

総合科目E物質・生命一般「レーザー・ビーム・プラズマ」

2014年10月9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

工学部システム創成学科B 石川顕一

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

メール ishiken@n.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

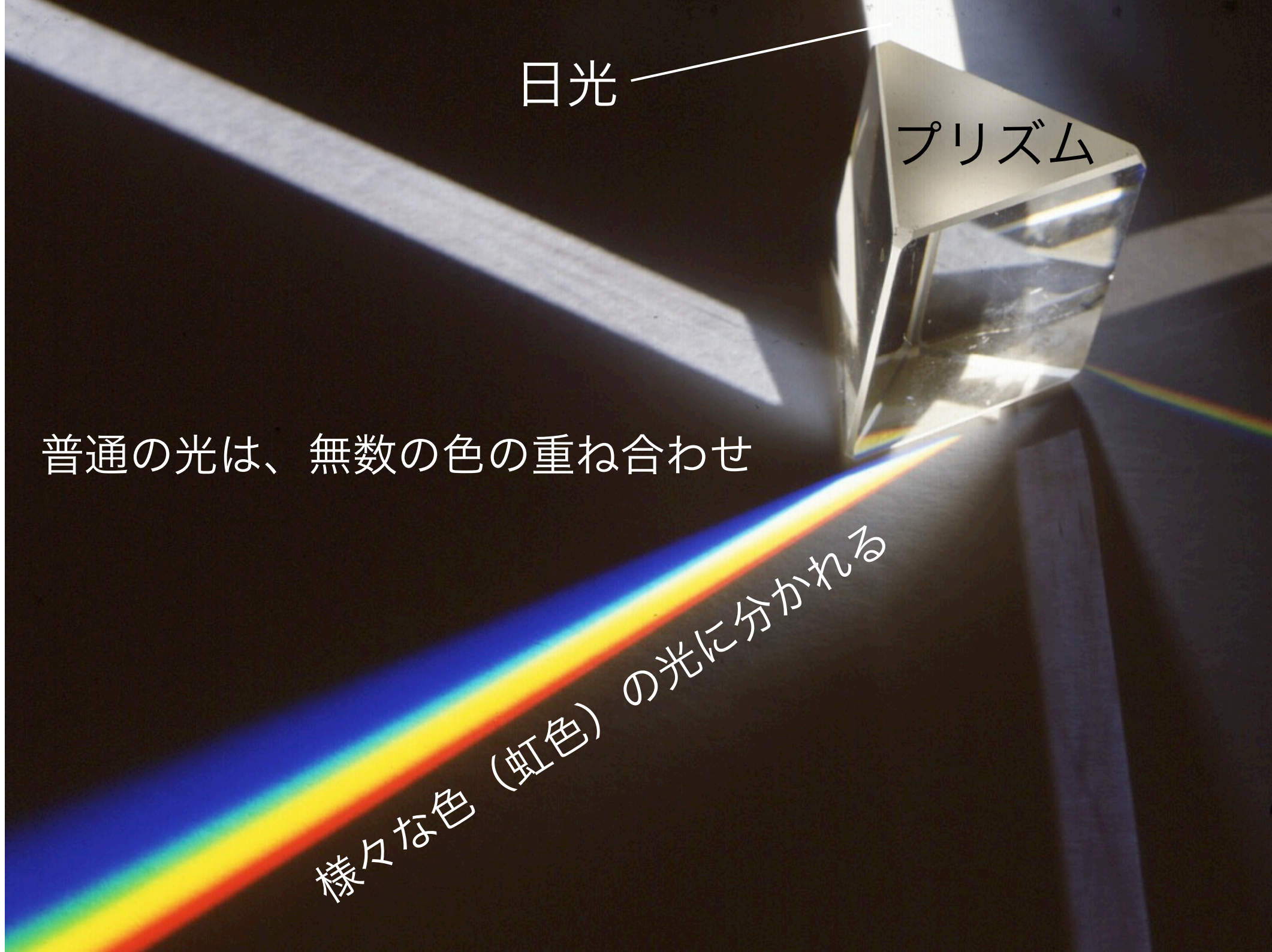
「指向性」

日光

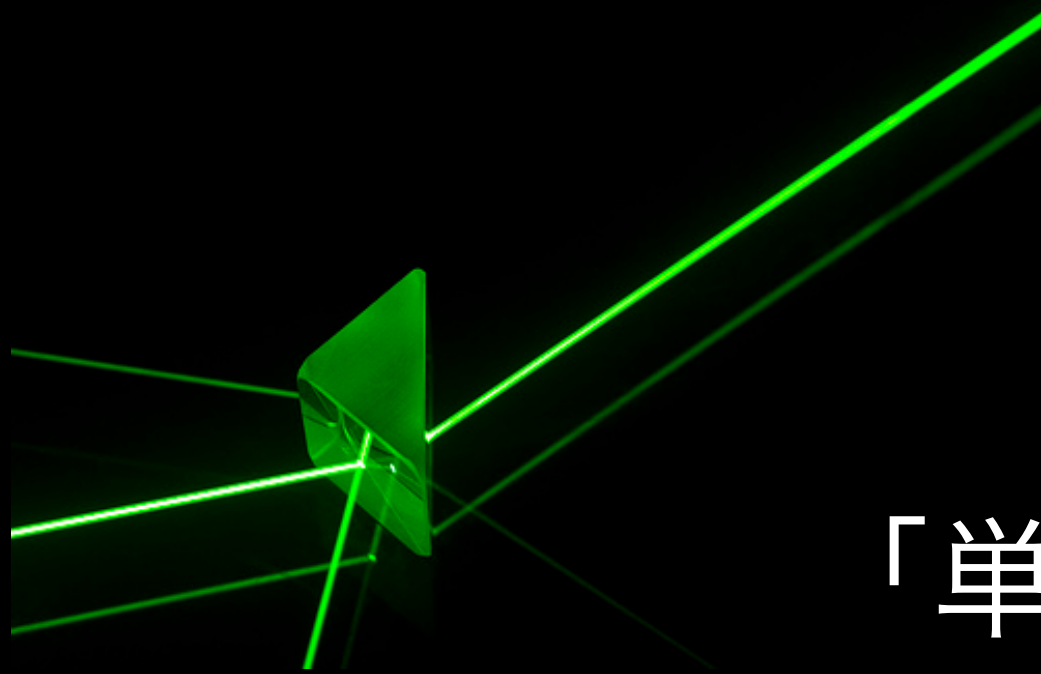
プリズム

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



