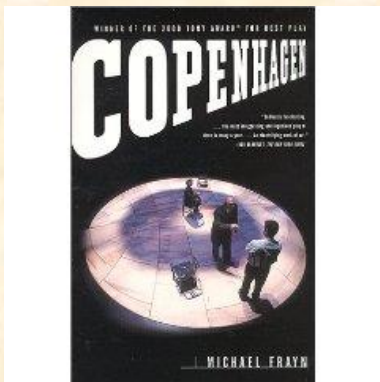
1938年、O. Hahn, L. Meitner 達が核分裂を発見した。その後、Bohr が ^{235}U 燃料としての重要な役割を提案した。



^{235}U の核分裂

第2次世界大戦中 Bohr の活躍:

- 1940年、ドイツ軍がデンマークを占領した。
1941年10月、Heisenberg が Bohr を訪問し、「ドイツは原子爆弾を作れない」というメッセージを Bohr に伝えようとしたが、不思議な雰囲気の中で色々誤解があった。



M. Frayn: Copenhagen
(1941年、Bohr と Heisenberg の会談についての劇)

- 1943 年に、半ユダヤ系の N. Bohr がナチスから亡命、船でスウェーデンへ渡った。その後 **Manhattan 計画** に協力、イギリスとアメリカとの間の情報交換に勤めた。(Bohr の偽名 : Nicolas Baker.)
- 1944 年、Bohr がイギリスの Churchill, アメリカの Roosevelt 達と会談し、ソ連と軍備競争ならないよう強く警告した。
しかしその結果、Bohr が「共産主義者」と見なされ、監視された。
- 戦争後、CERN (ヨーロッパ原子核研究施設) を指導した。
- 1962 年 11 月: 食事の後で昼寝中に死亡。



1957 年、Bohr と Queen Elisabeth



1962 年、Bohr, Heisenberg, Dirac



1962 年、Bohr と L. Amstrong

人とのコミュニケーションを求めたBohrの姿・・・

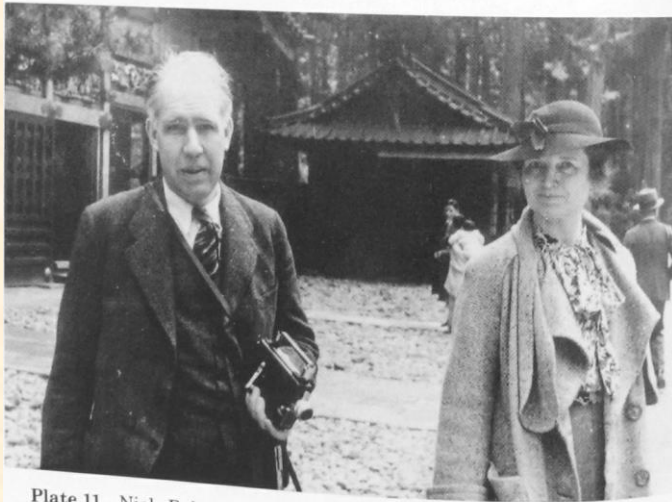
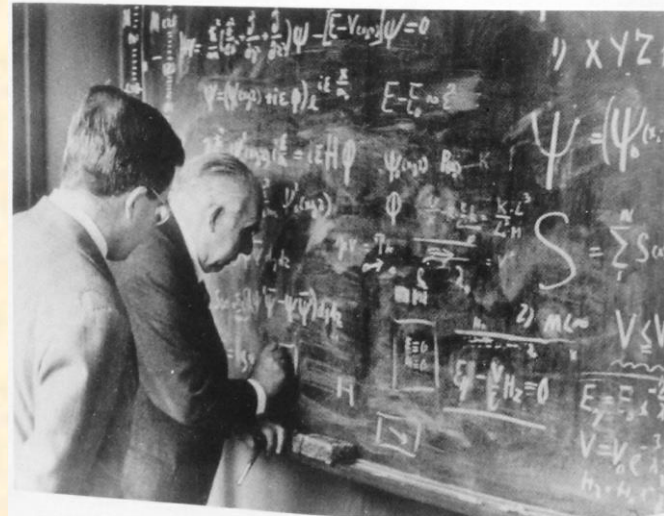


Plate 11 Niels Bohr (left) and a woman (right) in Japan (Bohr Archive.)

1937年日本訪問



息子のA. Bohrに教える



Plate 18 孫たちと遊ぶ (grandchildren.)

孫たちと遊ぶ



Plate 20 1957年グリーンランドにて (ve.)

1957年グリーンランドにて

彼にならって、原子の世界を楽しみましょう！