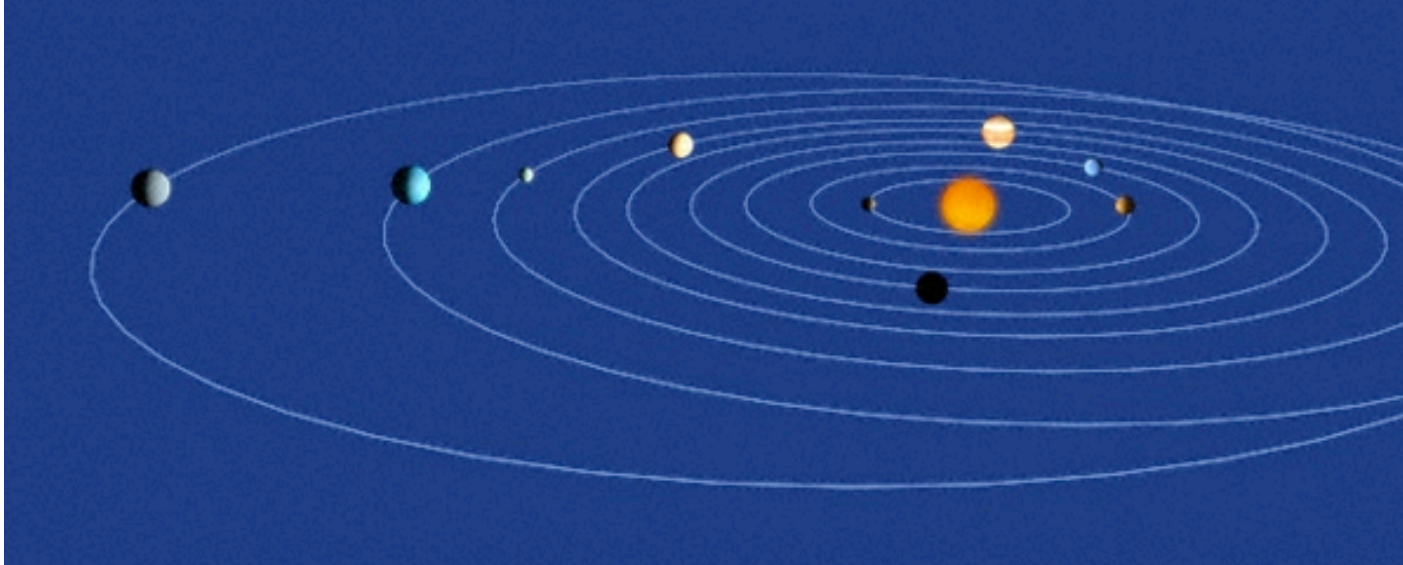


今日の目標

- 原子の内部構造
- 電子の軌道



太陽系

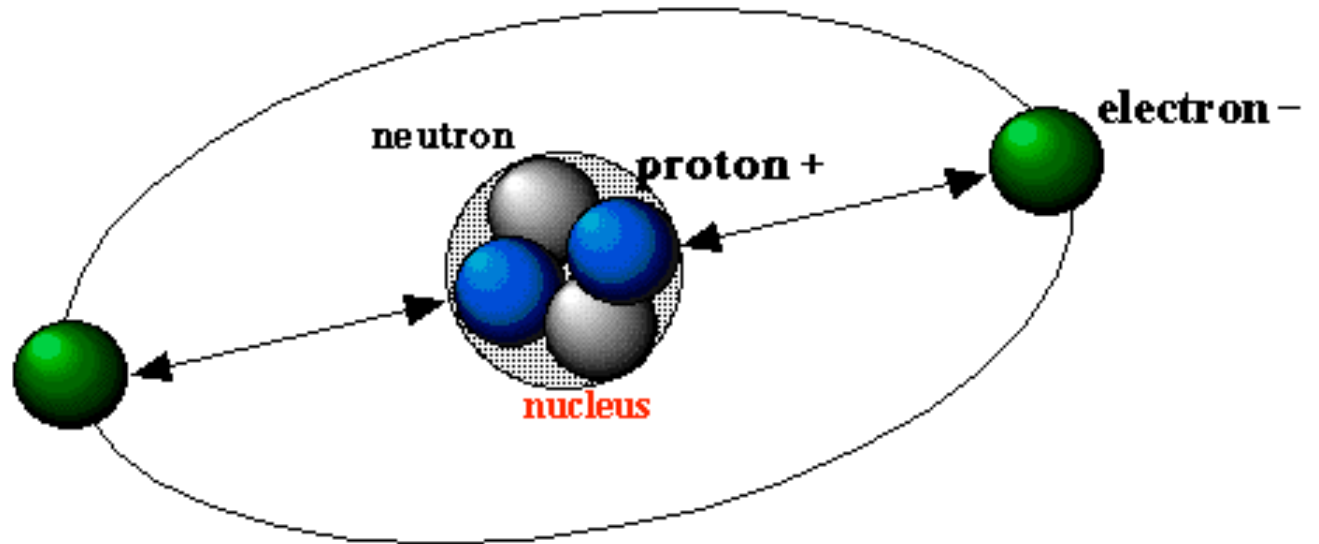
重力相互作用

$$F = -G \frac{Mm}{r^2}$$

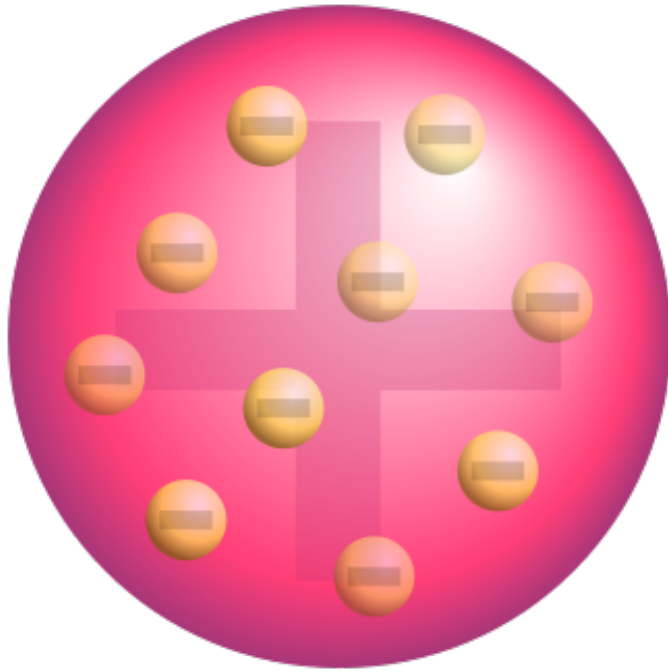
原子

静電相互作用

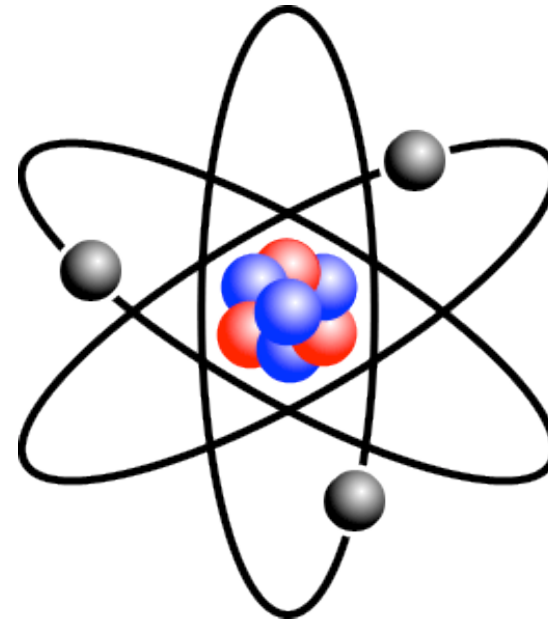
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



初期の原子モデル



Plum Pudding Model
by J.J.Thomson (1897)



