



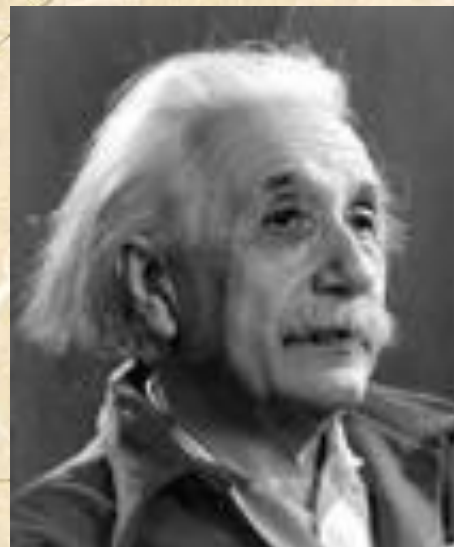
ベッツ ヴォルフガング
東海大学・理学部・物理学科

Albert Einstein (1879-1955)

思考力で世界像を変えた研究者



A. Einstein



1900 年頃の物理学の課題について:

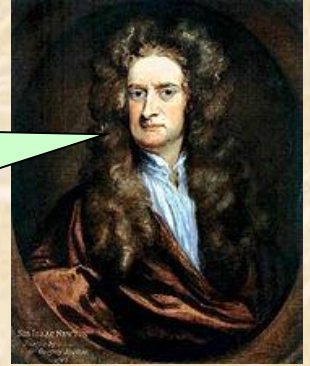
1) 「光」って何ですか？



「光は波であり、
その波長が
色に依存する。」

C. Huygens (1690 年)

「光は粒子であり、
その大きさが
色に依存する。」



I. Newton (1670 年)

「光は粒子であり、
そのエネルギーが
色に依存する。」



A. Einstein (1905 年)

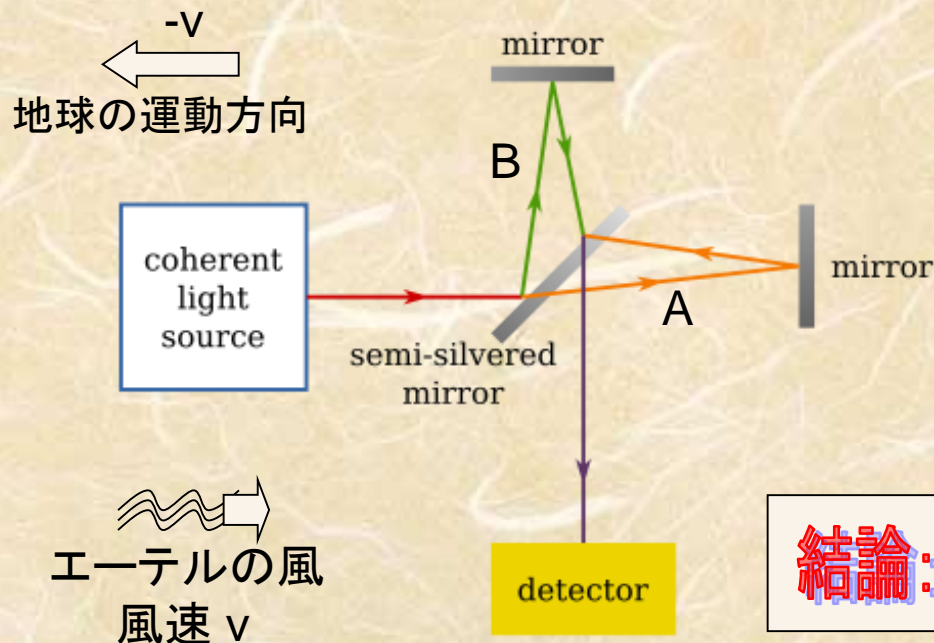
2) エーテルは存在するのか？：

Fresnel の説 (1819 年):

エーテルとは光を伝える媒質である。



A. Michelson (アメリカ) の実験: 1887 年 (アメリカ)



結論: 「地球上ではエーテルの風は無い」

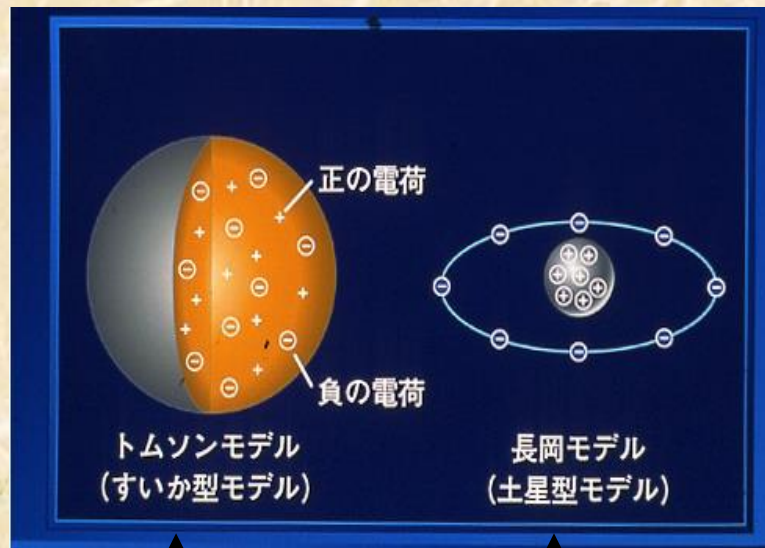
3) 「原子」って何ですか？

1900年ごろ、原子の存在がまだ完全に認められていなかった

1900年頃、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。

4) 量子論:

1900年 M. Planck が以下の発見をする。
そこから量子論が発展していく。

「熱放射が $h\nu$ エネルギーの量子の単位で行われる」



「私は失敗と失敗を重ねて色々な公式を作ったが、最終的に正しい公式しか残らなかった。」

それでは。。

Albert Einstein: 1879 年 Ulm (ドイツ) – 1955 年 Princeton (アメリカ)

1871 – 1918 年
のドイツ帝国



Ulm
1879 年生まれ

München: 1880 年 – 1894 年



Wilhelm I
皇帝 1871 年 – 1888 年



現在 Ulm 市内の雰囲気



父: Hermann Einstein
商人(電気製品を販売)



母: Pauline Einstein
主婦(音楽、手芸が得意)



Einstein の生家



6歳のとき

子供のときからスポーツ、ゲームなどは嫌い。

最高の経験： 磁気コンパスを始めて見た(5歳)。
バイオリンの練習(6歳から)。

最悪の経験： 行進する兵士達、独裁的な先生達。



15歳のとき学校を中退、17歳のときに
スイス (Aarau) にて再入学、卒業 (1896)。
ドイツ国籍を断念した。

← 1893年(14才)
ハイキングが大好き。

1896年 – 1900年： スイスの ETH で物理、数学を勉強。

Einstein の先生達：



Heinrich F. Weber
(1843 – 1912)

固体の比熱

「Einstein 君、君は賢い人だが、
言うことを聞かない！」



Hermann Minkowski
(1864 – 1909)

相対性理論の数学。

「Einstein は普通の
学生でした。
相対性理論が出たときは
びっくりした。」



Zürich の ETH (1905)



1900 年： **大学卒業**(教員免許)。
2年間はスイスの高校で**臨時教員**。

1901 年：スイス国籍取得

1902 年： **ベルン(スイス)の特許庁で**
「技術的専門家3級」になる。

1903 年 **Mileva Maric(セルビア人)と結婚**。



1902 年
特許庁にて



Mileva と2人の息子達

1902-1904年の間、統計物理学についての
3つの論文を書き上げたが、内容は「普通」でした。

「そのとき (1903/1904 年頃) に、光速の不変性について
悩み、1年以上の時間をつぶした。ある晴れた日に、
Besso さんの部屋へ行って話しを始めた。
次の日、私は彼に言った: 昨日はありがとう! 問題が解決
した!」



Michele Besso, 1900 年頃。Einstein の同輩、同僚。
Einstein が Besso と話していたとき、「物理系は皆自分の
時間をもっている」と思いついた。

高速の不変性は18世紀の天文観測などから
推定されていた。(Aberration, J. Bradley, 1725)

1905 年：奇跡の年 (Annus Mirabilis)

3 月：光電効果の説明
5 月：ブラウン運動の説明
6 月：相対性理論
9 月： $E = mc^2$

4 月：博士論文：アボガドロ数
および分子の半径について。
17 ページの短い大作品！

ところで、1905 年前後はどんな時代でしたか？



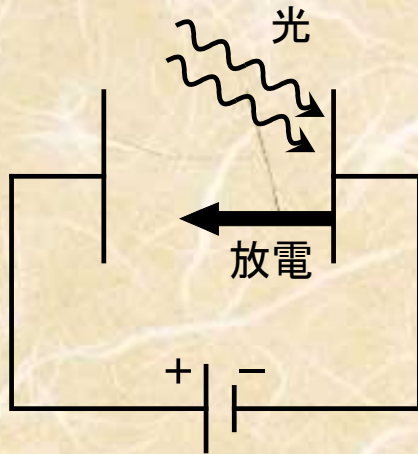
1905 年頃の
Mercedes Benz(レプリカ)



Wright 兄弟達
の初飛行 (1903)

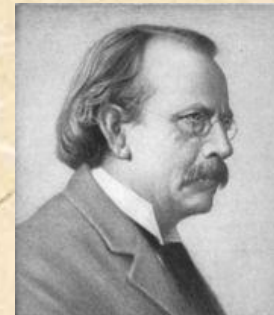
光電効果

1887年 H. Hertz の発見:
「光が放電(スパーク)を引き起こすことができる！」



Heinrich Hertz
(Karlsruhe)
1886年: 最初の
アンテナ

1899年 J.J. Thomsonの発見:
「そのスパークが電子です！」



J.J. Thomson
(Cambridge)
1897年: 電子の
発見

詳しい実験データ: P. Lenard

1905年 A. Einstein:
「光は粒子であり、そのエネルギーが $h\nu$ である！」

ブラウンの運動



Robert Brown:
スコットランドの植物学者。
1827年:花粉粒子が水滴中で
運動することを発見。
花粉粒子は生きているのか?



