



UT-PSC

Photon Science Center of the University of Tokyo

総合科目E物質・生命一般「レーザー・ビーム・プラズマ」

2013年10月17日

# 光とレーザーの超基礎

「光」とは何かについての歴史  
レーザーの基礎

光量子科学研究センター 石川顕一

ウェブ <http://ishiken.free.fr/english/lecture.html>

メール [ishiken@atto.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:ishiken@atto.t.u-tokyo.ac.jp)

講義資料はウェブにアップする予定です。

レーザーが

普通の光とちがうところ①

(太陽、電球、蛍光灯、ろうそく、蛍など)

1つの方向に一直線に進む

「指向性」

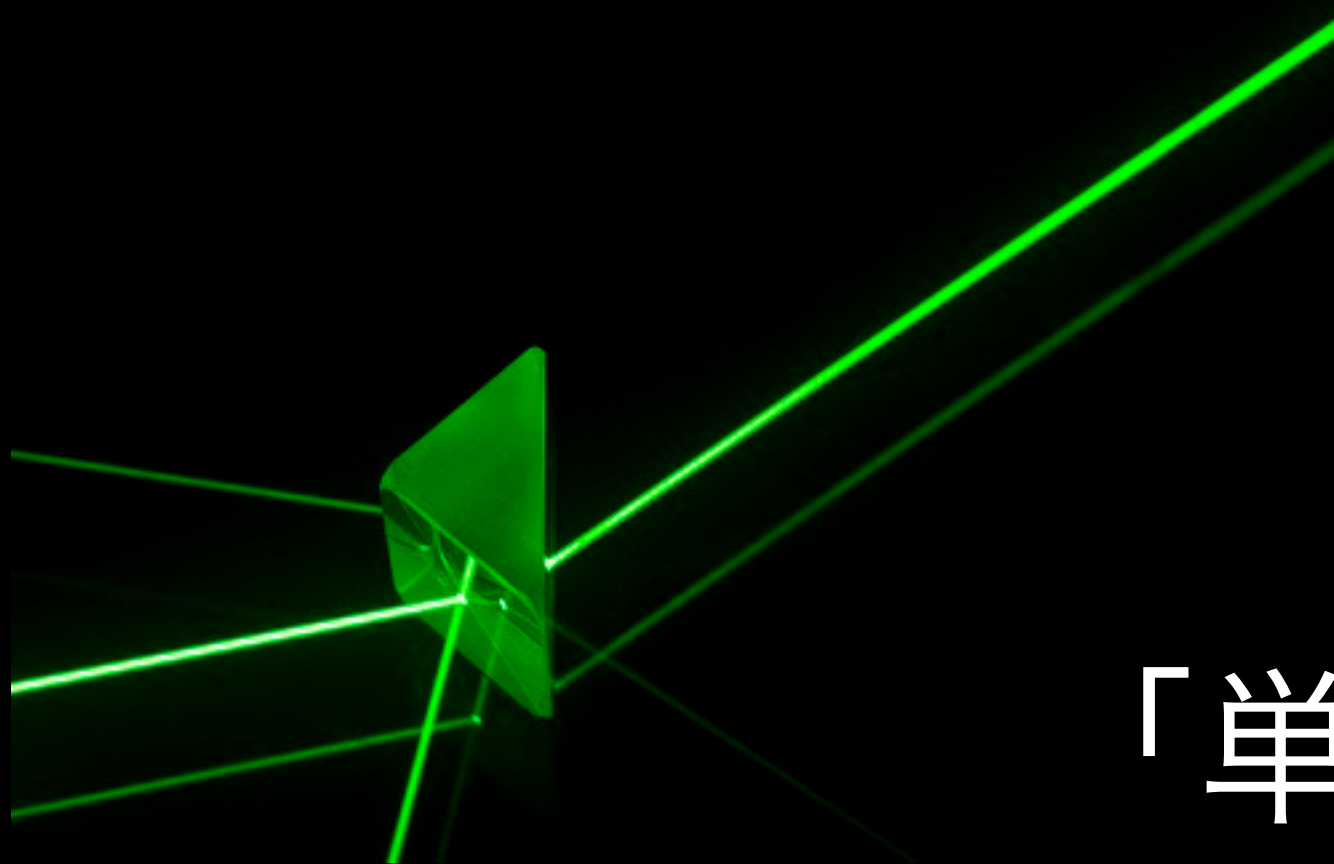
日光

プリズム

普通の光は、無数の色の重ね合わせ

様々な色（虹色）の光に分かれる

# レーザービームが 普通の光とちがうところ②



1つの色だけをふくんでいる

# 本日のメニュー

---

- 光とは何か
- レーザーの基礎

# 光の本性

17世紀

## 光学についての関心



## 光の正体は何か

# 光の本性

17世紀

# 波動説

デカルト