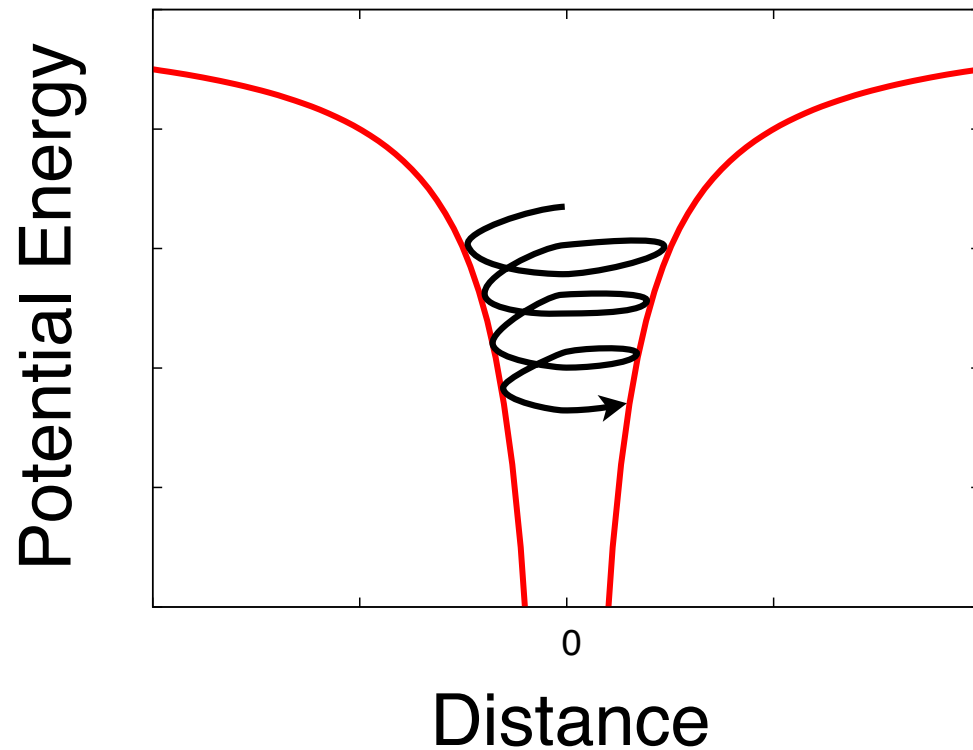
土星モデル
by 長岡半太郎 (1904)

