

量子論

Quantum Theory

量子論

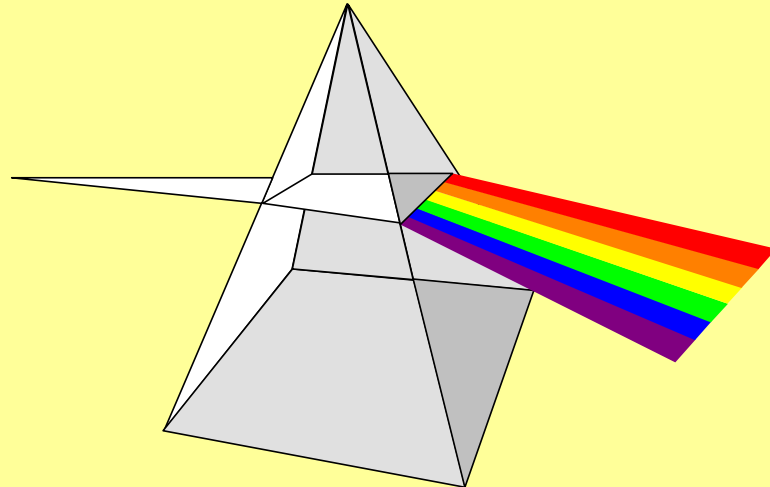
- 「存在」についての見方を変革
- 粒子は波動的性質を持つ
- 波動は粒子的性質を持つ
- 物理量の「量子化」(連続量 離散量)

応用面: 半導体、レーザー、超伝導、etc.

ハイテクの影に量子論あり

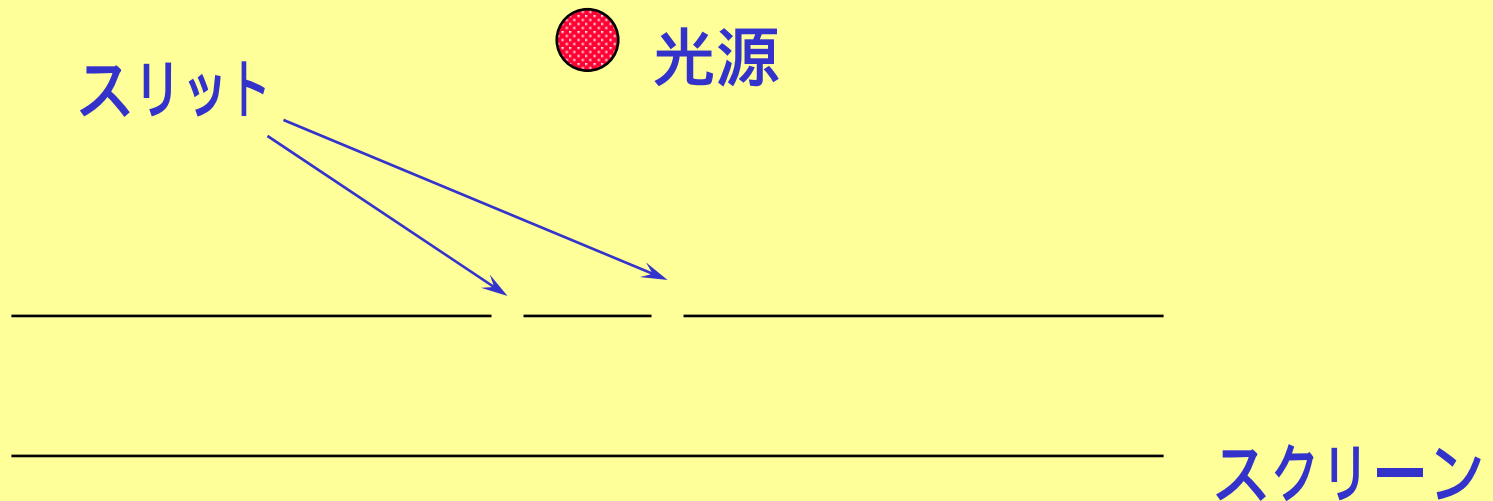
光の粒子説と波動説

光は粒子か波動か？
(古来からの大論争)