Brown の顕微鏡

A. Einstein の説:

「水分子が熱運動して、花粉粒子と衝突する！」

衝突回数がべらぼうに多い（一秒間に 10^{14} 回）ので、
衝突がランダムに起こると思ってよい。

特殊相対性理論

3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper;* *von A. Einstein.*

(1905 年の論文)

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt

参考文献がない！ Michelson の名前がない！

「Michelson の実験の結果は当たり前とだったので引用不要と判断した。」

「私の勤務時間以外は図書館が閉館していたので、文献を調べることができませんでした。」

「エーテルは不要である」

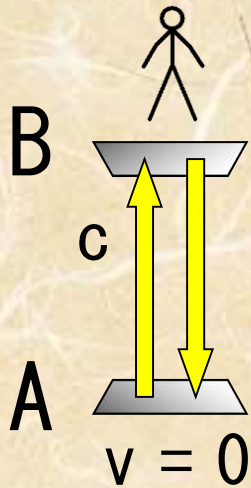
と一言だけでエーテルの存在を否定！

論文掲載の後、Einstein が原稿を捨てた。1943 年にもう一回手書きで書くように頼まれ、その原稿が 650 万ドルで競売された。。。

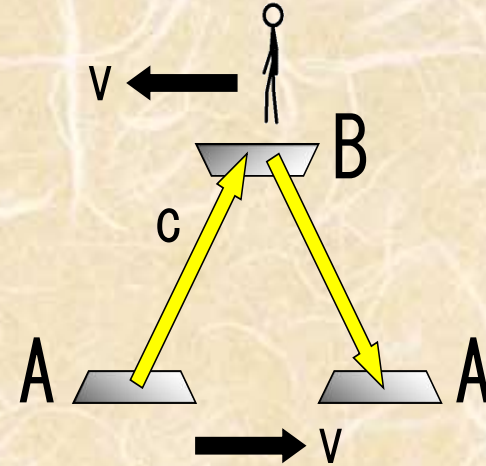
「光速の一定性」の原理を提唱し、不思議な結果を示した：

(1) 時間の遅れ：

鏡 A と B の間に走る光を見る。



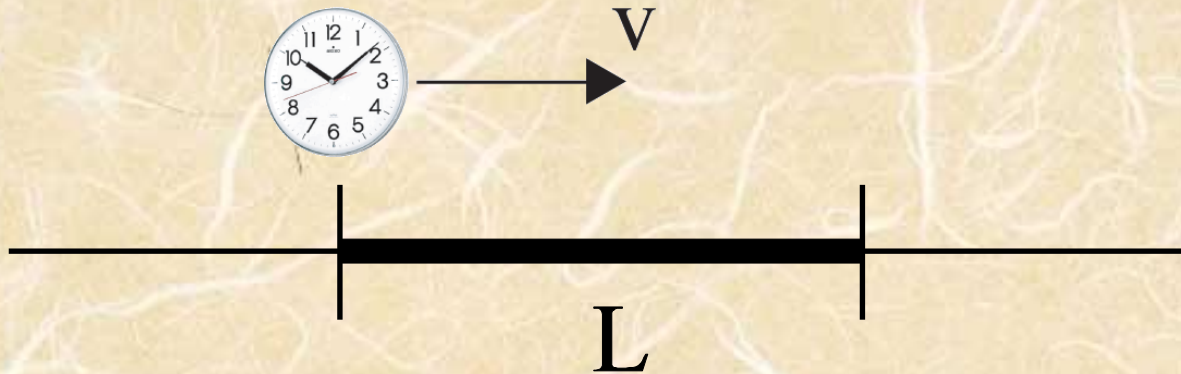
静止する人の立場から：
光が距離 AB 間に光速 c
で走る。



左方向へ走る人の立場から：
装置が右へ運動するように
見える。光がより長い距離
を光速 c で走るの、より
長い時間が必要。

「運動する時計が遅れている。」

(2)長さの収縮:



時計が棒(長さ L)を通過したとき、時計が示す時間は L/v より短い(時間の遅れのため)。
従って、時計の立場から棒が短くなったように見える。

「運動する棒が短くなっている！」

$$E = mc^2$$

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

(Einstein の手書き、1920 年頃)
「質量とエネルギーとの等価性の
法則について」

1905年9月の論文で、 $E = mc^2$ が見当たらないが、
言葉で次のように説明している：

Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energie-
inhalt; ändert sich die Energie um L , so ändert sich die Masse
in demselben Sinne um $L/9 \cdot 10^{20}$, wenn die Energie in Erg
und die Masse in Grammen gemessen wird.

物体の質量が物体のエネルギー
の尺度である。エネルギーがし
だけ変化する場合、質量が
 $L/(9 \times 10^{20})$ だけ変わる。

最初に $E = mc^2$ が公式として 1907 年の論文に現れた。

1907年頃に、重力について考え始めた。

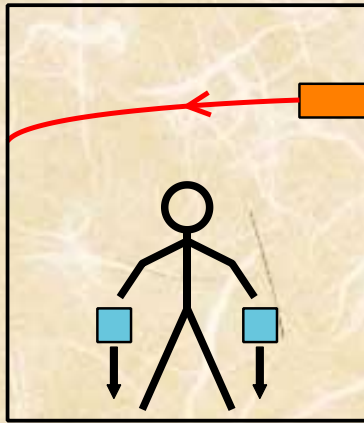
「ある日、ベルンの特許庁の部屋で椅子に座ったとき、私の人生の最も幸せなアイデアが思い浮かんできた：自由落下する人は自分の重量を感じていない！私はこれに驚いた。この簡単な考えが私に深い印象を与え、重力の理論へ導いてくれた。」

A. Einstein, 京都講演 (1922 年).

「アインシュタイン講演録」(石原純、東京図書、1977)