電子の軌道

http://www.youtube.com/watch?v=JK3_A6nWZfY



問題点

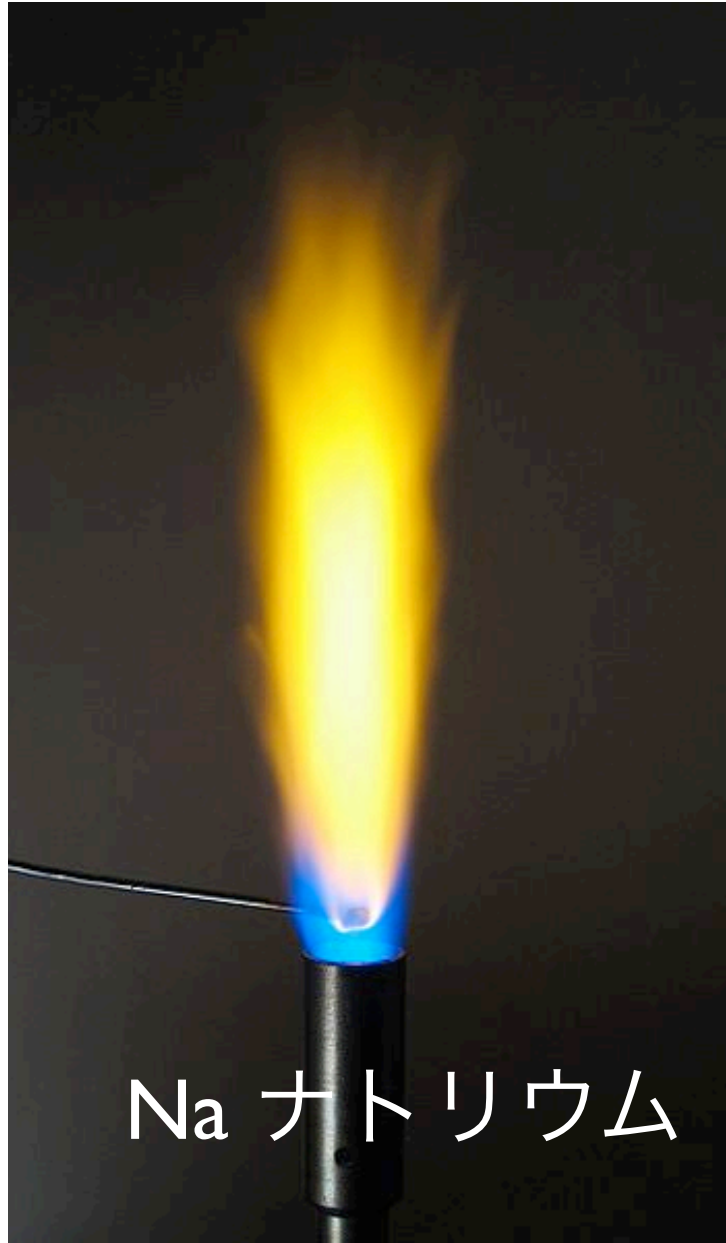


電子の軌道をを曲げると
光を放射してエネルギーを
失う

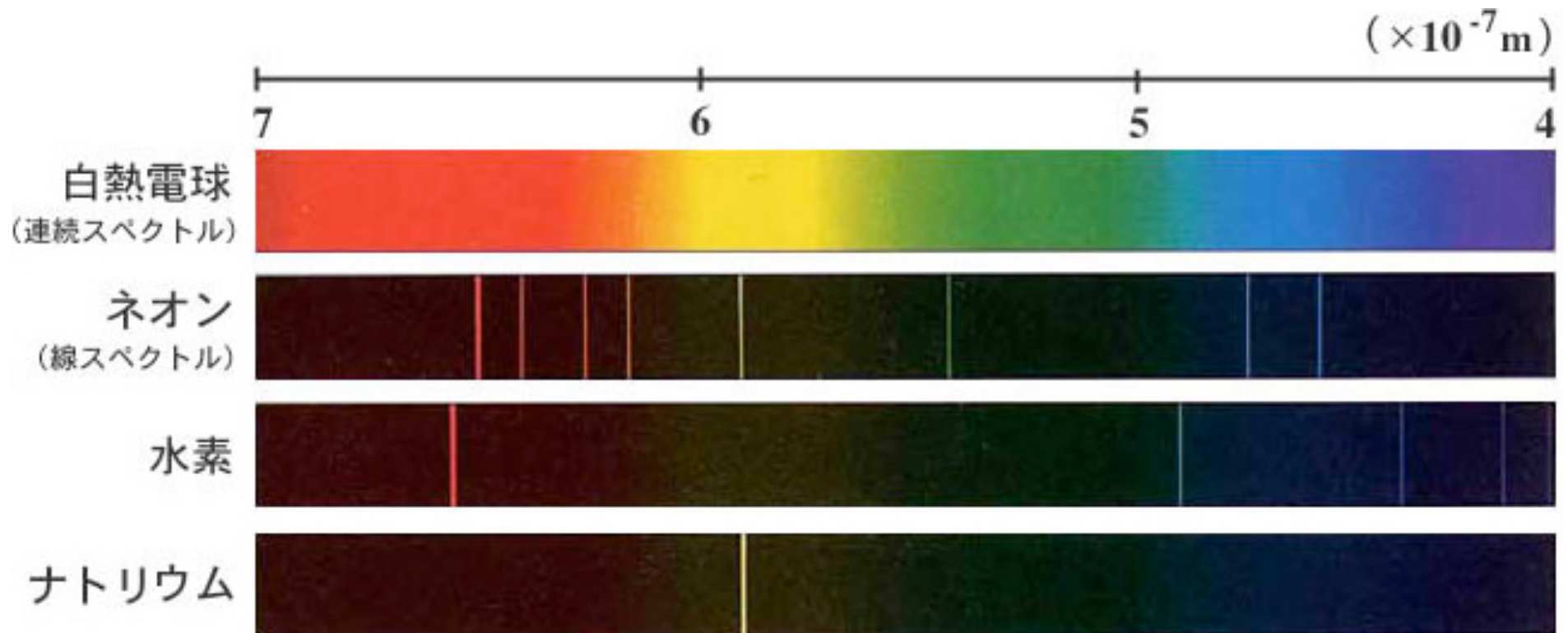