宇宙に何かが満ちていて、その圧力が光である

フック

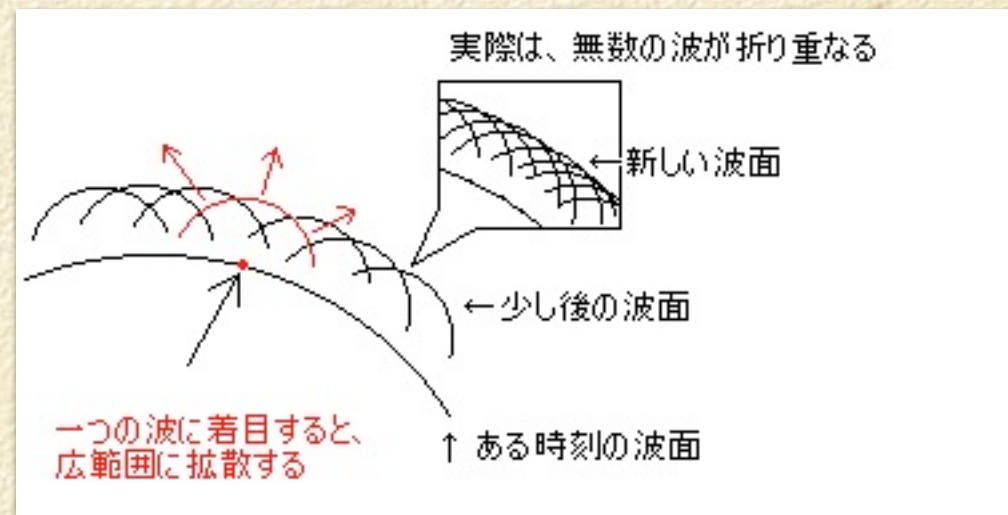


宇宙に満ちている媒質（エーテル）の振動が光である。

ホイヘンス

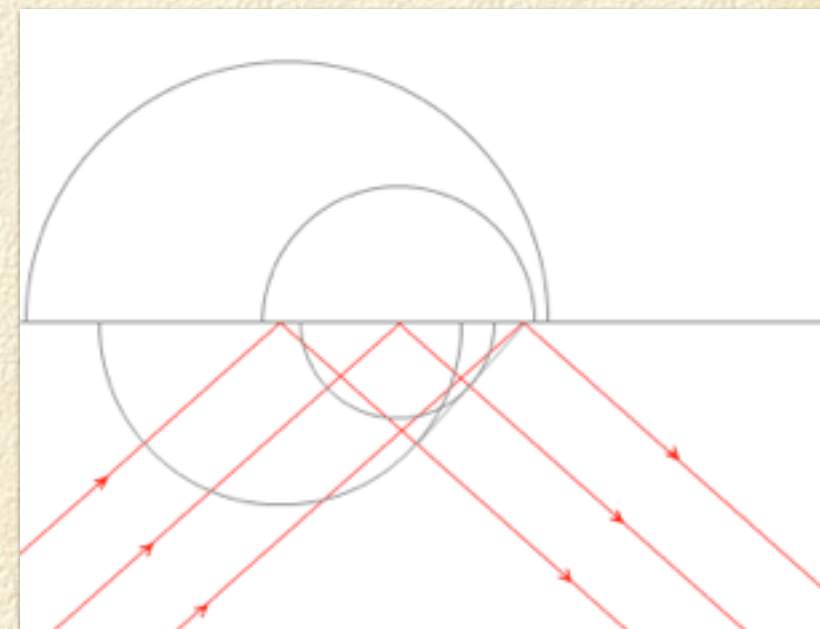
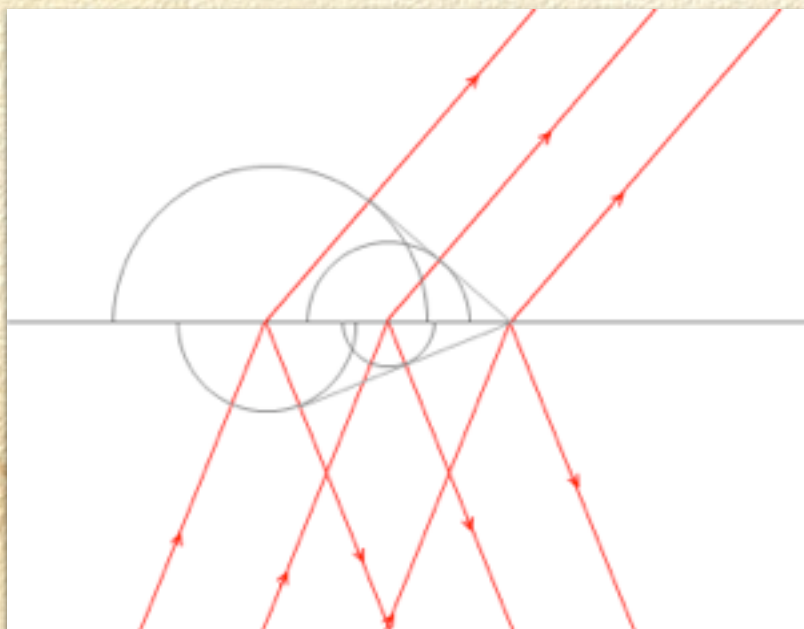
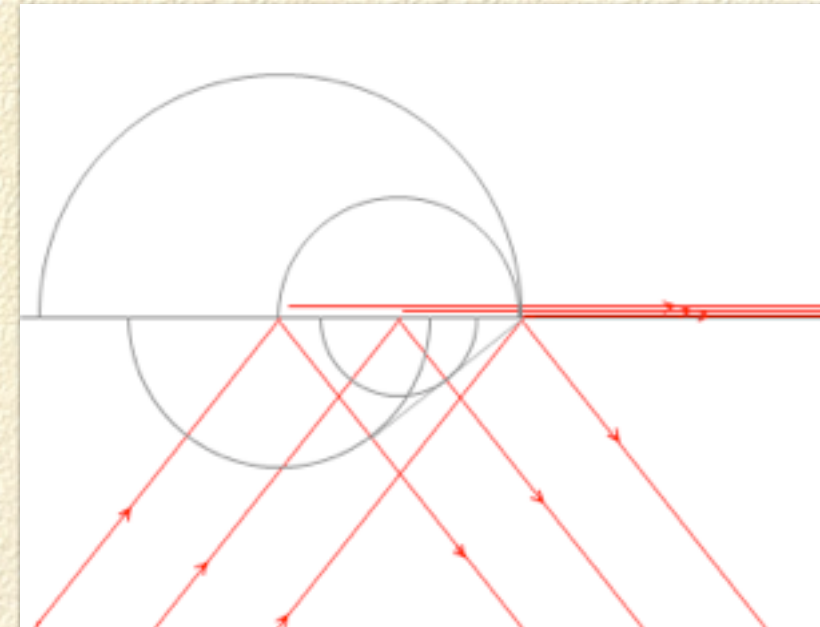
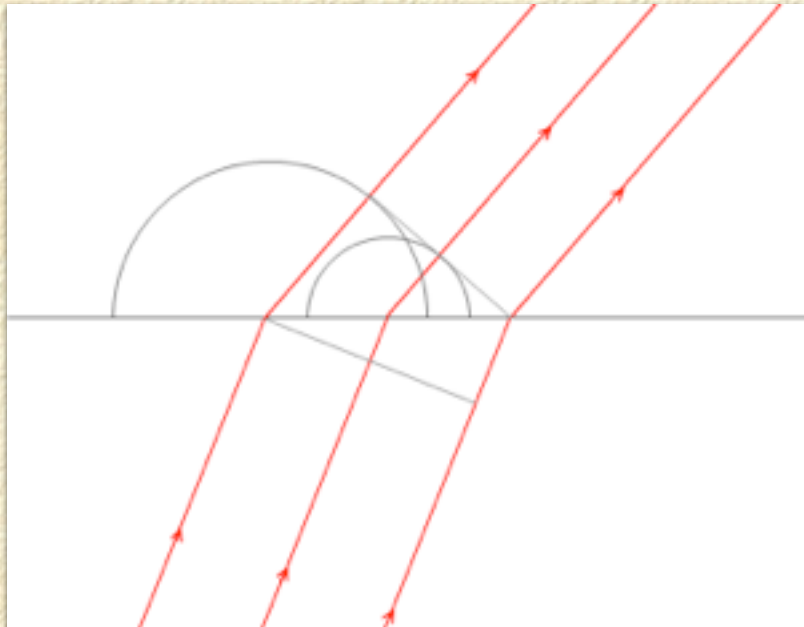


光を波と考え、**ホイヘンスの原理**を立て、それから反射・屈折の法則が導かれることを示した。



# ホイヘンスの原理(1678年)

□ 素元波の包絡面（統一波面）が新たな波面



17世紀

# 粒子説？

## 光の本性

ニュートン



- 個々の色の光は、発光体から放射された実体的なものである。
- 光をただ波と考えると、直進することが説明できないであろう。

「光の実体は多数の微粒子である」

「エーテル様の媒質」が光よりも速い振動を伝えている

粒子と波の両方の性質を認めている。明確に粒子説をとらえたわけではない。

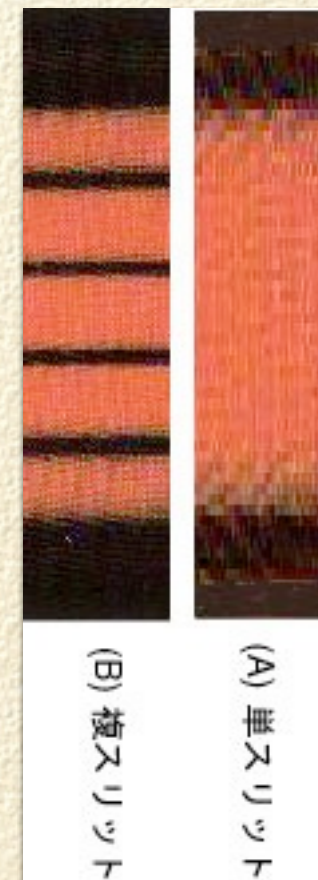
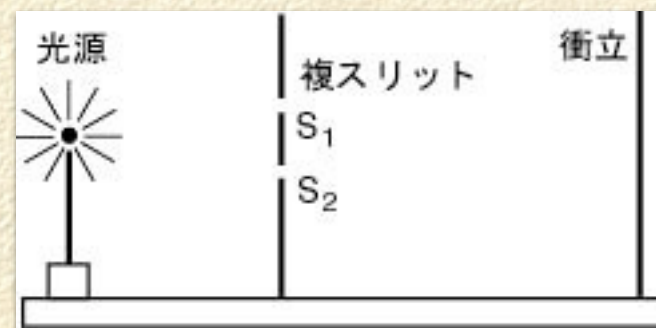
19世紀