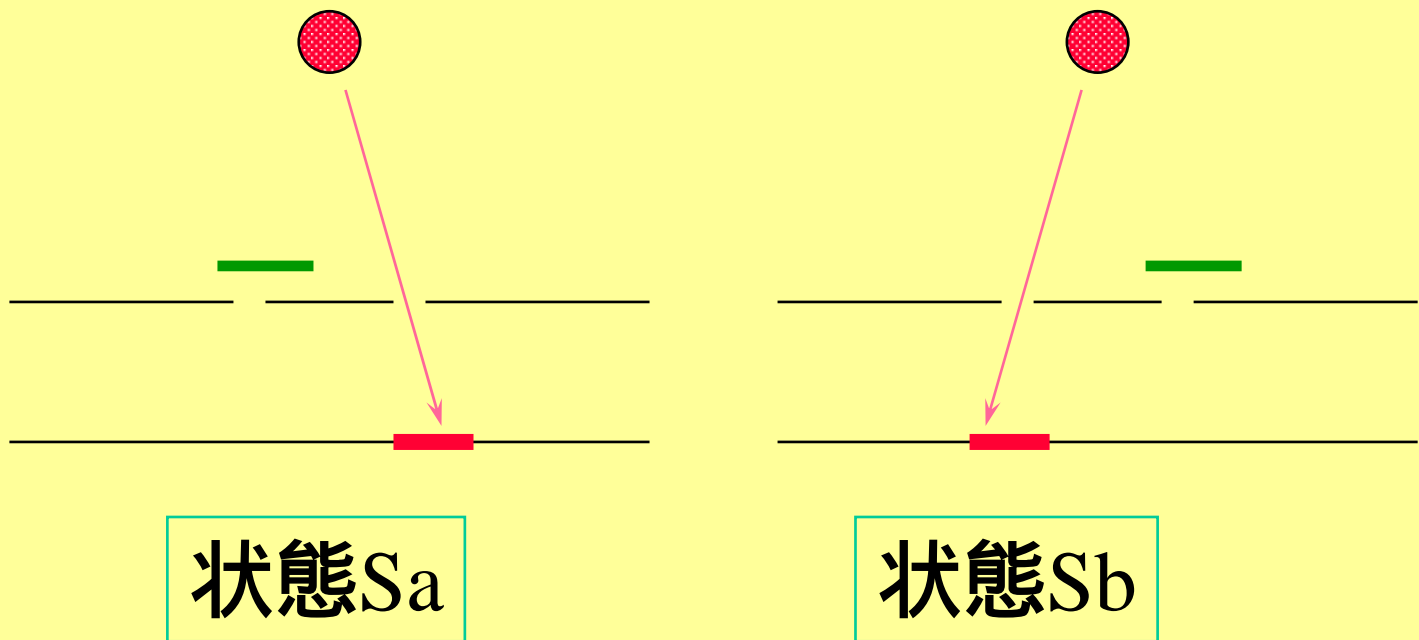
光の干渉

2つのスリットとスクリーンの組み合わせ



光の干渉

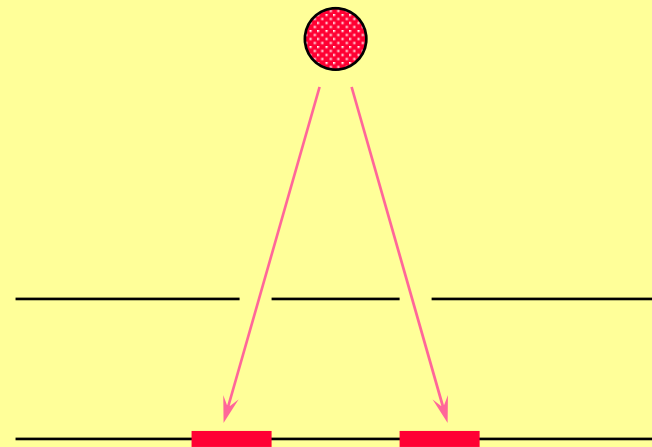
片方のスリットを閉じた場合



光の干渉

両方のスリットを開いた場合の
スクリーンの上のパターンは？

粒子説 $S = S_a + S_b$

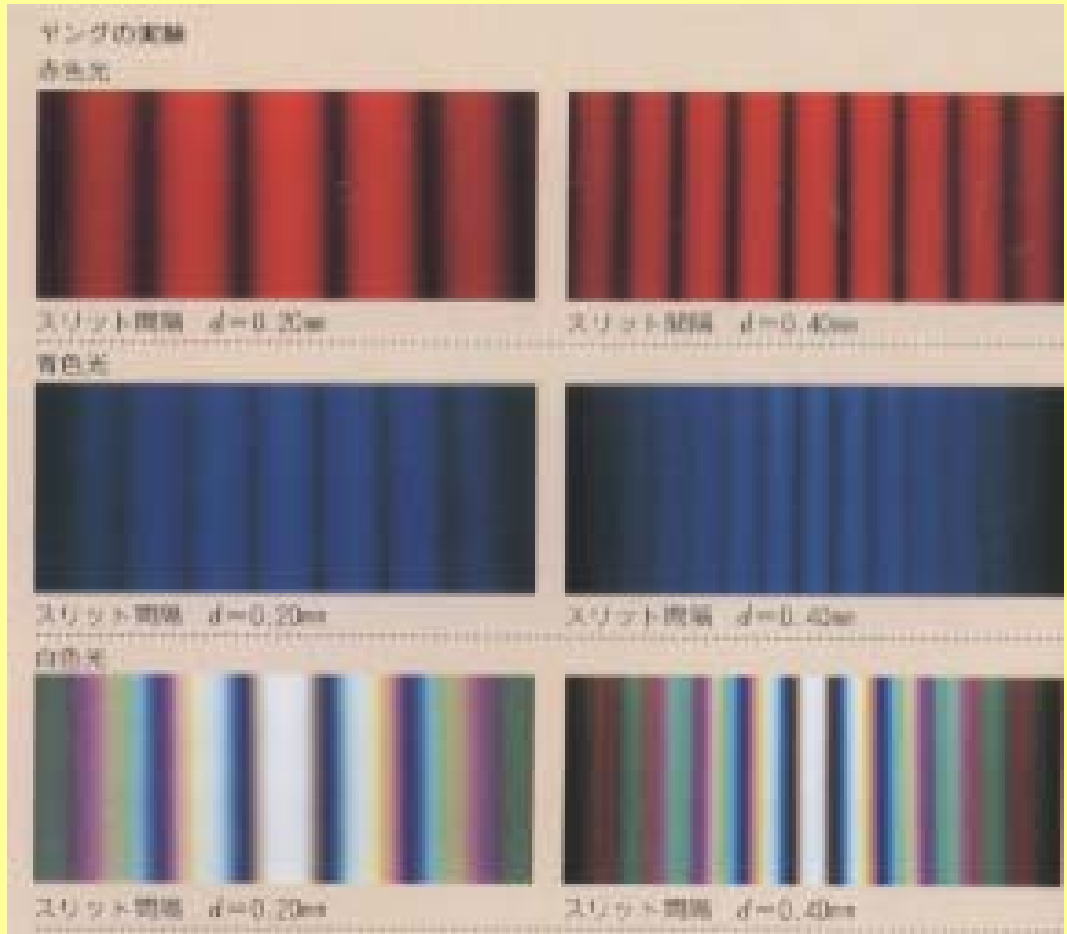


光の干渉

実験結果

スクリーン
には縞の
模様が現
れる

$$S \quad S_a + S_b$$



光の干渉

干渉

波動説(光 = 電磁波)と考えれば理解できる

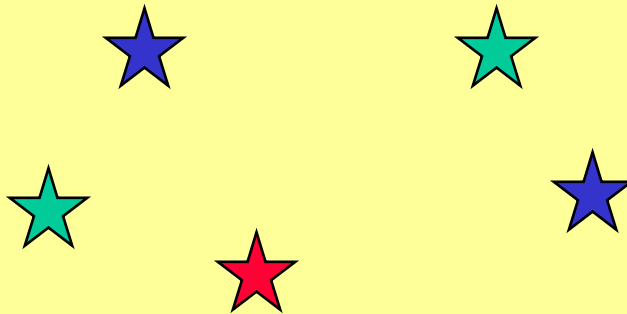
$F = \text{場}$

場のエネルギー = 場の自乗

$$F_a + F_b \Rightarrow$$