電子は光を放射しながら、
またたく間に核に
落ちこんでいくはず

原子の発する光



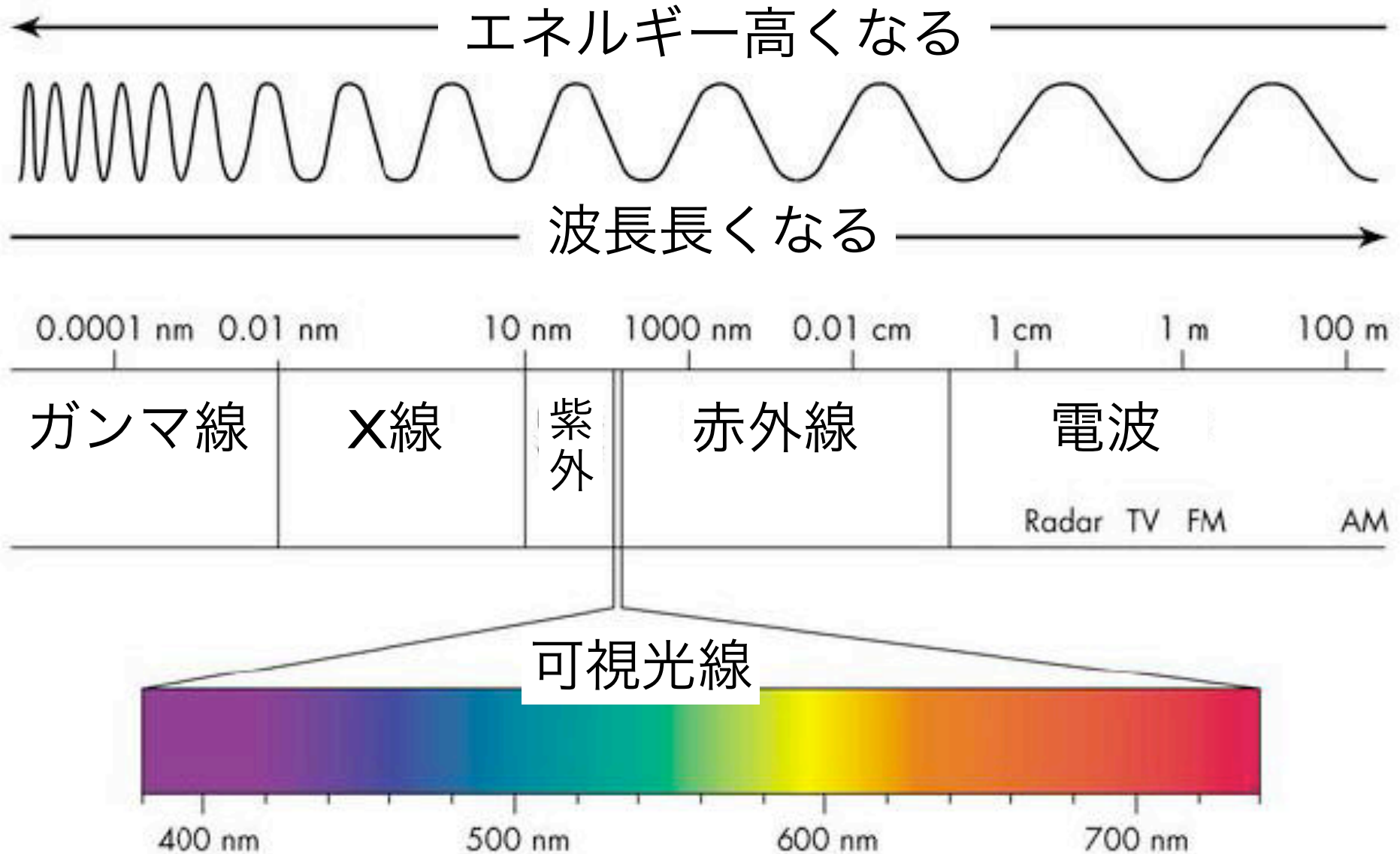
- 原子の放つ光をプリズムで分ける
- “スペクトル” 元素によって全く異なる
- 蛍光灯を分光すると？