「単色性」

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

宇宙に満ちている媒質（エーテル）の振動が光である。

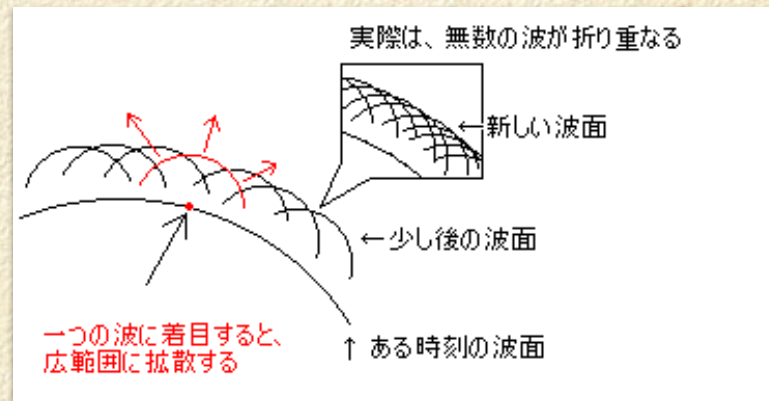
フック



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。

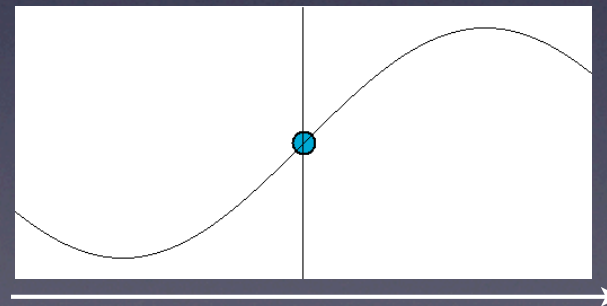


光は波である 「波」とは？

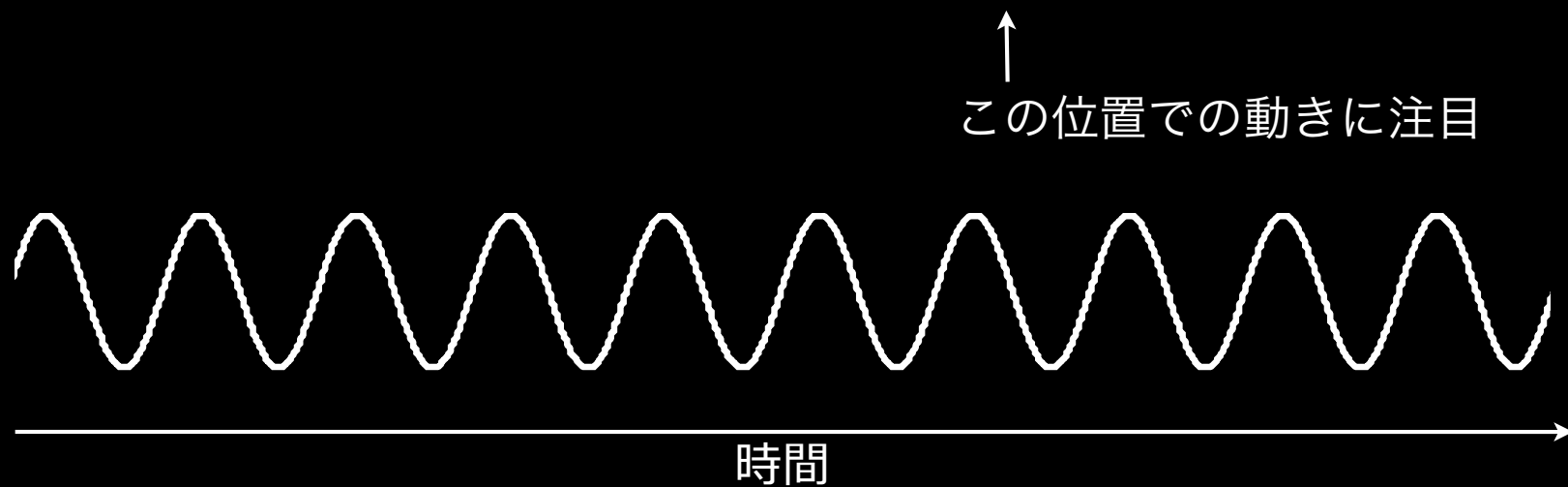
日常用語…水面の高低運動



物理学の用語…波動…波のような動き全般



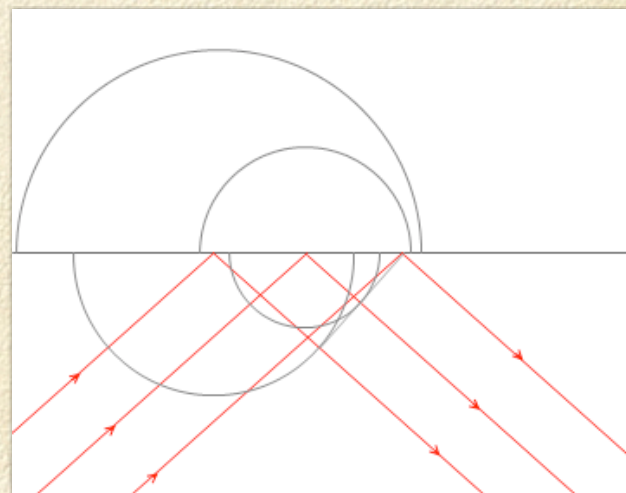