$$S_{ab} = |F_a + F_b|^2 \neq |F_a|^2 + |F_b|^2$$

星は見えるか



光を波動と考えると、
夜空の星を「見る」
ことができるか？

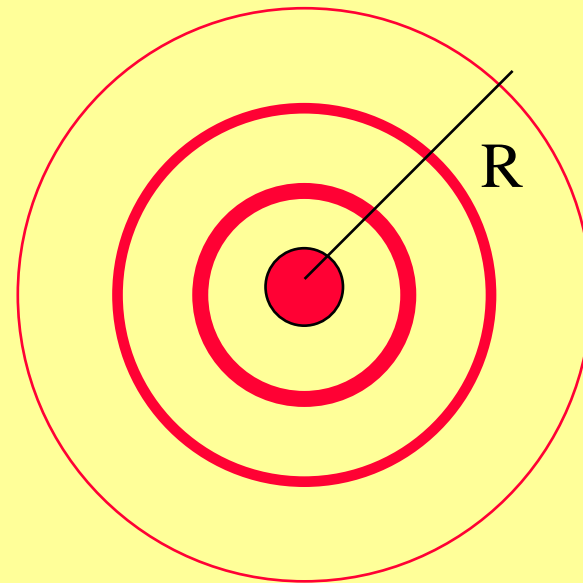
星は見えるか

仮定) 光が目の化学物質と反応し
それが視覚として認識される

この化学反応をおこす1分子あたりの
エネルギー ... 1eVの程度
分子の大きさ 10^{-10} mの程度

星は見えるか

波動と考えると
エネルギーは
波面に一様に
分布するはず



球面の面積
 $= 4 R^2$

これに強さは逆比例

星は見えるか

太陽定数 (地球の位置で単位面積単位時間あたりに入射する太陽からのエネルギー)

$$J = 1.36 \times 10^3 [\text{W} / \text{m}^2]$$

太陽が4.3光年離れたところにあると