# 波動説の復活

ヤング



## ヤングの干渉実験





# マクスウェルの光の電磁波論

光は**電磁波**である

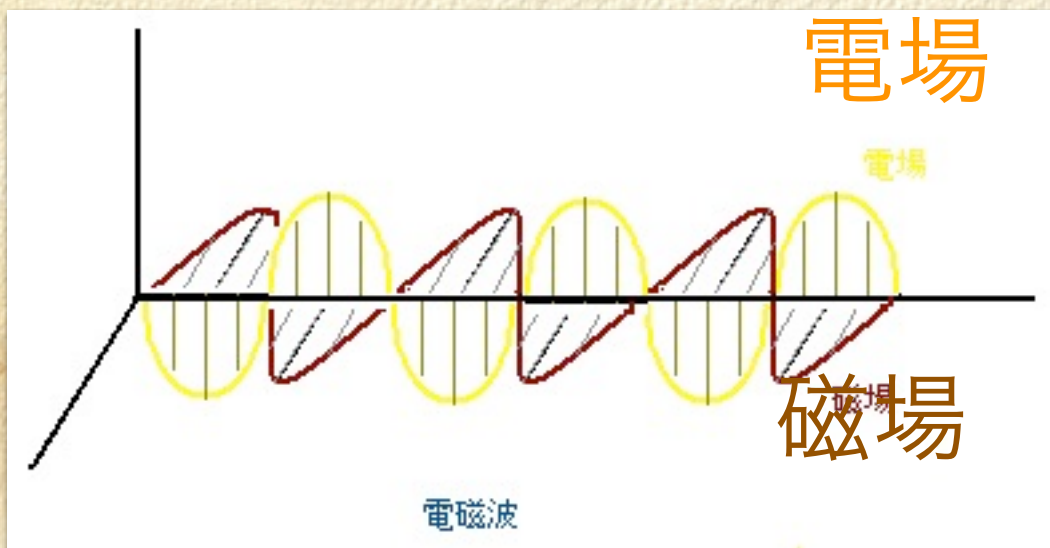
マクスウェル

1864年  $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$$



光の波の直接観測

**2004年！**

# 20世紀科学へのクリスマスプレゼント

## プランクの黒体放射の理論



プランク

1858~1947



1900年

振動数  $\nu$  ( $\text{s}^{-1}$ ) の光が持つエネルギーは  $h\nu$  の整数倍

エネルギー量子

$$E = nh\nu$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

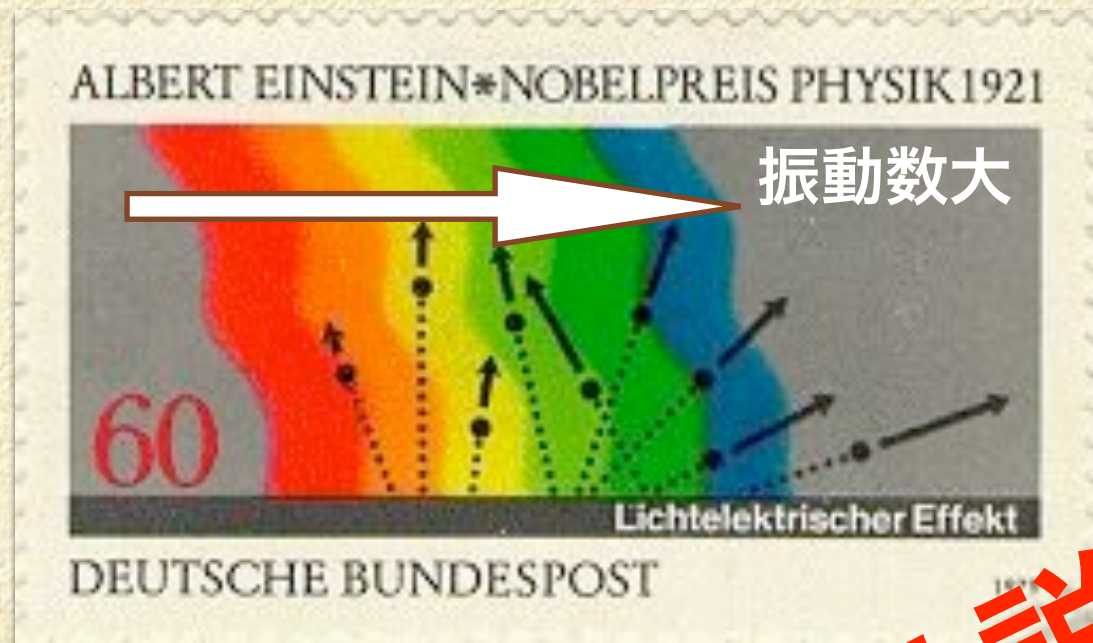
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

プランク定数

# 光電効果

金属に光を当てると電子が飛び出す現象

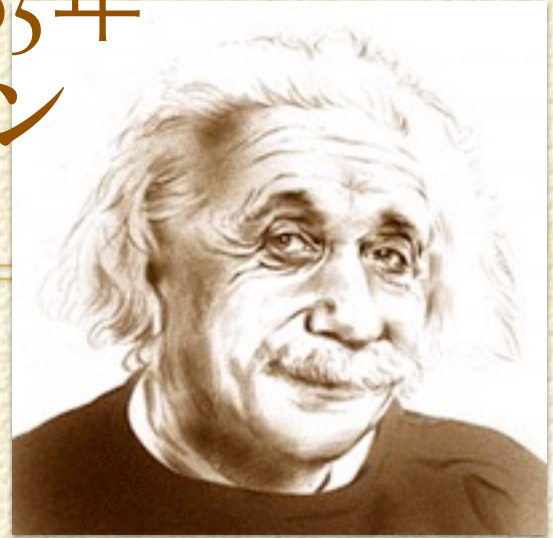
ヘルツ 1887年



レナルトの実験結果

- 強い光を当てると、飛び出す電子の数が増える。飛び出す電子の運動エネルギーは変わらない。
- 当てる光の振動数を大きくすると、飛び出す電子の運動エネルギーが大きくなる。