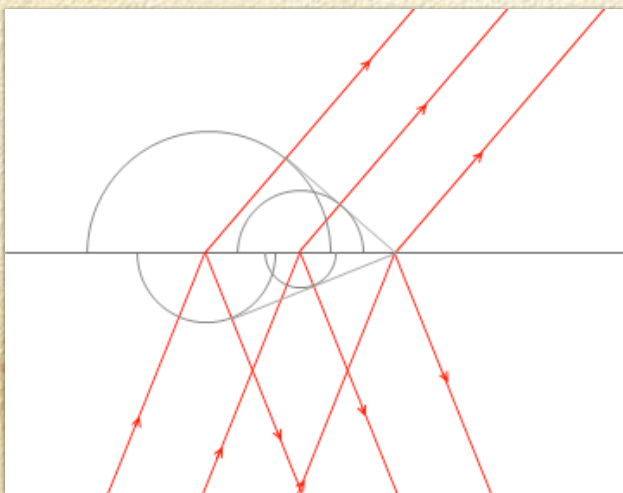
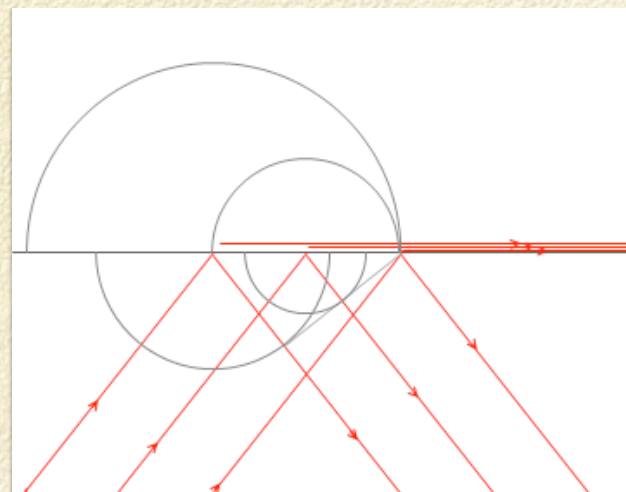
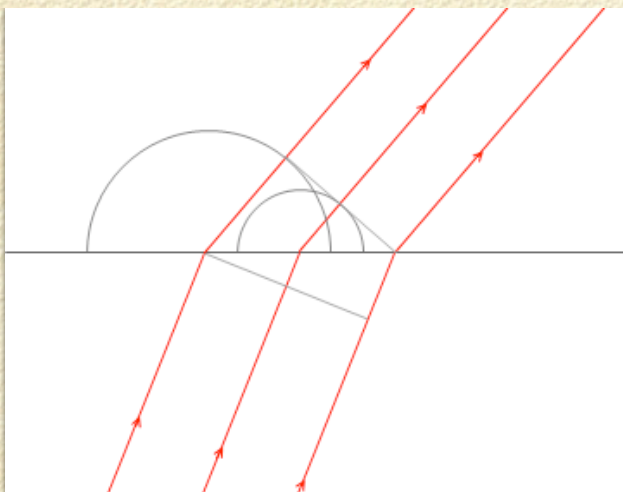
位置



波（波動）のある一定の場所をみれば、
時間的に振動している（波打っている）

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。

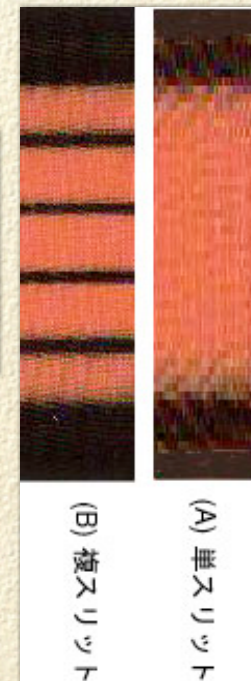
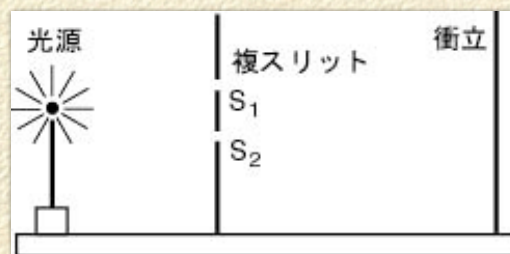
19世紀

波動説の復活

ヤング

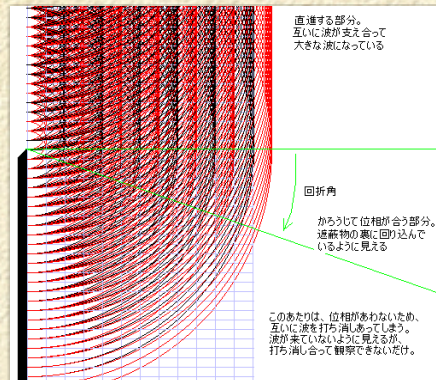
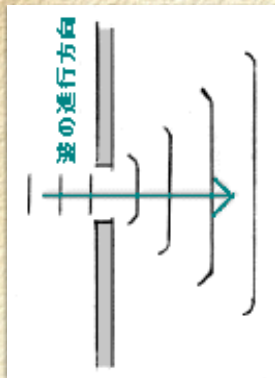