$$J' = J \frac{(1 \text{天文単位})^2}{(4.3 \text{光年})^2} = 1.8 \times 10^{-8} [\text{W} / \text{m}^2]$$

星は見えるか

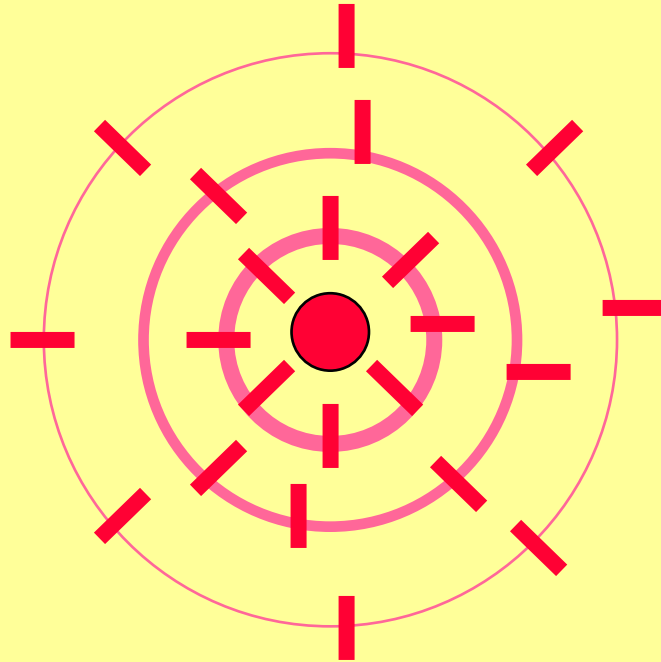
すると、星が目に見えるまでの必要な時間は、

$$\frac{1[\text{eV}]}{J' \cdot \left(10^{-10}[\text{m}]\right)^2} \approx 10^7 [\text{s}]$$

星が見えるまで数ヶ月かかる？！

星は見えるか

粒子と考えると
エネルギーは
多数の「光の
弾丸」が持つ



星は見えるか

星から出る光の弾丸の個数

$$\frac{J}{1[\text{eV}]} \approx 10^{11} [\text{個} / \text{m}^2 \cdot \text{s}]$$