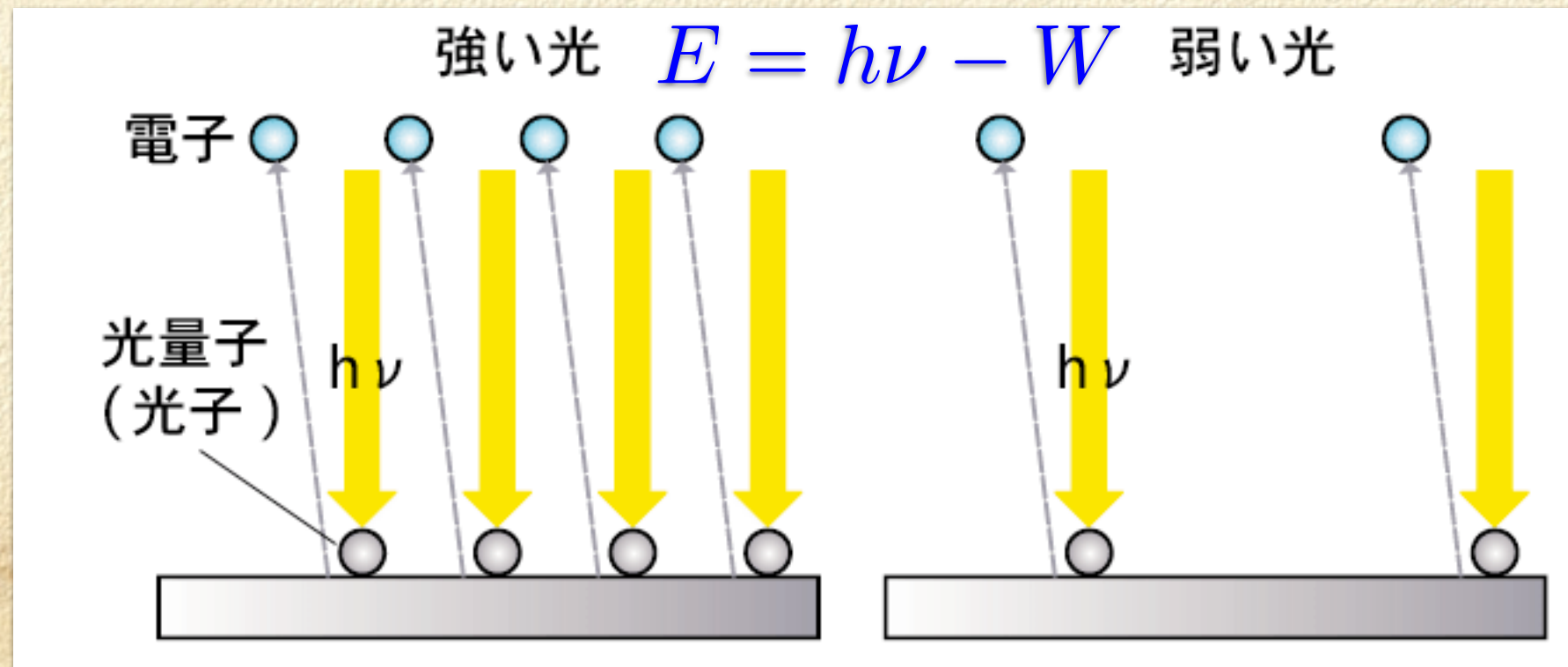
1905年  
アインシュタイン



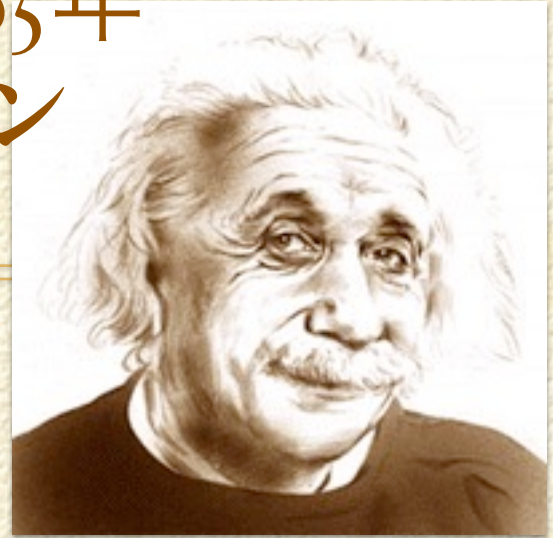
# 光量子仮説

振動数  $\nu$  ( $\text{s}^{-1}$ ) の光は、  
 $h\nu$  のエネルギーのかたまりとして  
電子に吸収される。

仕事関数

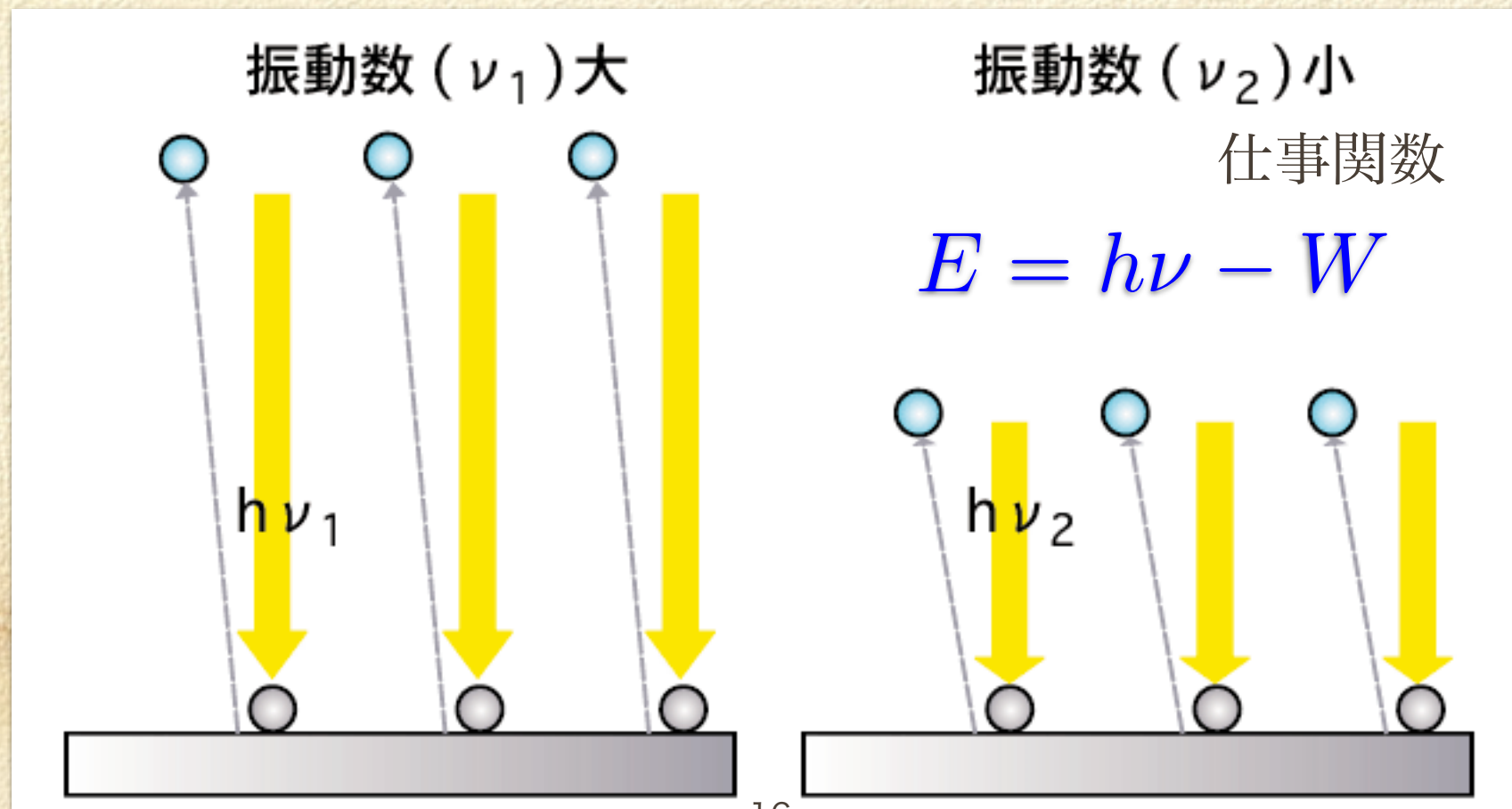


1905年  
アインシュタイン

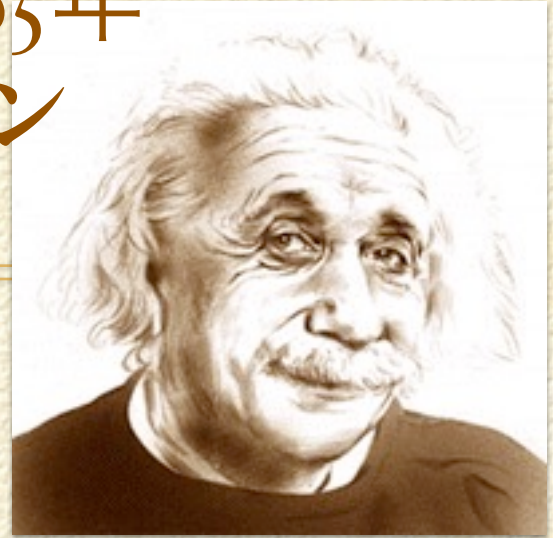