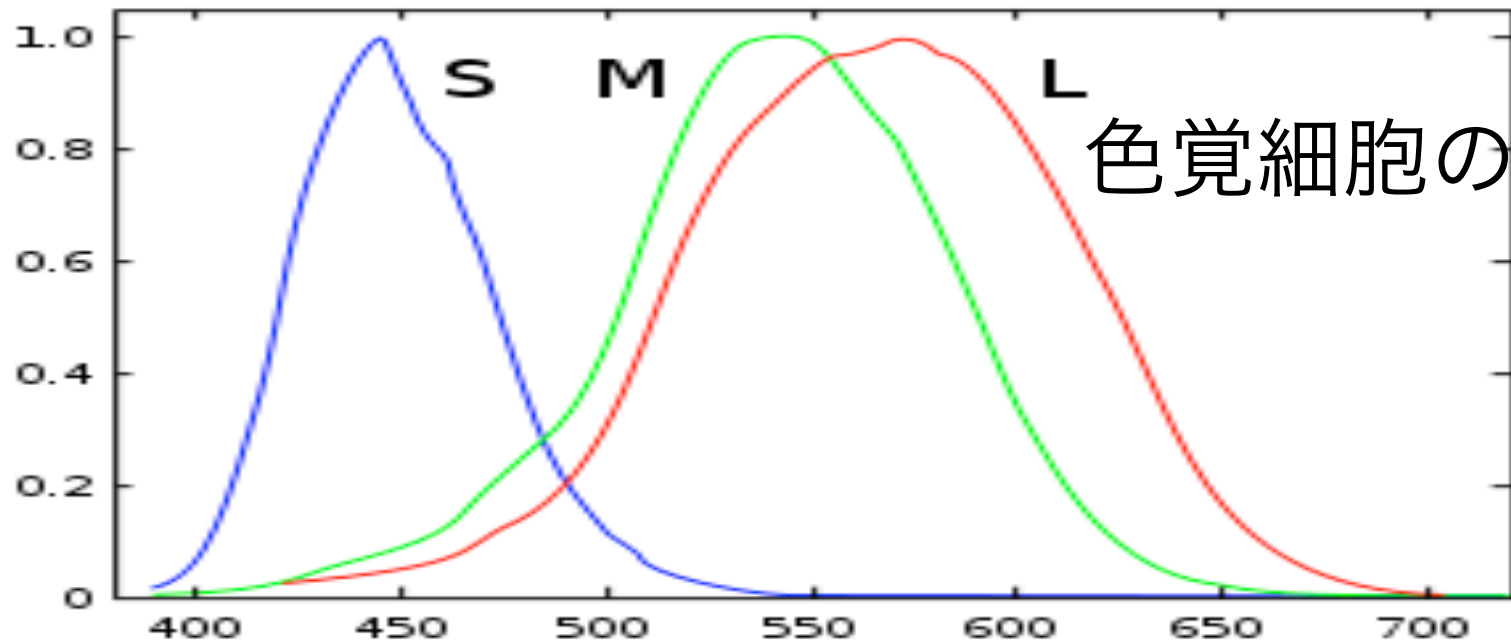
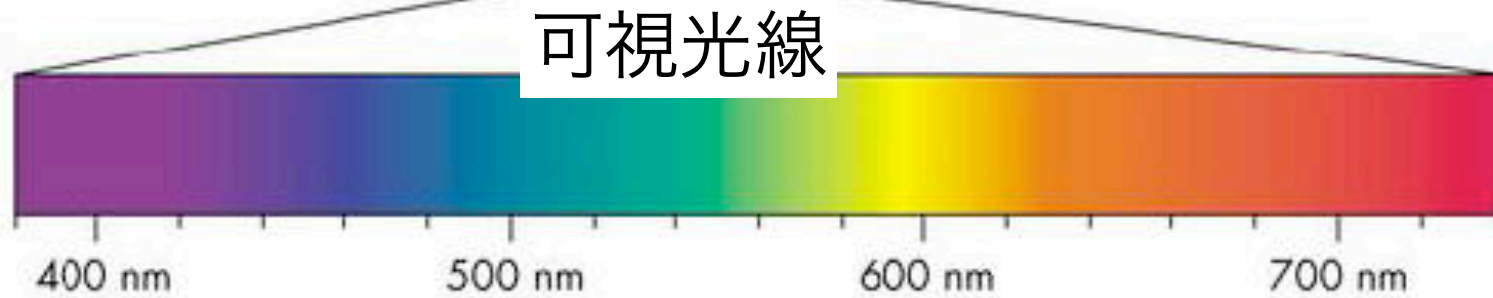
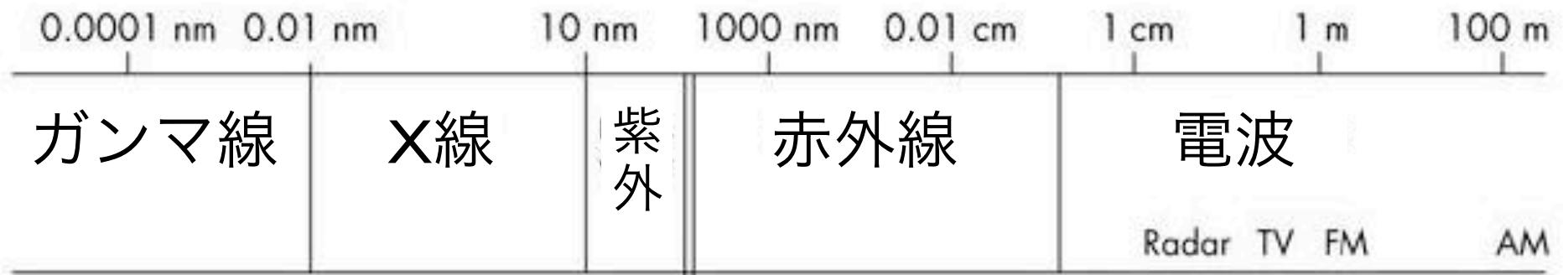