目に入射する弾丸の個数

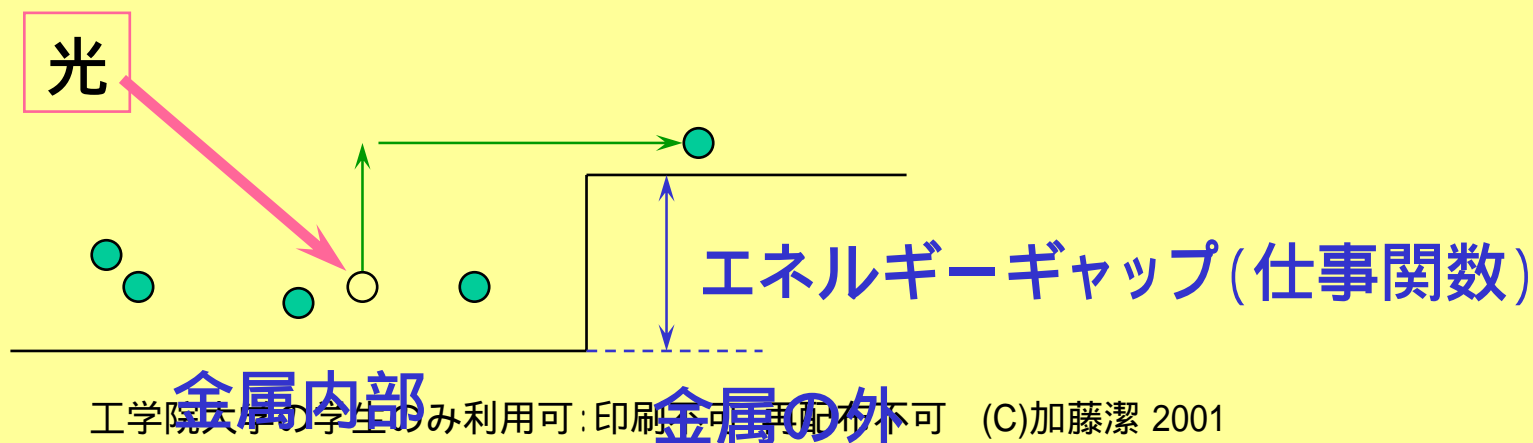
$$10^5 [\text{個} / \text{s}]$$

これなら十分星が見えるであろう

光電効果

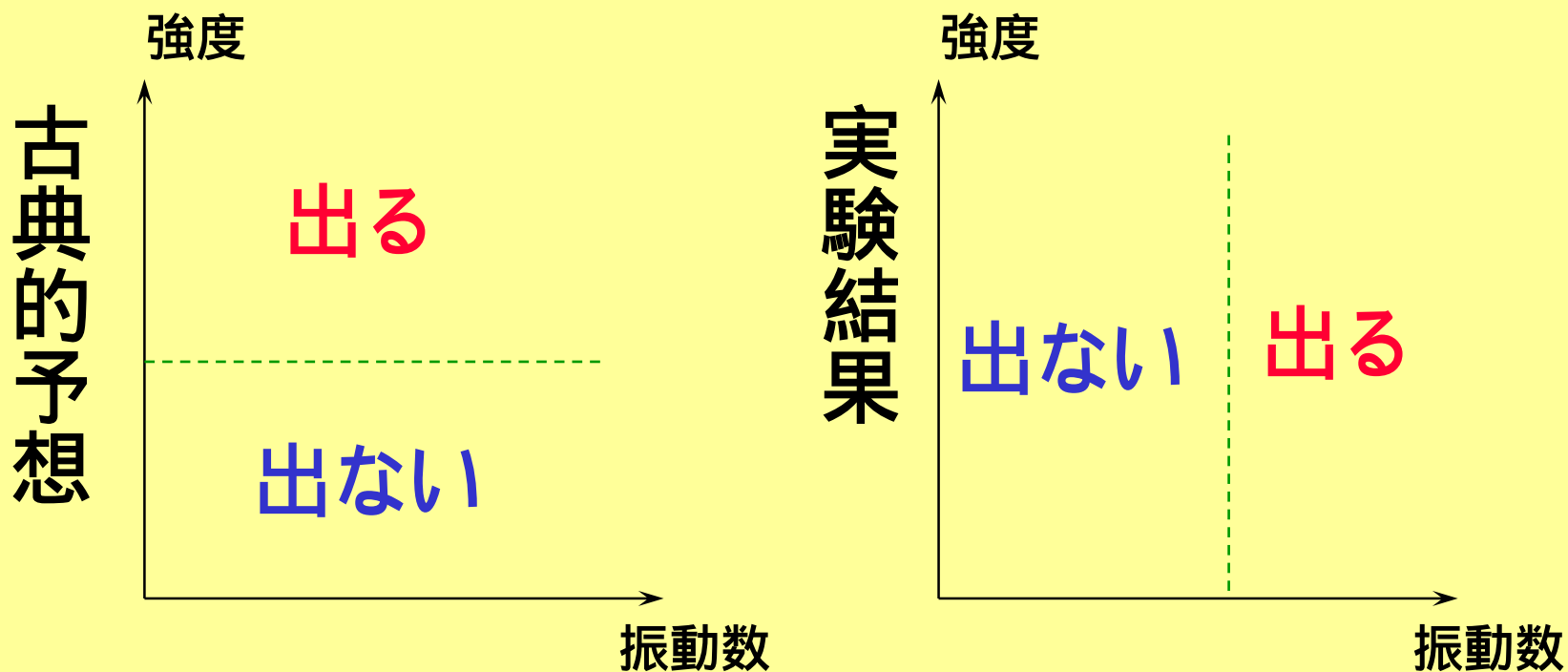
光を金属にあてると電子が飛び出す現象
(応用) 光電管

解釈: 電子が光のエネルギーをもらって
外へ飛び出す



光電効果

実験：光の強さや色（振動数）をいろいろ