# 光量子仮説

振動数  $\nu$  ( $\text{s}^{-1}$ ) の光は、  
 $h\nu$  のエネルギーのかたまりとして  
電子に吸収される。

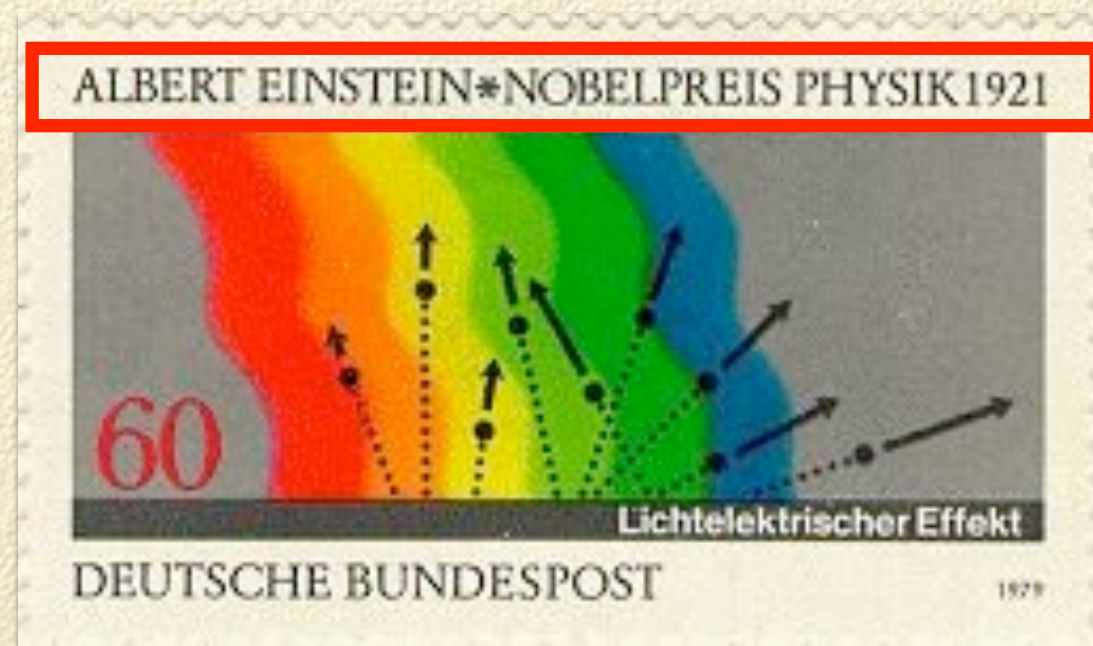


1905年  
アインシュタイン

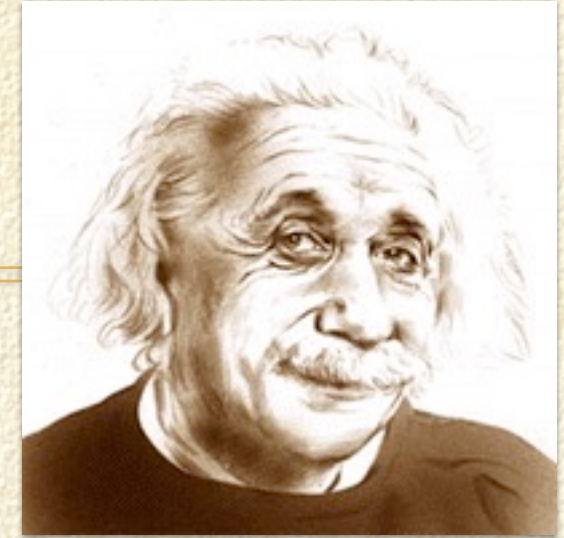


# 光量子仮説

振動数  $\nu$  ( $\text{s}^{-1}$ ) の光は、  
 $h\nu$  のエネルギーのかたまりとして  
電子に吸収される。光子 (光量子)