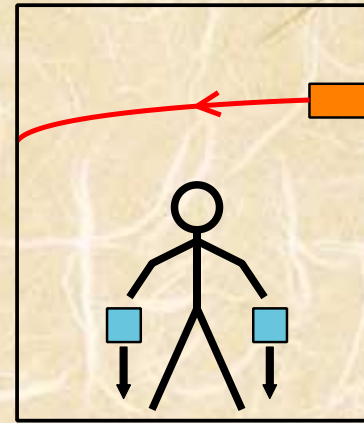
その頃は、J. Stark の雑誌のために相対性理論のまとめを作成中。

Einstein と一緒に、完全に閉じたエレベータ中の人について考えよう！
その人が手で持っていた荷物を放しているときの様子：

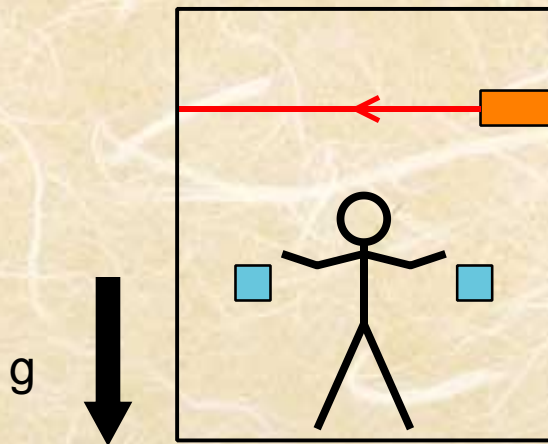


重力場がある(重力加速度は g)。
静止状態。

=

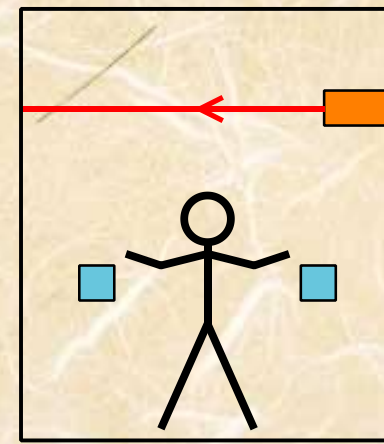


重力場がない。
上向きの加速 g で加速運動。



重力場がある。
重力加速度 g で落下運動。

=

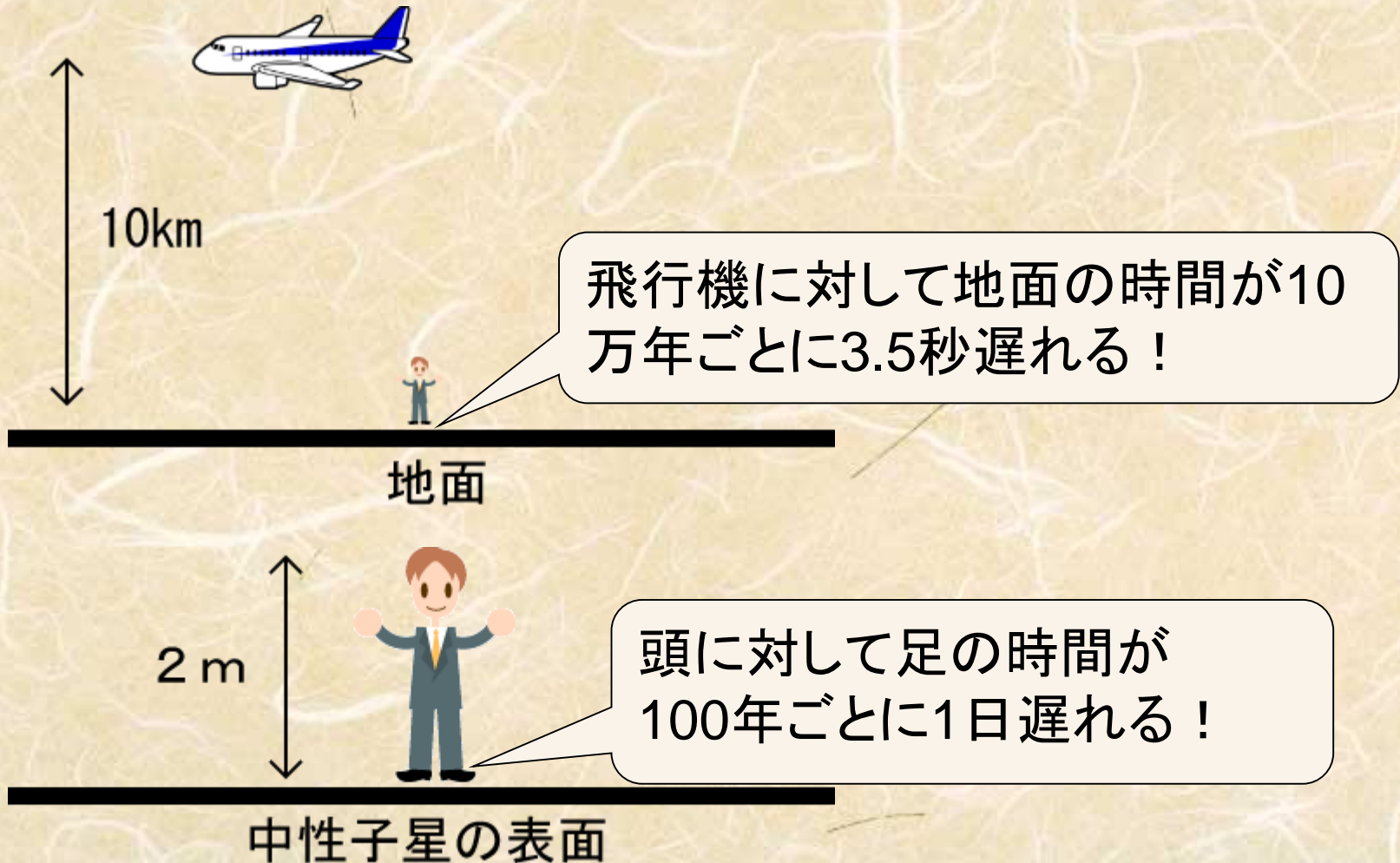


重力場がない。
静止状態。

Einstein がこの「等価原理」から色々不思議なことを示した

たとえば。。。

重力場が強い場所では時間が遅れる！



1908 年：スイスの Bern 大学で「私講師」(無給)になる。
講義の時間は朝7 – 8 時の間。
3人が4人の受講生のみ、友人の Besso もその1人。

1909 年：スイスの Zürich 大学の助教授になる。
Bern 特許庁の勤務から辞退。

Einstein の授業は受講生達が少なかったが、次のように語っていた：

「洋服の質が悪く、ズボンが短すぎた。」

「講義の途中でも後でもいつでも質問を受けて、親しく説明してくれた。」

「Einstein 先生の講義ノートは名刺の大きさだけで、自由に黒板で説明してくれた。」

1911 年： Praha 大学へ。その年、Rutherford の原子核発見。

**1914 – 1933 年：Berlin 大学と
「皇帝ウィルヘルム研究所」の教授。**
授業の義務なし！ 大学院生の指導もなし！
研究のみに従事。Einstein にとって天国。。。