変えて応答を見る



光電効果

アインシュタイン
光量子説 (1905)

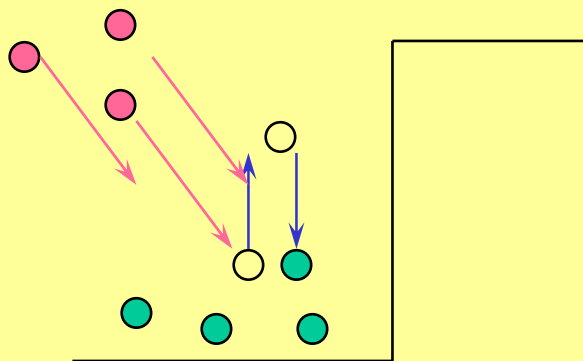
- 光はエネルギーの粒として電子と作用
- 光の粒のエネルギー 振動数に比例

(注意) 「振動数」は波動に固有の概念

光電効果

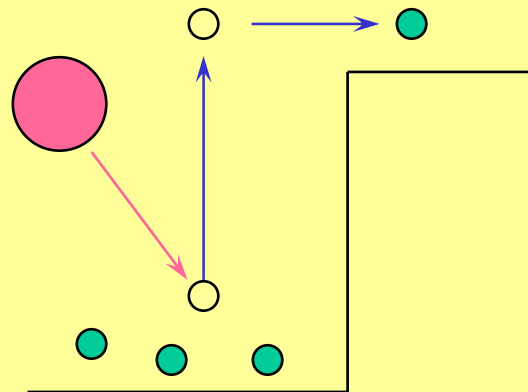
光電効果は光量子説で理解できる

光の粒



振動数：小

光の粒



振動数：大

光子 (photon)