# 1905年のアインシュタイン



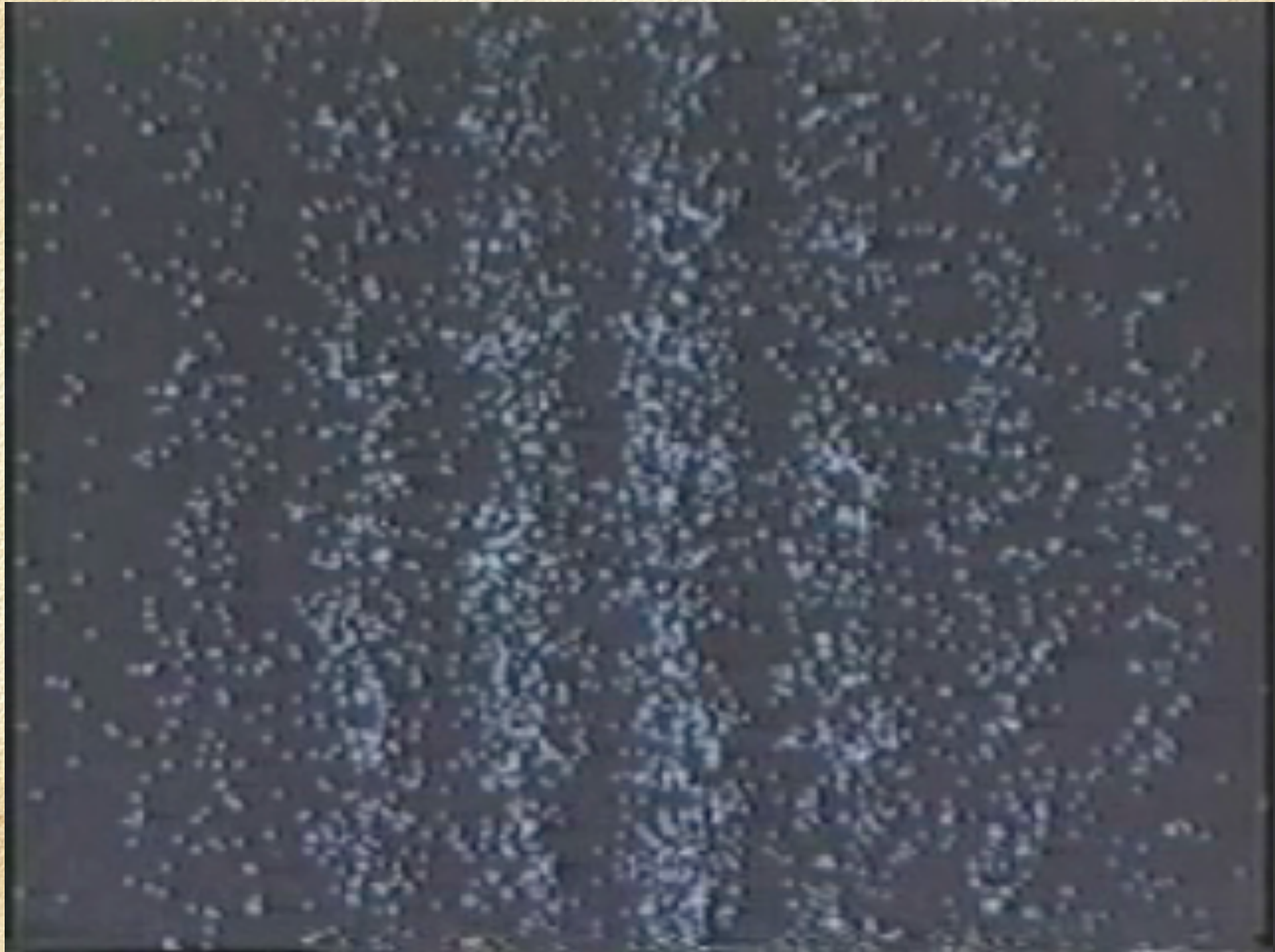
## 奇跡の年

- 特殊相対性理論
- 光量子仮説
- ブラウン運動の理論

---

# ■ 光は波と粒子の 両方の性質を持 っている

# 光は波と粒子の両方の性質を持っている



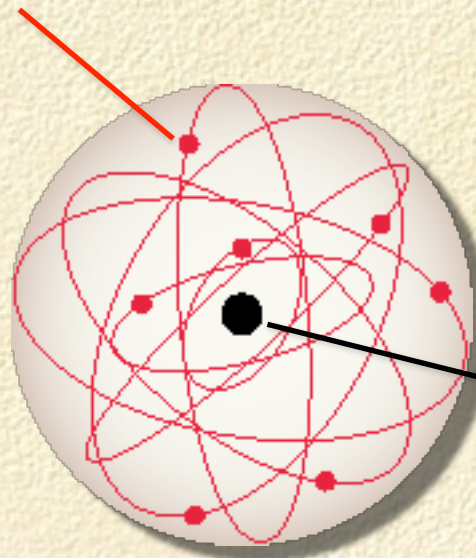
# 本日のメニュー

---

- 光とは何か
- レーザーの基礎

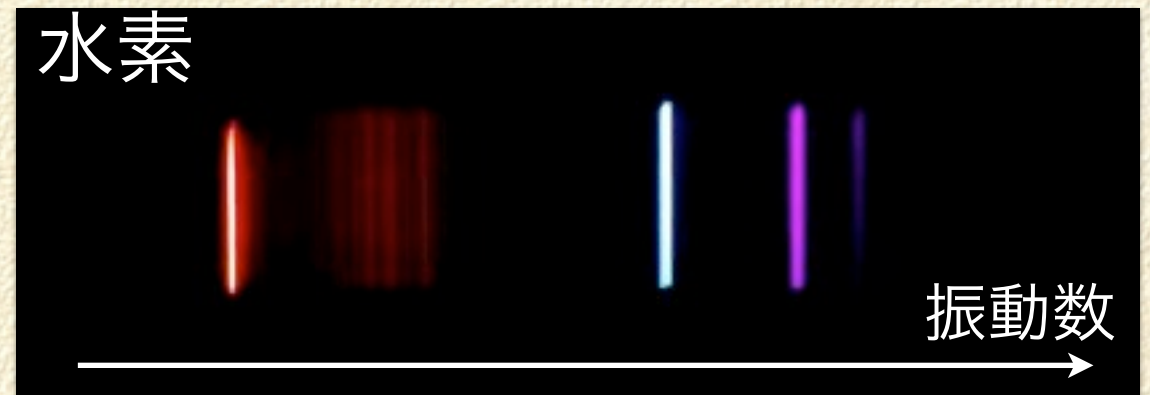
# 原子の出す光の波長（色）はとびとび（離散的）

電子

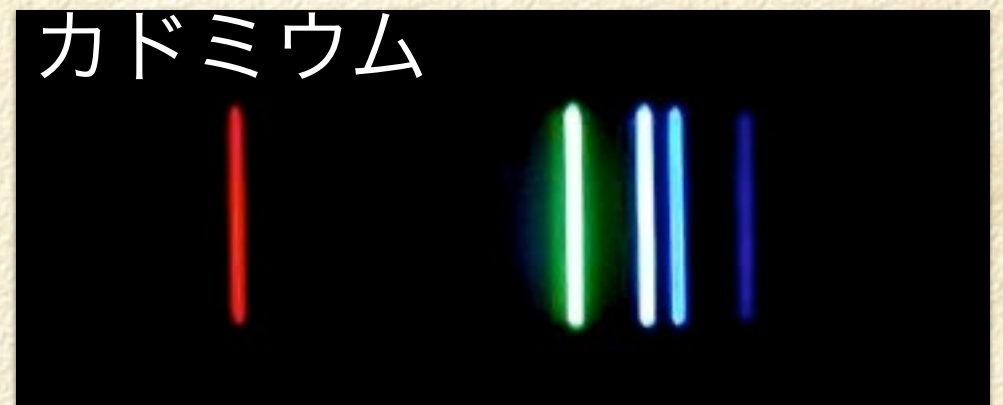


原子核

水素



カドミウム



特に水素原子では  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

リュードベリ定数  $R = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

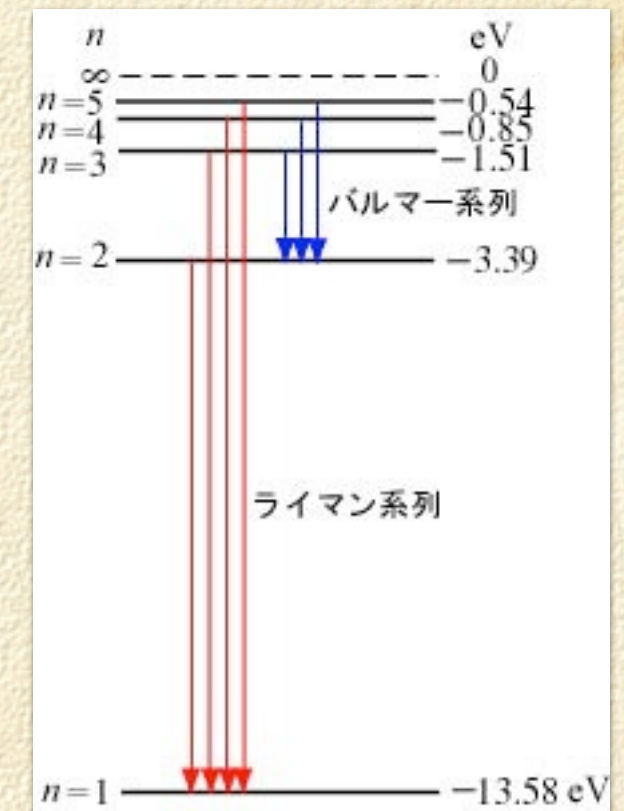
# ボーア 初期量子論

1885~1962

## ボーアの理論

- 原子中の電子は、とびとびのエネルギーをもった状態でのみ存在する。
- 原子が光を放出したり吸収したりするのは、電子が2つの状態間をジャンプ（遷移）するときのみ。
- 放出・吸収される光の振動数は