Berlin での同僚：M. Planck, E. Schrödinger, O. Hahn, L. Meiter, G. Hertz など。

奥さん Mileva と息子達 (3人) も Berlin へ移動したが、直ぐ Zürich へ帰った。
駅での別れの後、「Einstein が涙を流して家へ帰った。」

「Berlin へ引っ張ったのは、やはり Elsa さんでした！」

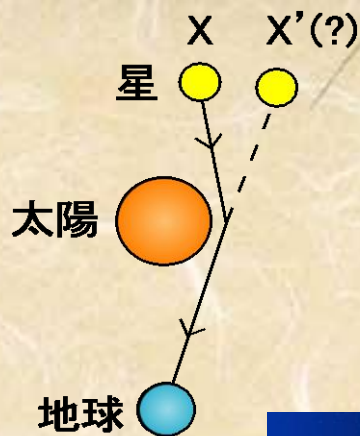
いとこの
Elsa Einstein



Einstein 家族
の自宅。

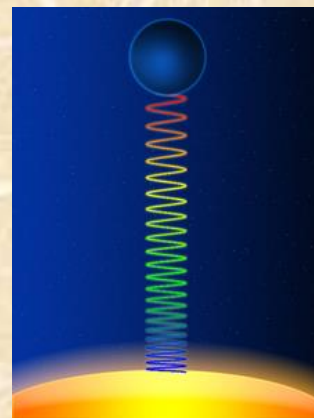
Berlin で本格的に「一般相対性理論」についての仕事をした。

(i) 光が重力を受け、太陽に屈折される！



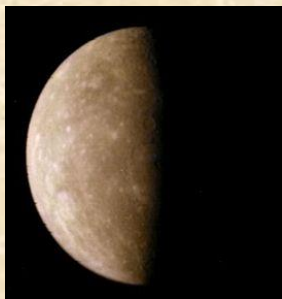
見えないはずの星 (X) が X' で見える！

(ii) 重い星から出る光が地球上で赤くなっているように見える！



光が「落下」する！

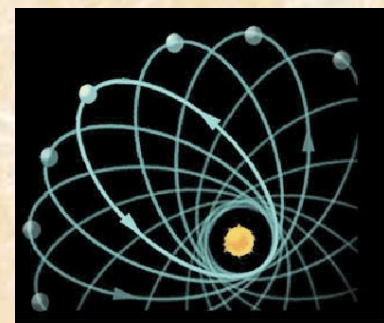
(iii) 水星の近日点の回転



水星：Mariner 10 の写真 (1974 年、705 km まで接近)



Le Verrier
海王星の予言。
水星の近日点回転の発見 (1859 年)



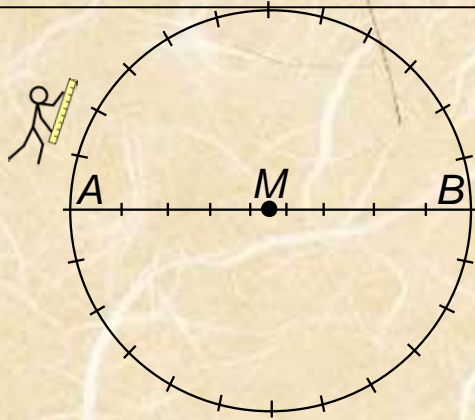
水星の近日点の回転(イメージ図)

観測：572"/century
Newton の理論：529"/century
Einstein の理論：572"/century

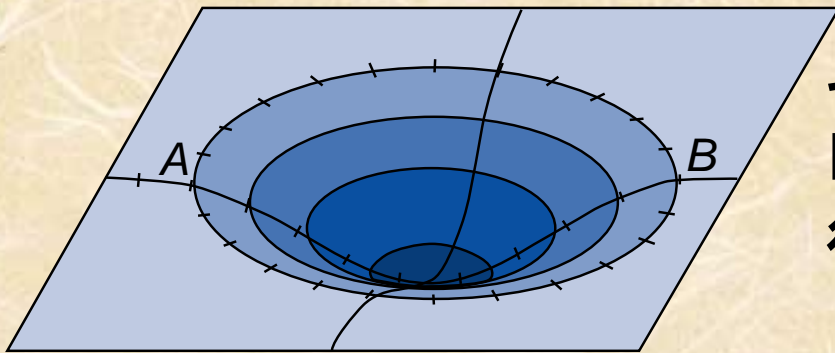
重力場が強い場所では長さが縮む

この効果は「空間の歪み」と言われている。

2次元の世界で考えよう。ある人が、大きな質量(天体 M)からの距離とその周りの円周の長さを図ろうとする:



天体 (M) に近いところで、その人の目盛りが短くなっている。



その人の解釈:

「円周の長さは $2\pi r$ よりも短い。
従って、私の世界が「歪んだ形」をする。

一般相対性理論では物質の周りに時間と空間の歪みが生じる。
その歪みが重力の効果と等価である。

1915年11月25日に、一般相対論(重力の理論)が完成。

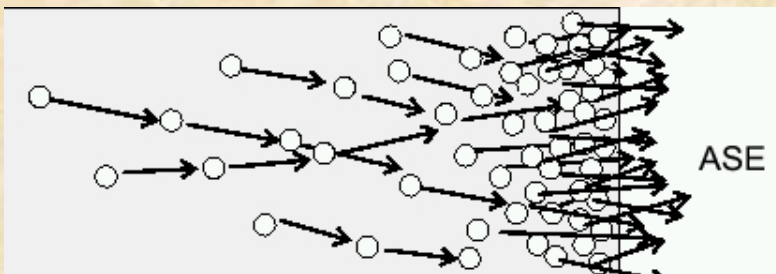
「この数ヶ月間は私の人生の最もエキサイティングで大変なときと同時に、最も成功したときでもあった。」

(A.Sommerfeld への手紙)

1916年、Einstein が全く違う分野についても革命的な仕事をした。

「放射の吸収と放出について素晴らしいひらめきがあまりました。」
(友人の Besso への手紙)

その「素晴らしいひらめき」が誘導放出の概念であったが、後でレーザーの原理となった。



ASE (Amplified Spontaneous Emission)

1914年：第一次世界大戦が始まる。

Einstein の平和主義の運動が始まる。



戦争の出動
Berlin, 1914年

「戦争の動機はナショナリズムと所有欲です！」

「兵役を拒否してください！」

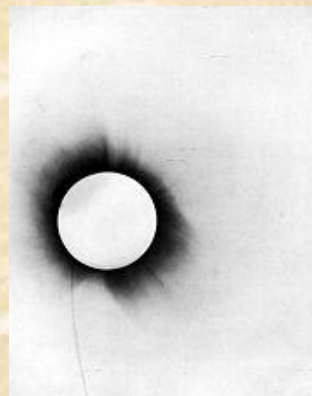
「世界政府を作るべき！」

1919年5月29日：日食で Einstein が予言した光の屈折が証明された。

南米の Brazil, 西アフリカの Guinea へ探検隊。



光の屈折：
Einstein の計算



この年からEinsteinは世界中で有名になったが、その頃からドイツでは反ユダヤ運動が強まった。

探検隊の指導者：
A. Eddington (イギリス)

Eddington が撮った写真

1922年：日本を訪問。43日間滞在。



「北の丸」船で日本へ。

その際、1921年の**ノーベル賞**の受賞についての知らせを受けた。（「光電効果のため」。）

1922年のノーベル賞は N. Bohr へ。Einstein が日本滞在のため、授賞式に欠席。



Einstein が日本人について：
「粋なライフスタイル、好奇心に溢れ、芸術的なセンス。
美しい国、素晴らしい民族。」

京都大学を訪問。
Einstein の左側に石原純。



1925-1927年:
Bohr と Einstein の対話
新しい量子力学について論争



A. Einstein:
「量子力学はまだ最終の理論ではない。
神様は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

趣味 ?
タバコ?
運転 ?
重要な研究 ?
教育 ?
手書き ?

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


(harmony)

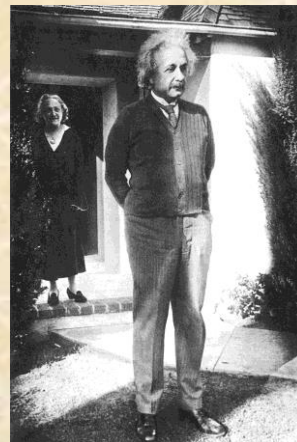

(uniformity)

奥さんと幸せに



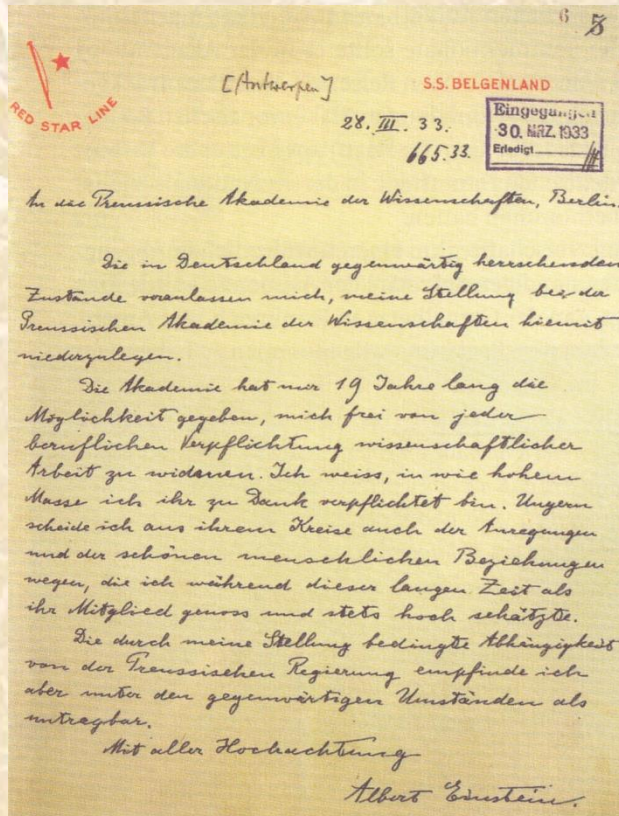
結婚生活?