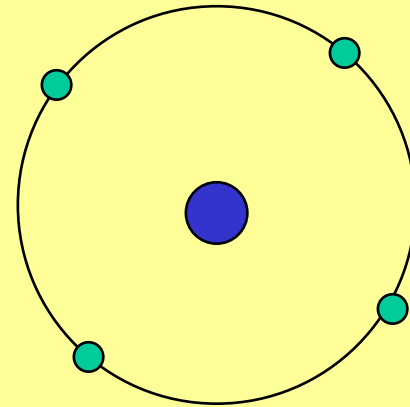
光の粒のエネルギーと振動数 の関係
実験結果

$$E = h \nu$$

プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$

原子のスペクトル

原子
原子核 + 電子
電気力で結合した構造

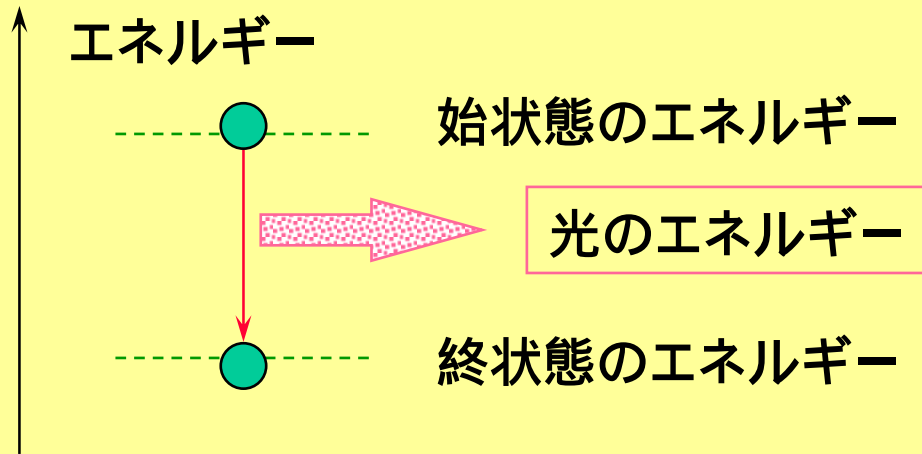


Newton力学で考えると不安定！

われわれが存在できるのは量子性のおかげ

原子のスペクトル

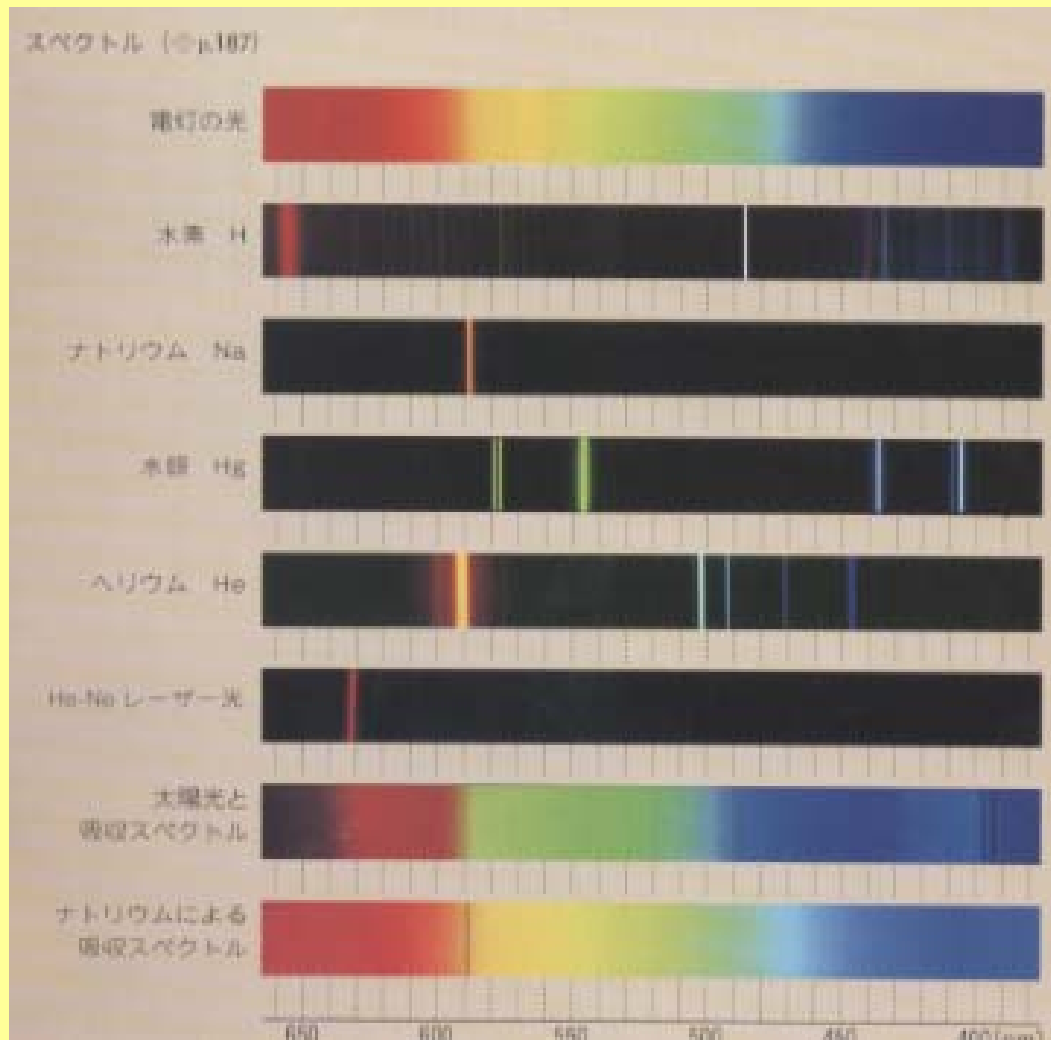
原子から出てくる光
色 振動数 光のエネルギー



スペクトル線の研究

原子の内部構造を探る鍵となる

原子のスペクトル



線スペクトル
原子の
内部のエネルギーは
とびとび?

原子のスペクトル

水素原子に関する実験データ
次のような式でまとめられる

$$\frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda} = R_y \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

n_1, n_2 は整数

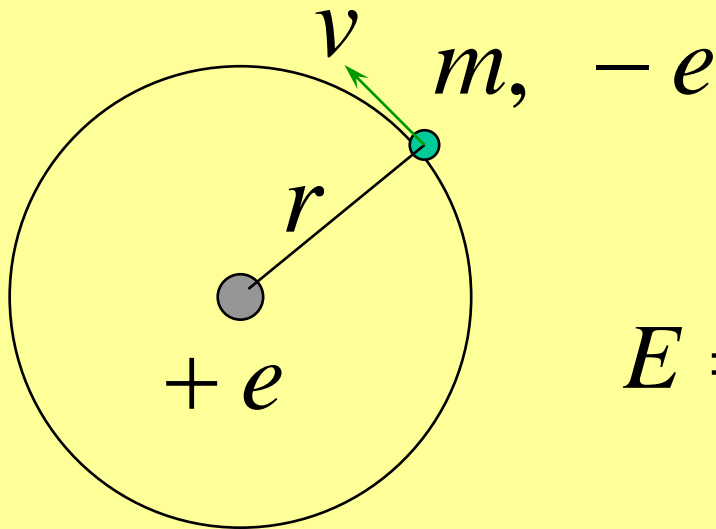
$$R_y = 1.10 \times 10^7 [\text{m}^{-1}]$$

バルマー
可視光
パッシェン
赤外部
ライマン
紫外部

この「規則」の
意味は何か？

原子のスペクトル

水素原子: Newton力学



原子核は不動とし