ヤングの干渉実験



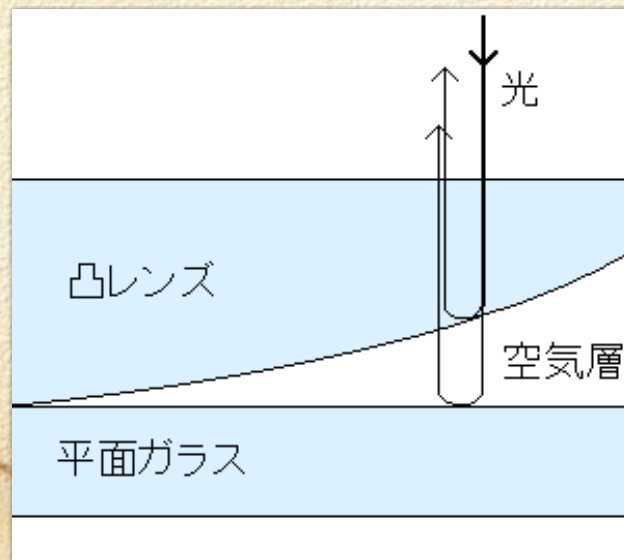
19世紀 波動説の確立

波動説の復活



光の回折

ニュートンリング



マクスウェルの光の電磁波論

光は**電磁波**である

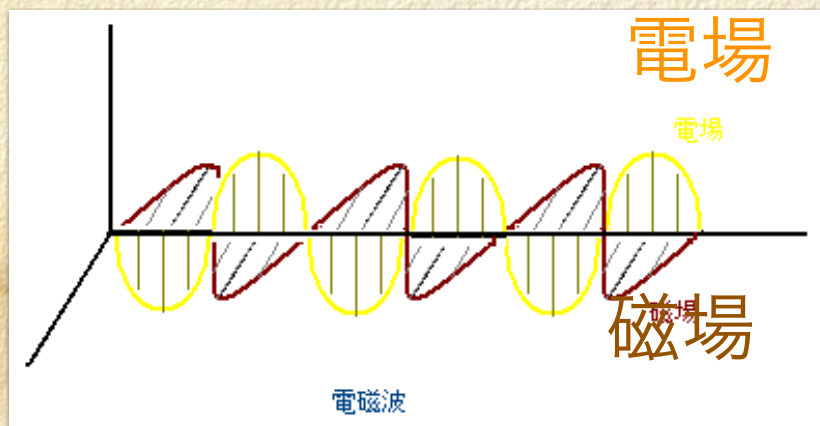
マクスウェル

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

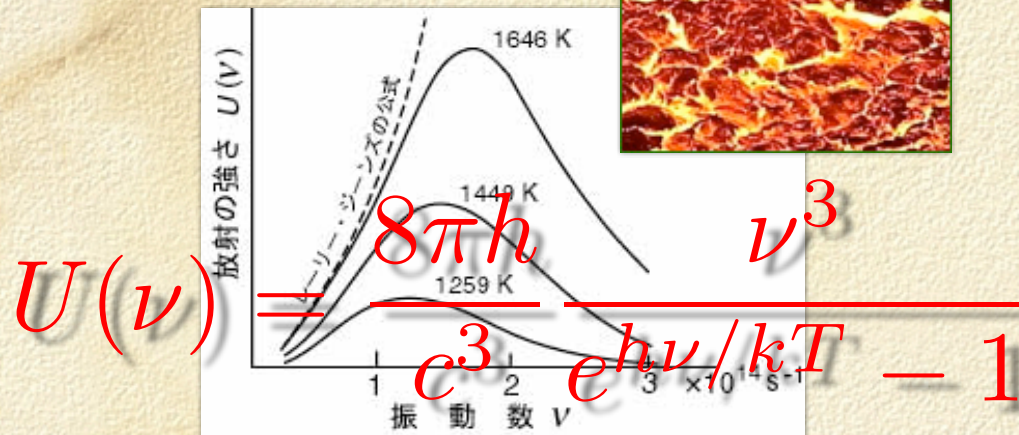
2004年！

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 ν (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

$$E = nh\nu$$

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

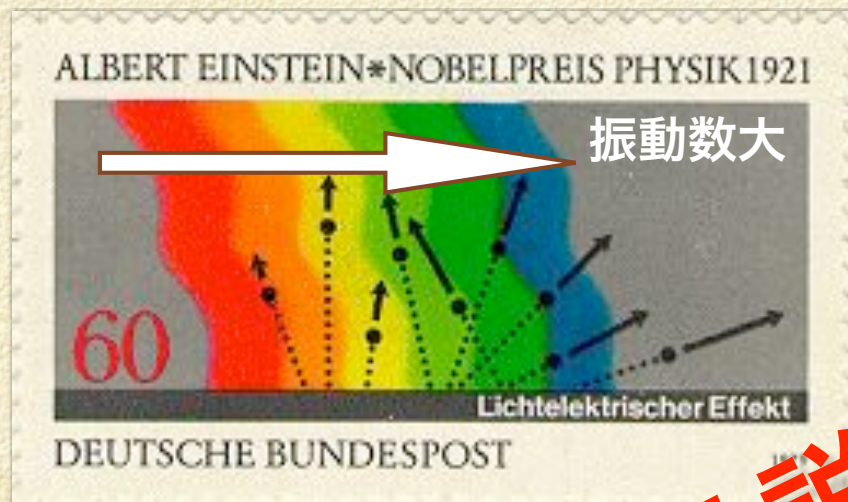
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