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



2人の奥さんと不幸に

1932年12月：ドイツを去る。



ドイツ科学アカデミーへの解任願書。
1933年3月28日、ベルギーから発送。

その後、警察 (SA) が Einstein 自宅に突入し、「武器を捜索した」。

その後、Einstein は、アメリカへ亡命。

戦争の後も、ドイツへの帰国を硬く拒否した。
「国全体と国民全員に戦争犯罪の責任がある。」

1933 – 1955 年：アメリカの Princeton に滞在。Princeton の「最先端科学研究所」にて統一の場の理論について研究。



Princeton での自宅

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island
August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem

Yours very truly,

(Albert Einstein)



1940 年 10 月：アメリカ国籍取得。
義理の娘 Margot と一緒。

1939 年 8 月：L. Szilard と E. Wigner（ハンガリー出身）との会談。その結果、Roosevelt 大統領への手紙を著名し、原子爆弾の可能性を指摘した。合計4通の手紙を続々と著名。

Einstein のコメント：「そのときは仕方ありませんでした！もしドイツで爆弾開発が進んでいないことが分っていれば、その手紙を書かなかっただしょう！」

1933-1945年の間、迫害を受けた多くの人を助けて 危機から救い出した



70歳の誕生日



1948年：肝臓の病気、大動脈の病気が発生。

1955年4月18日：死亡(76才)。

Einstein の最後の意志： 火葬、灰をばら撒く。その通り行われたが。。

Princeton 病院の病理学者 T.S. Harvey が Einstein の脳を盗んだ！

1995年に Einstein の脳を Princeton 病院へ返し、現在もあそこで保管されている。

この講演の最後に。。。

Einstein と論争した偉大な物理学者を紹介しましょう！



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.



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
... an gehen, das Eigenwertproblem der
... ielle Systeme zu behandeln,
... hang näher beleuchten
... partiellen Different
... den

**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
... beobacht



**DIE WISSENSCHAFTLICHE
SAMMLUNG VON EINZELDARSTELLUNGEN AUS DEN
GEBIETEN DER
NATURWISSENSCHAFT UND DER TECHNISCHEN
WISSENSCHAFTEN**
Herausgegeben von Prof. Dr. WILHELM WILHELM
BAND 85

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



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 are probably to be second-

The Nuclear Force

On the Interaction of Elementary Particles

H. Yukawa

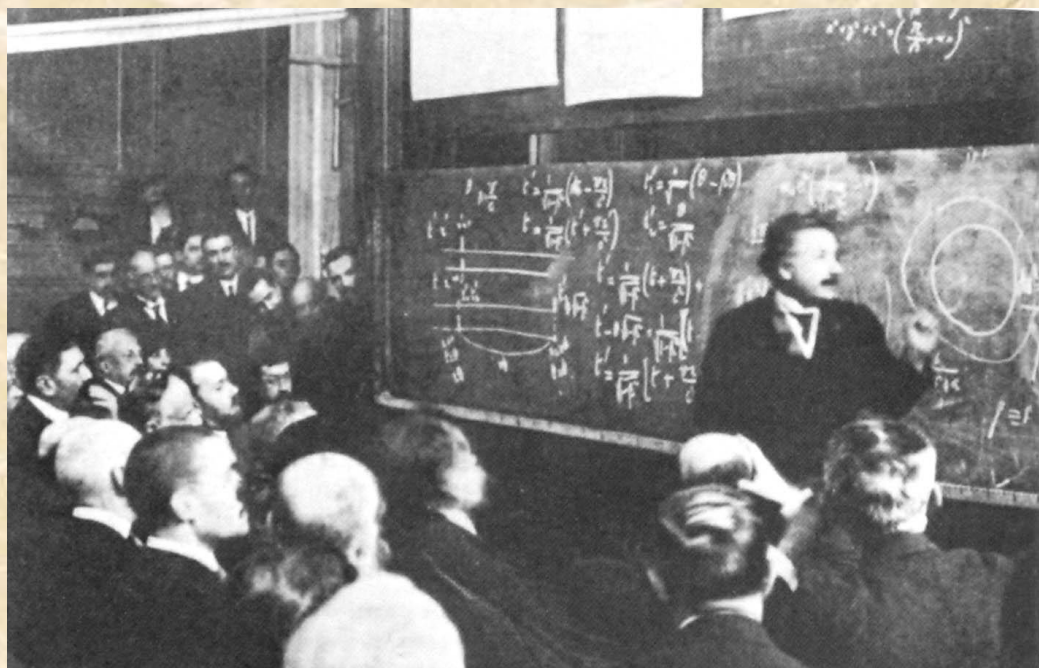
(Received 1935)

At the present stage of the quantum theory little is known about the nature of interaction of elementary particles, Heisenberg considered the interaction "Platzwechsel" between the neutron and the proton to be of importance to the nuclear structure.