電子のエネルギー
を計算する

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - k\frac{e^2}{r}$$

等速円運動

任意のエネルギー

$$E = -k\frac{e^2}{2r}$$

原子のスペクトル

ボーアの量子化条件

$$2\pi r = n \frac{h}{mv} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

この条件から

$$E = -\frac{2\pi^2 m k^2 e^4}{h^2} \frac{1}{n^2}$$

**この結果、スペクトル線のデータが
リュードベリ定数の値も含めて説明できる！**

原子のスペクトル

ボーアの条件は、実験データを理論的に説明することに成功した。

しかし、そのために、勝手な軌道は許されず、「とびとびの」軌道、従って、「とびとびの」エネルギーのみが許されるというNewton力学では理解できない状況が現れた。

量子性という新しい概念

物質波

光 : 波動 粒子的振る舞い
ならば
粒子 波動的振る舞い ?

ド・ブロイ 物質波の概念

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

この考え方はボーアの条件を
軌道上の定在波条件として説明する

物質波

物質波 直接検証

電子ビームのような粒子ビームが
干渉現象を起こす

まとめ

量子論の結論

存在するもの = 粒子性と波動性の
2つの側面を持つ
エネルギーなども離散的になる

$$h \rightarrow 0$$

量子論

古典論

(日常の世界)