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

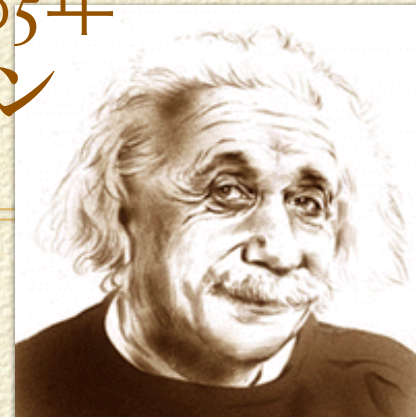
ヘルツ 1887年



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。

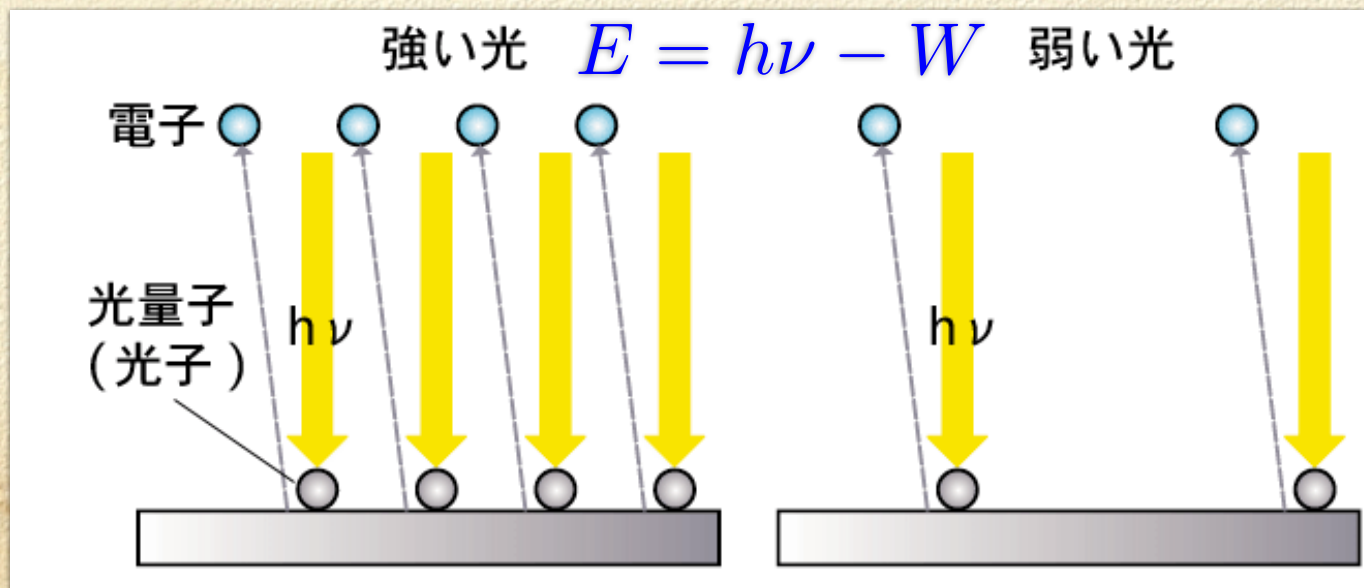
1905年
アインシュタイン



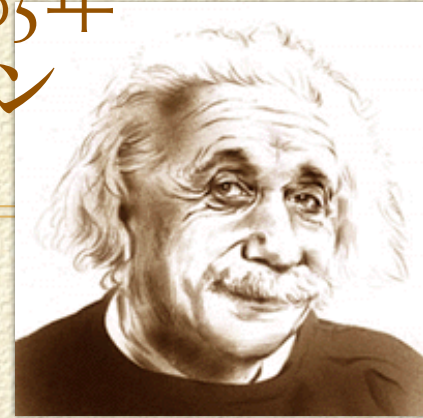
光量子仮説

振動数 ν (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

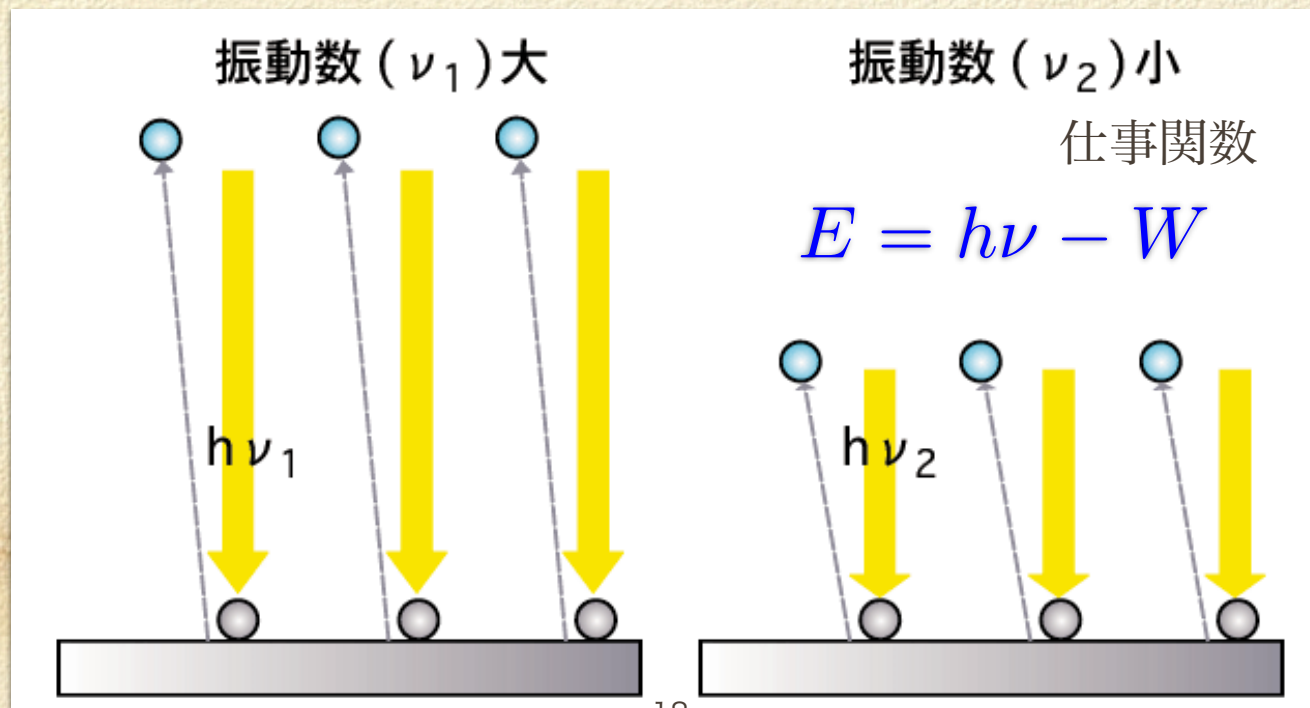


1905年
アインシュタイン

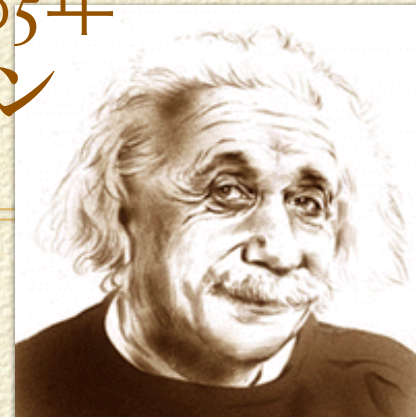


光量子仮説

振動数 ν (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。