$$h\nu = E' - E''$$



# 原子によって放出する光の 波長（色）が違う



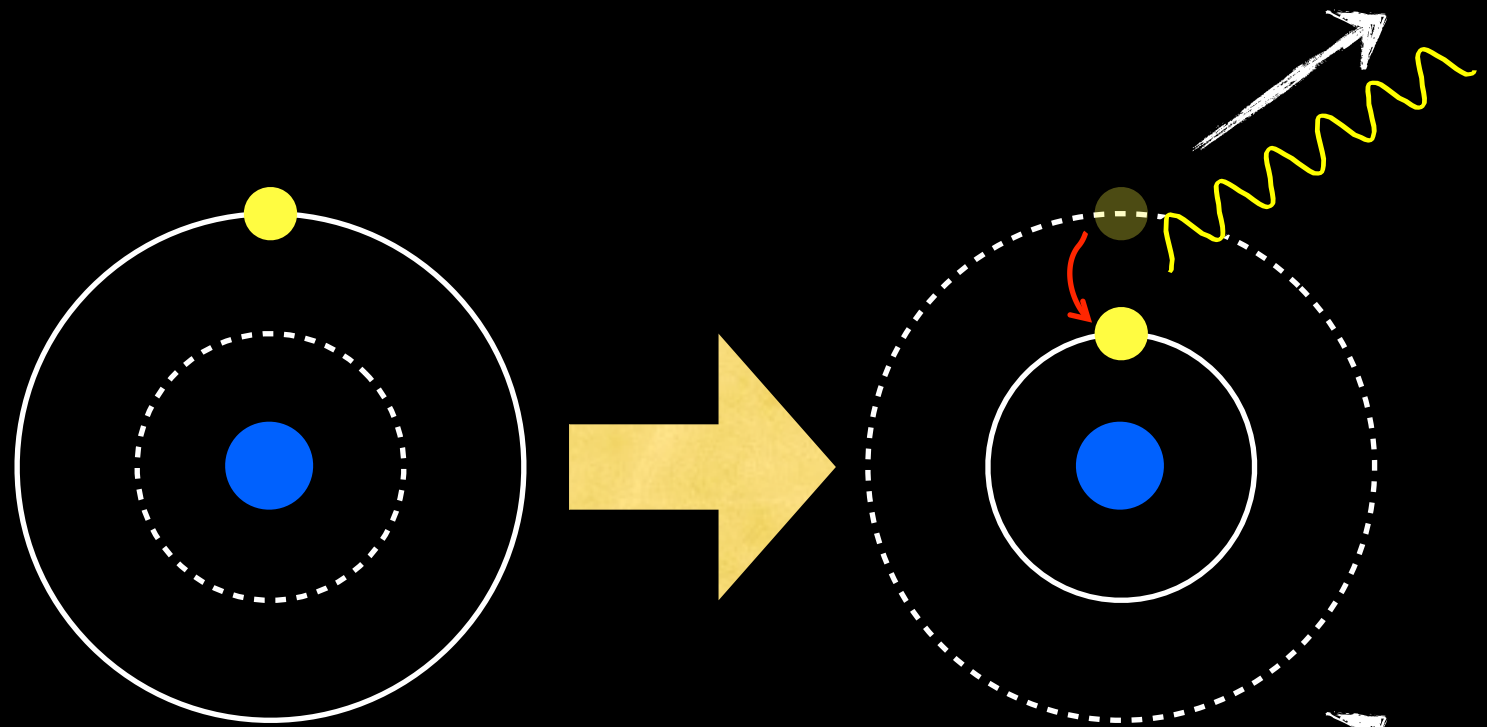
炎色反応



# 光の放出は2種類ある

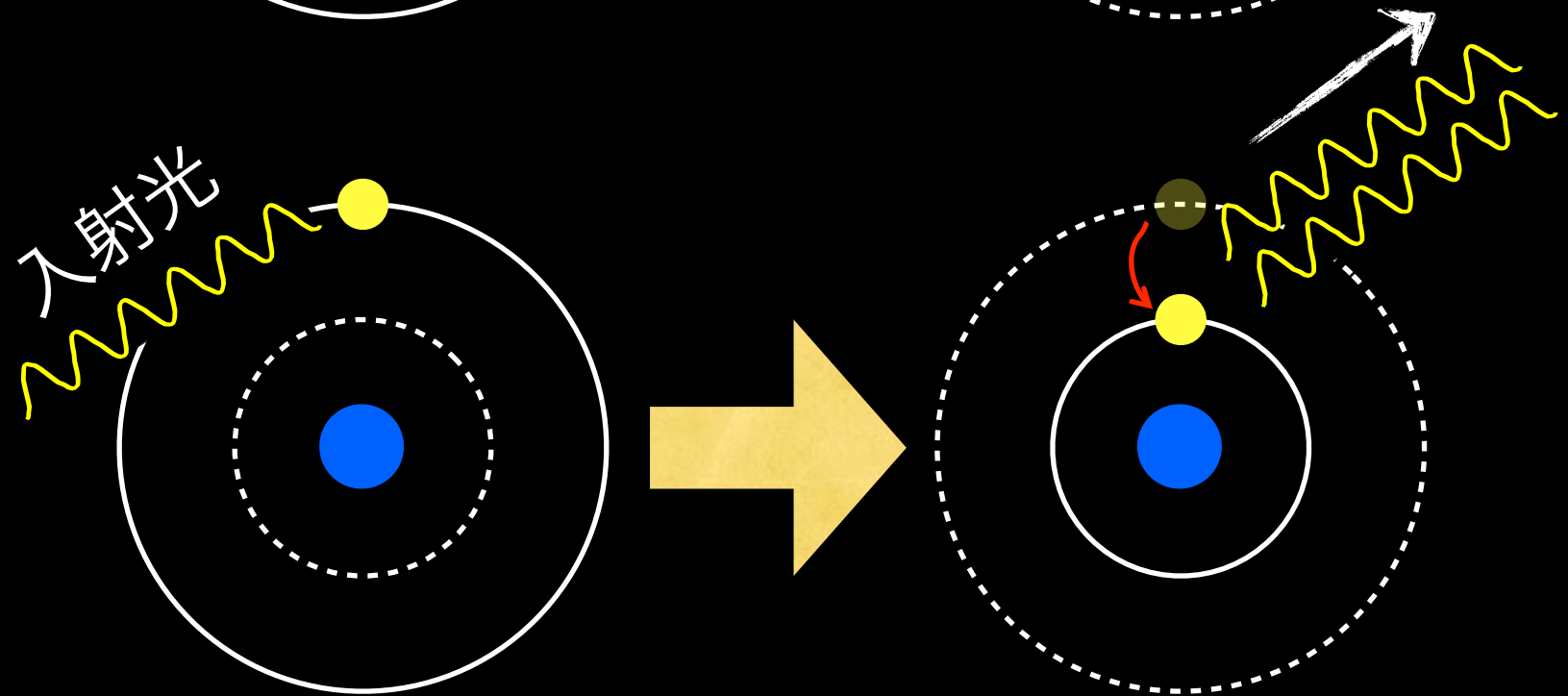
自然放出

勝手に光を出す



誘導放出

入ってくる光に  
つられて光を出す



入射光と同じ色、進行方向の光が出る

## 自然放出

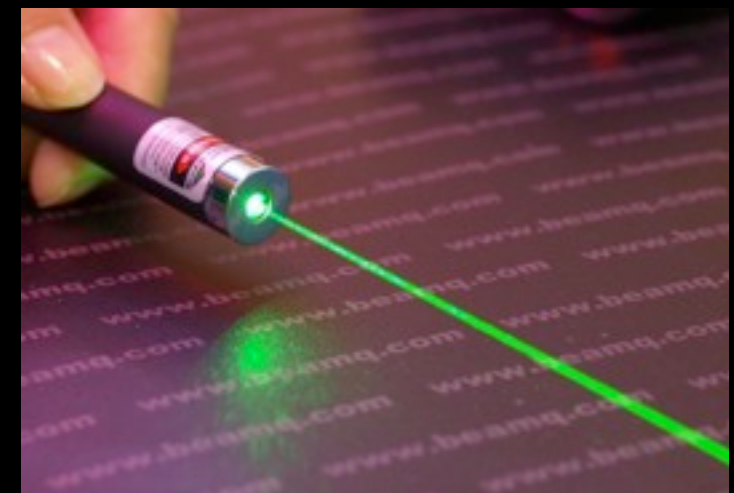
勝手に光を出す



普通の光

## 誘導放出

入ってくる光に  
つられて光を出す



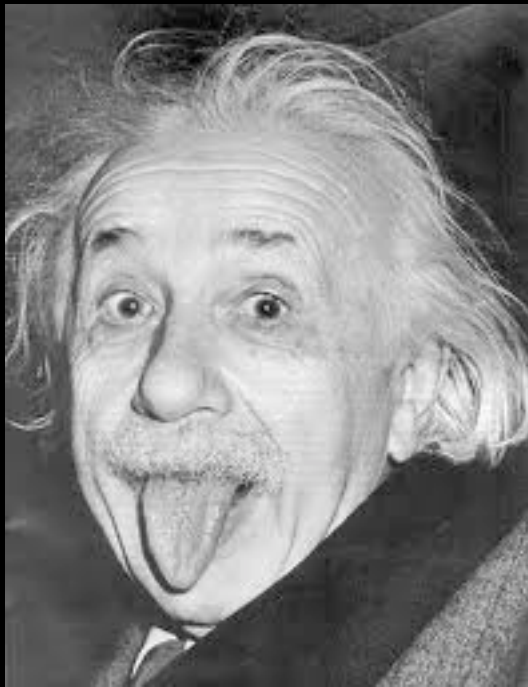
レーザー

入射光と同じ色、進行方向の光が出る→単色性&指向性

# レーザー LASER

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission  
of **R**adiation

誘導放出による光の増幅