Recently Fermi treated the problem of β -disintegration on the assumption of absorbing a pair of neutrino and electron. U. Heisenberg's assumption is much too simple in the nucleus.



当時も現在も夢を与えて下さった Einstein の姿。。。。



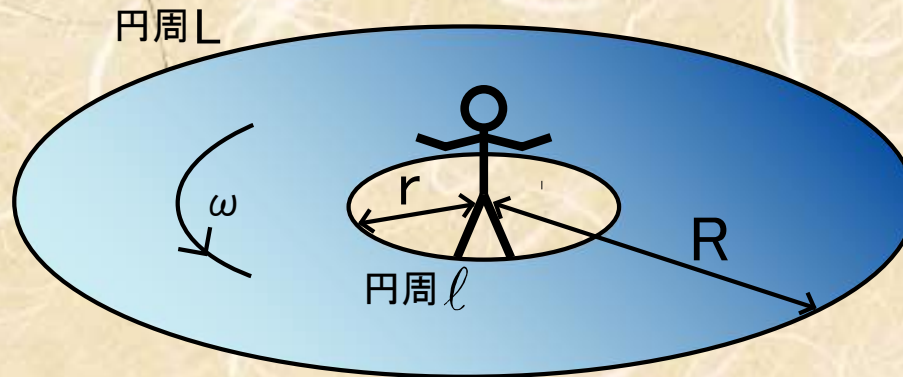
彼のメッセージに耳を傾けましょう！

- 直感を信頼し、好奇心を持つ
- 自由を大切にする
- 平和へ貢献し、人を助ける

参考のため . . .

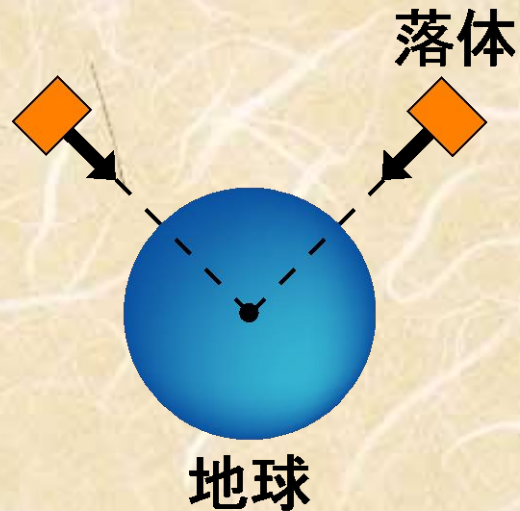
一般相対性理論と Non-Euclidean 幾何学の例:

(1) 回転ディスク (P. Ehrenfest):



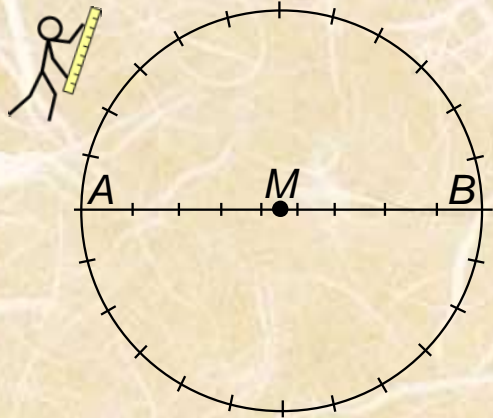
真ん中に静止する人にとって、 L/l は R/r よりも小さく見える。
その人の解釈: 遠心力の影響で幾何学が Non-Euclidean になる。
等価原理のために、それは外側に強くなる重力の影響と
等価。

(2) 潮力:



慣性系で「自由に落下する」2つの物体が互いに接近することもある。天体(地球)が「空間を歪んでいる」ように考えられるか？

(3) 2次元空間の歪み:

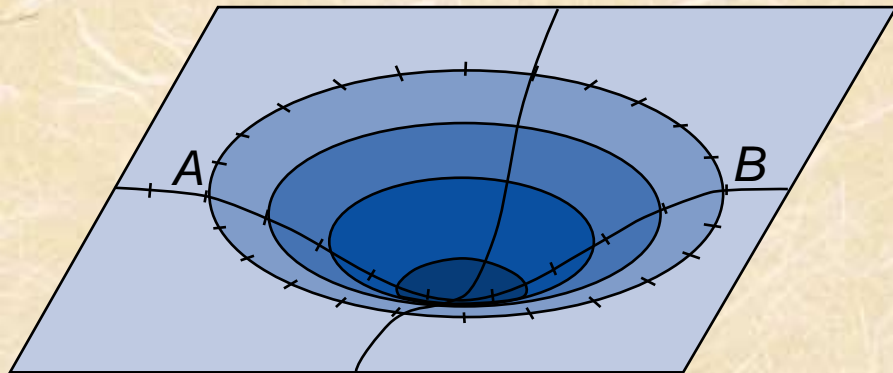


2次元に住む人が、大きな質量 M からの距離とその周りの円周の長さを図ろうとする。

外から見ている人の解釈:

「なるほど、太陽に近いところで、あの人の目盛が短くなっている。」

しかし、中に住む人はそれに気付かない。。。



中に住む人の解釈:

「円周の長さの測定結果が $2\pi r$ よりも短い。従って、私の世界が歪んだ形をする！」