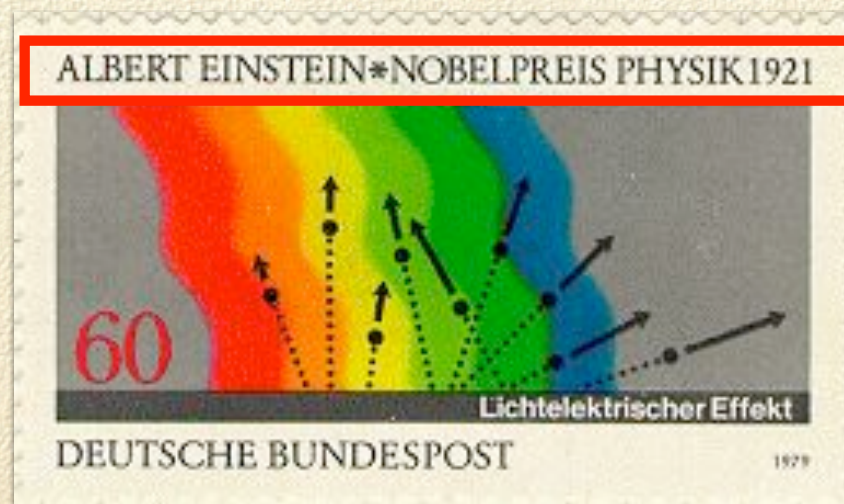


1905年
アインシュタイン

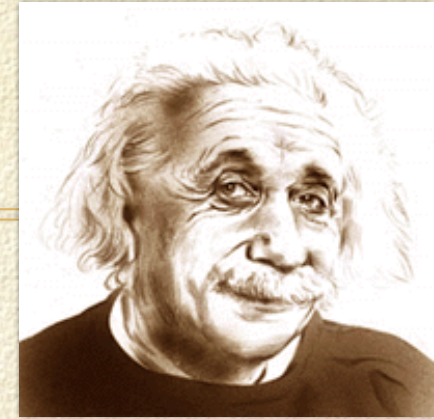


光量子仮説

振動数 ν (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

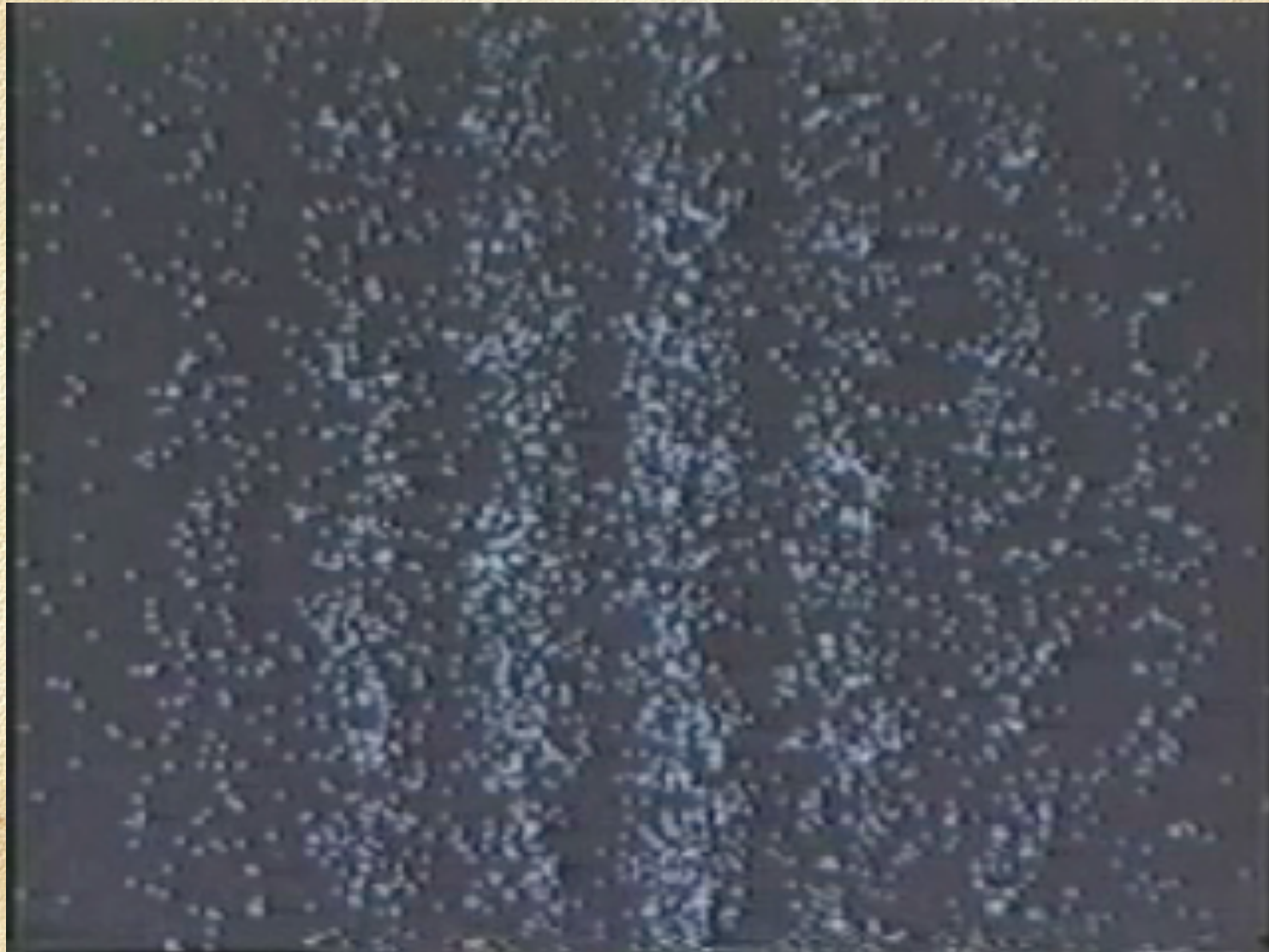


奇跡の年

- 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

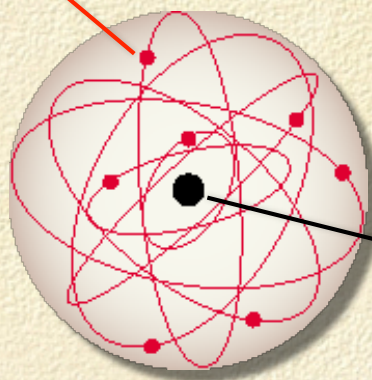


本日のメニュー

- 光とは何か
- レーザーの基礎

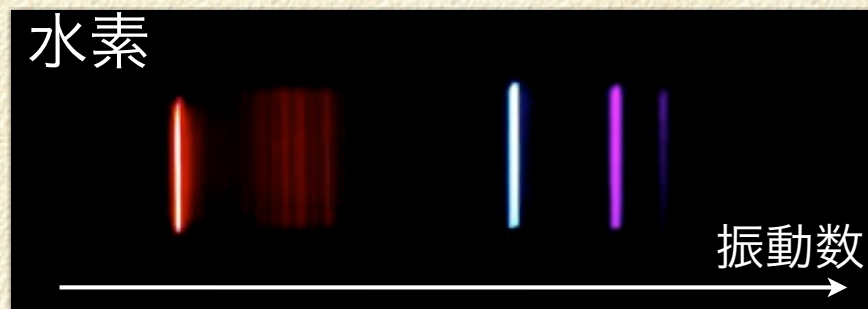
原子の出す光の波長（色）はとびとび（離散的）

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 $R = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