誘導放出を理論的に予言したのは

アインシュタイン

1916年

# レーザーの基本的構造（ルビーレーザーを例に）

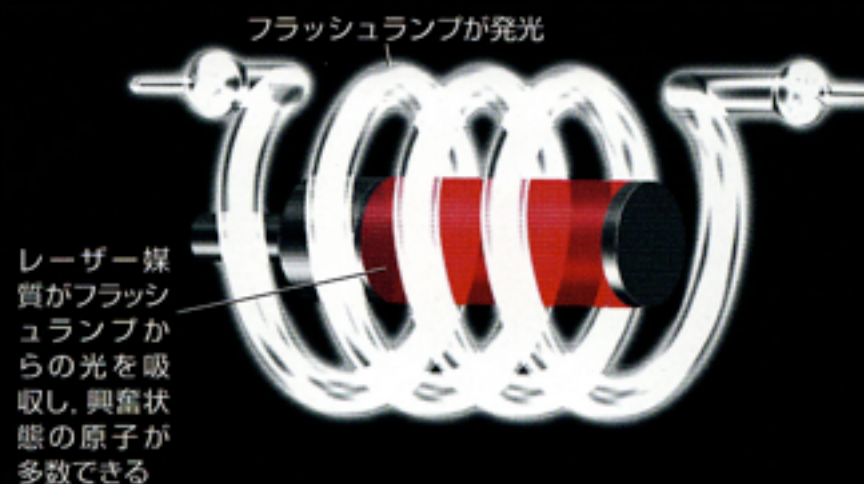
フラッシュランプの電源

励起エネルギー源（フラッシュランプ）

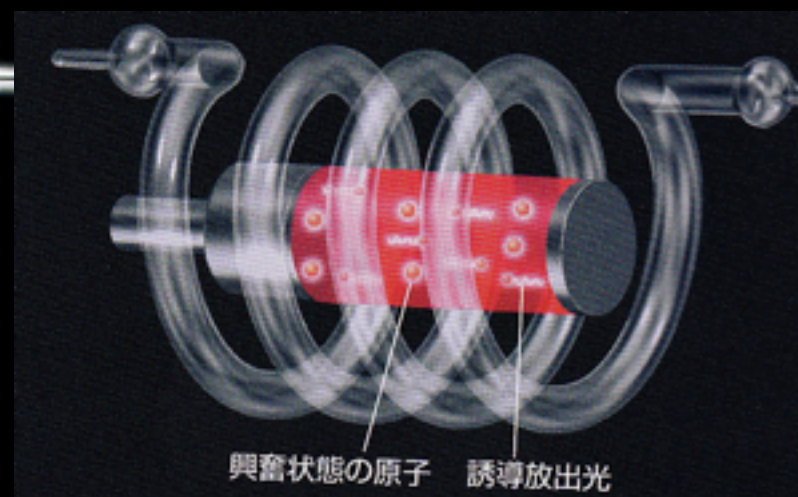
反射鏡

反射鏡

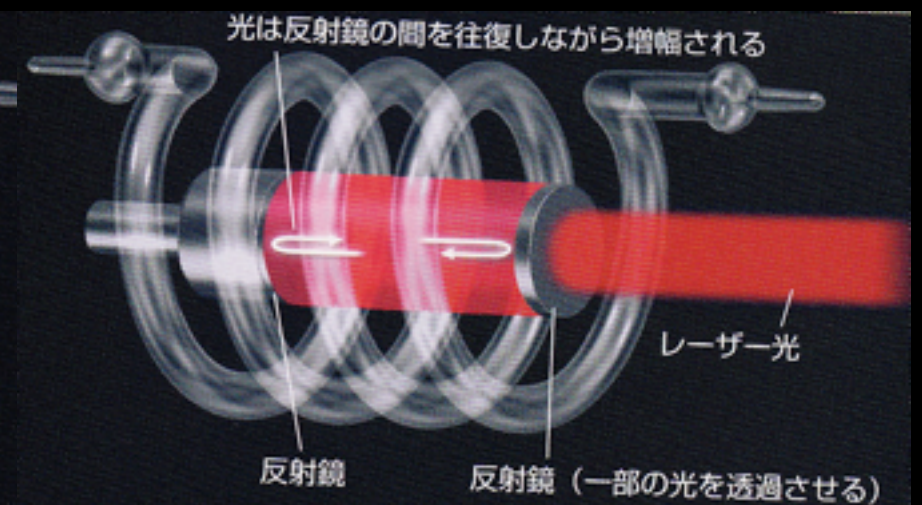
レーザー媒質（ルビーの結晶）



① 励起エネルギー源がレーザー媒質にエネルギーをあたえる



② レーザー媒質の中で、誘導放出がときどき起きる



③ 光は、2枚の鏡の間で何回もレーザー媒質を通り増幅される

## 興味のある人は…

---

光量子科学研究センター 石川顕一

ウェブ <http://ishiken.free.fr>

メール [ishiken@atto.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:ishiken@atto.t.u-tokyo.ac.jp)