初期量子論

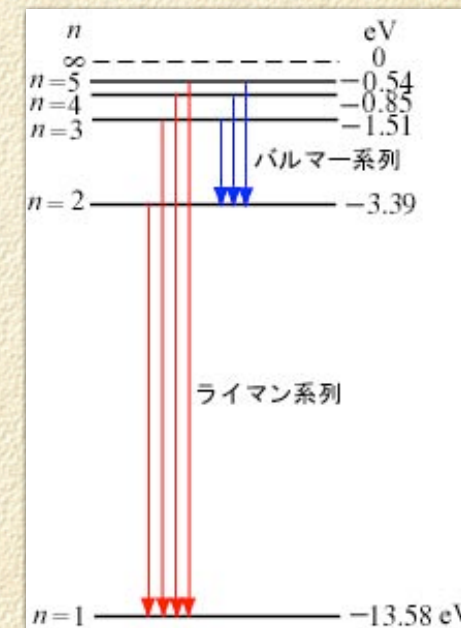
ボーア

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



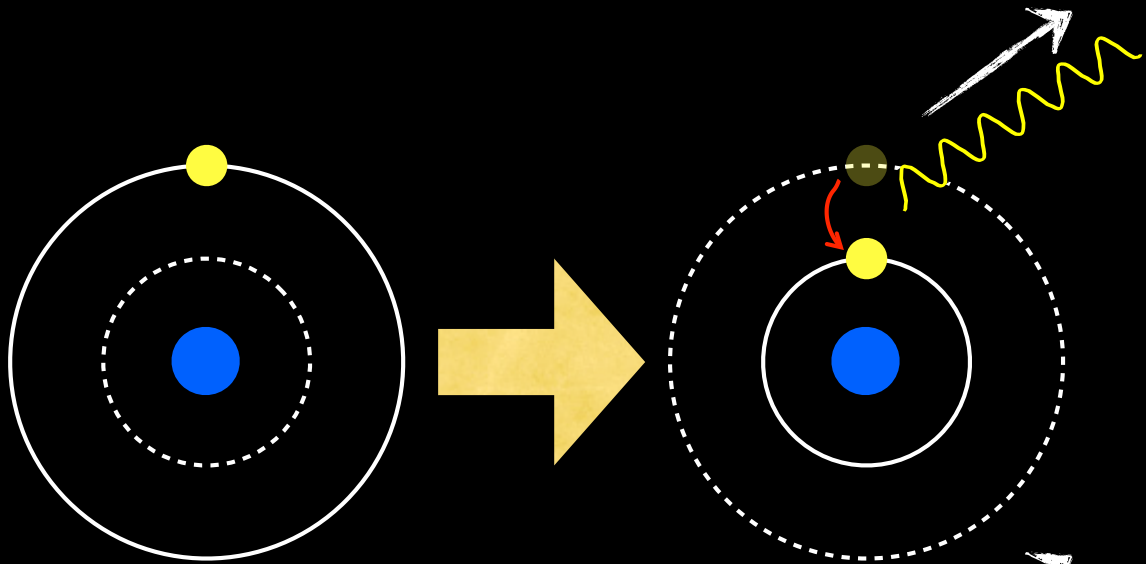
炎色反応



光の放出は2種類ある

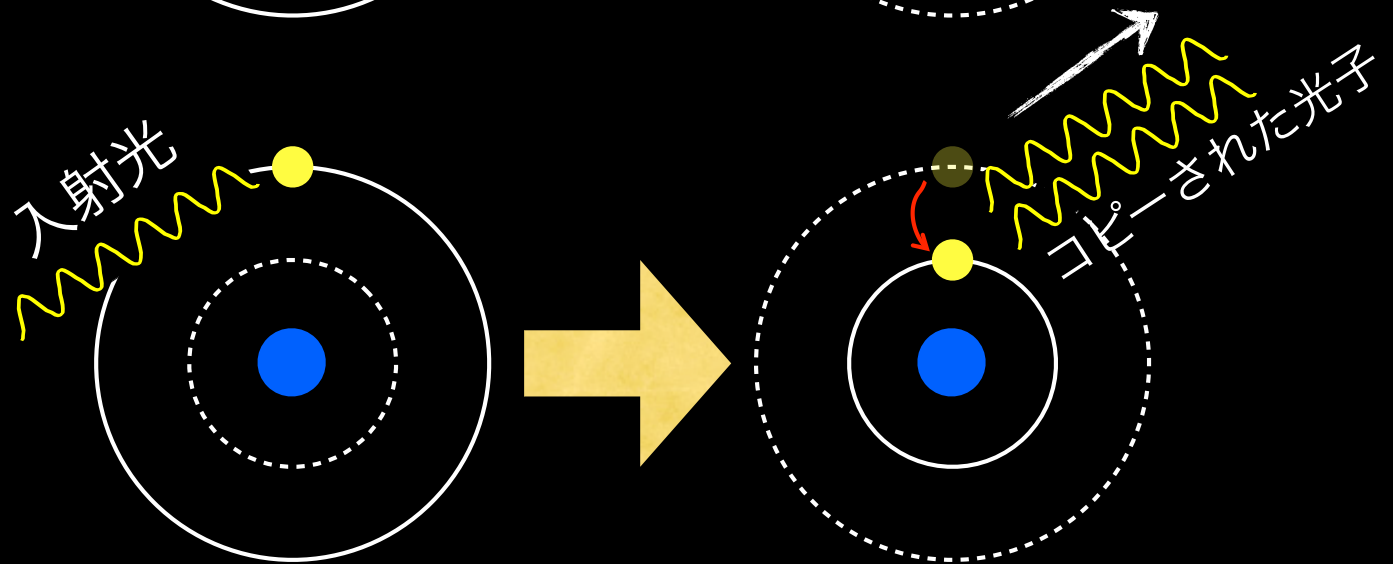
自然放出

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



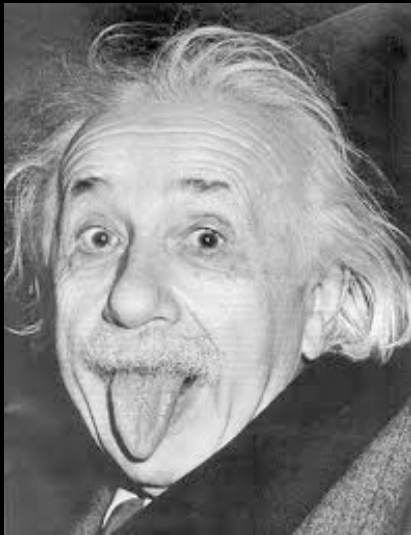
レーザー

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

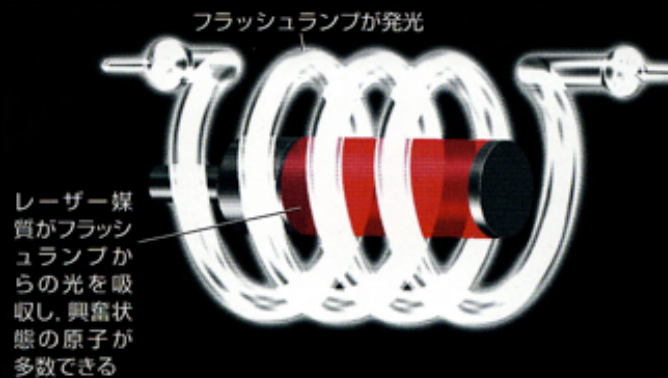
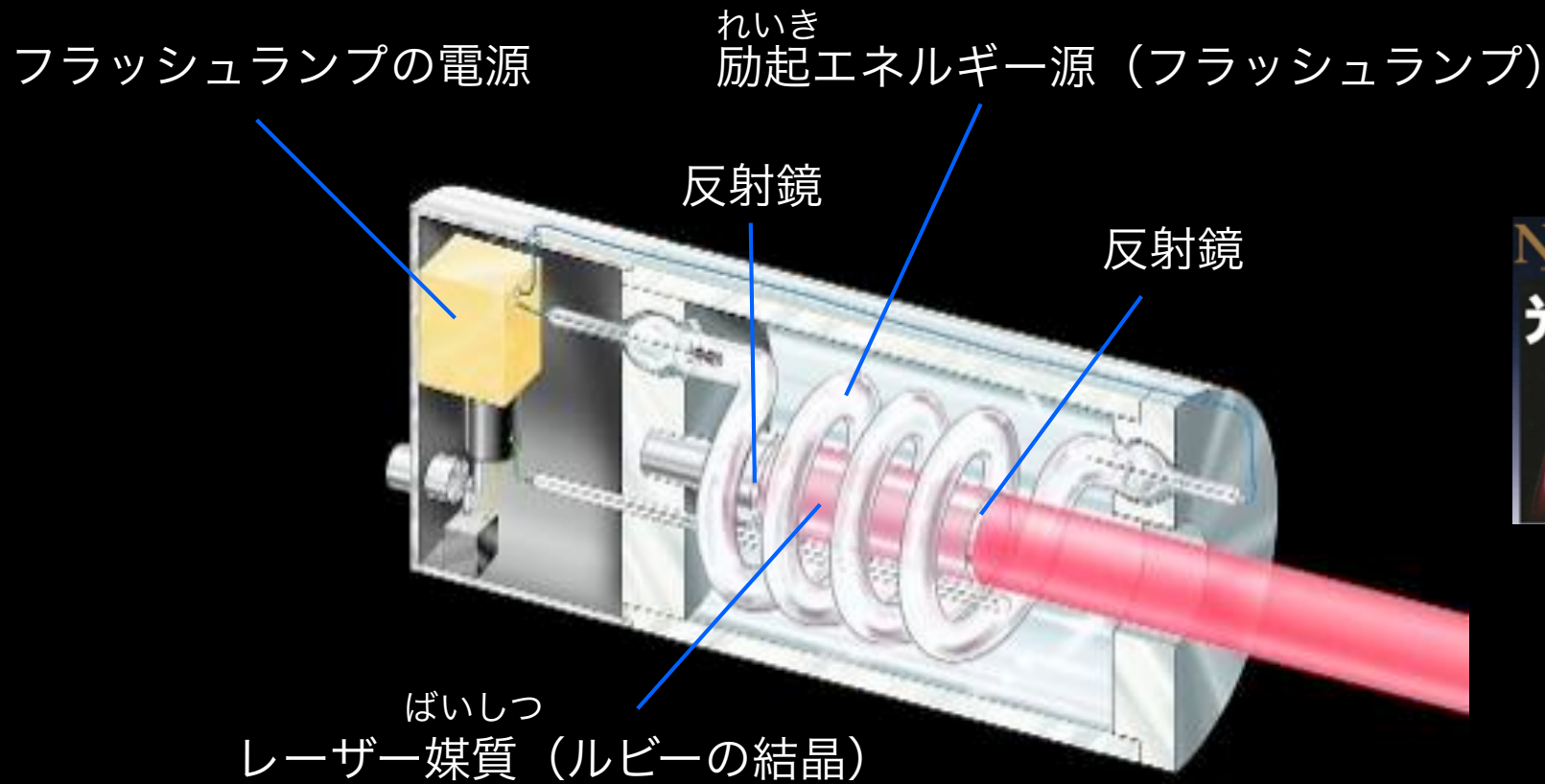


誘導放出を理論的に予言したのは

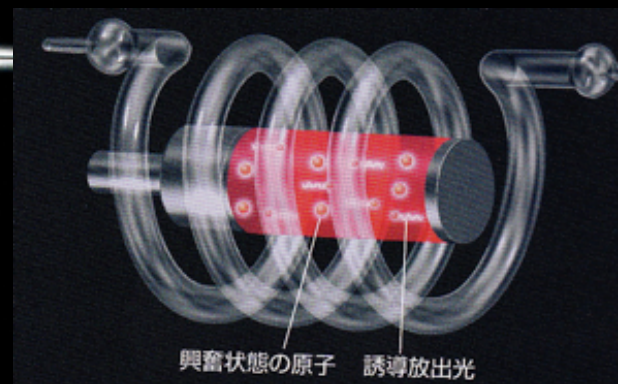
アインシュタイン

1916年

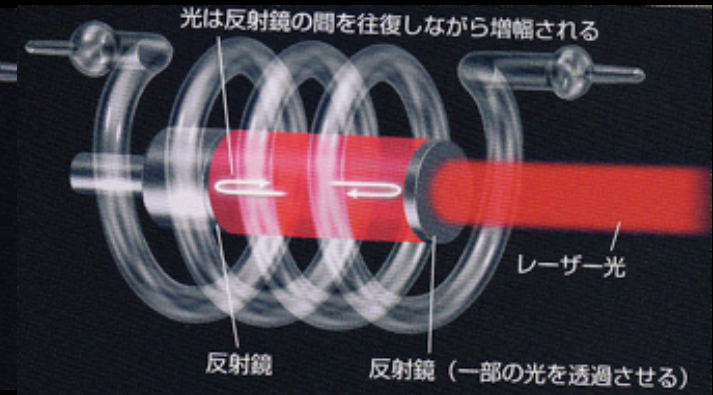
レーザーの基本的構造（ルビーレーザーを例に）



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…

工学部システム創成学科B 石川顕一
(光量子科学研究センター)

ウェブ <http://ishiken.free.fr>

メール ishiken@n.t.u-tokyo.ac.jp