光とは？

波長と色

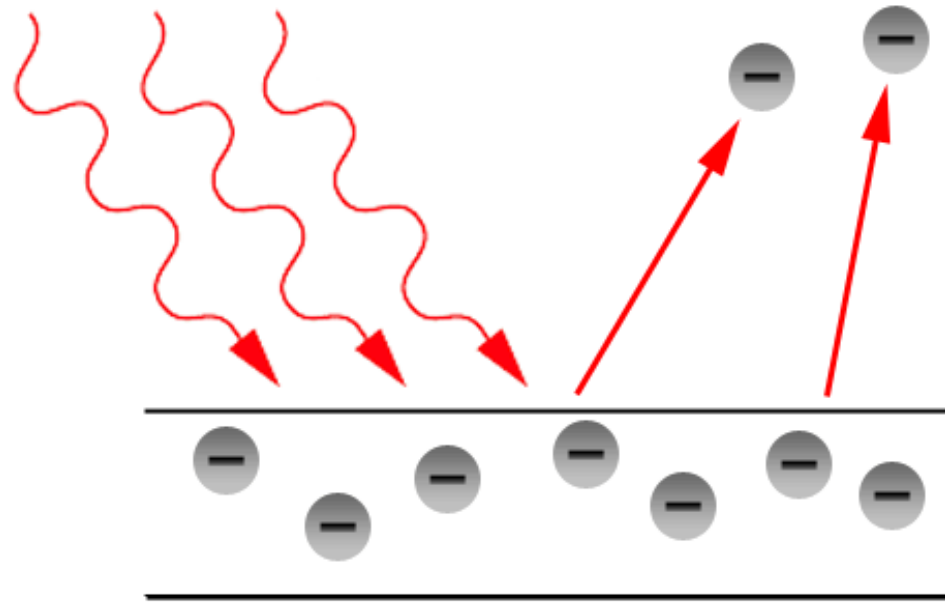
<http://rcscience.com>





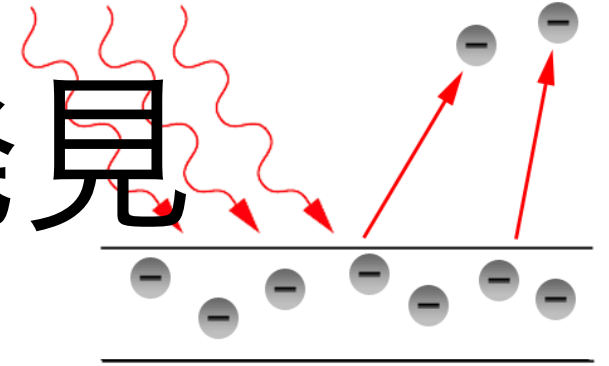
色覚細胞の感度曲線

光の性質



- 光電効果 (ハルヴァックス、1888)
金属に光を当てると電子が飛びだす。

光電効果の発見



- 飛び出してくる電子の数は、光の強さに比例する。
- 波長がある値よりも長い光では、どんなに強い光でも電子は飛びださない。
- 波長がある値よりも短いと、どんなに弱い光でも、電子が飛びだす。

光量子仮説

- 光は波でもあり粒子でもある(二重性)
- 速度は一定 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- 光子が多いほど(明るいほど)
光束のエネルギーは大きい。
- 光子の波長が短いほど(振動が速いほど)
光子1個の運動エネルギーは大きい。

波長の長い(振動数の少ない)光子



波長の短い(振動数の多い)光子



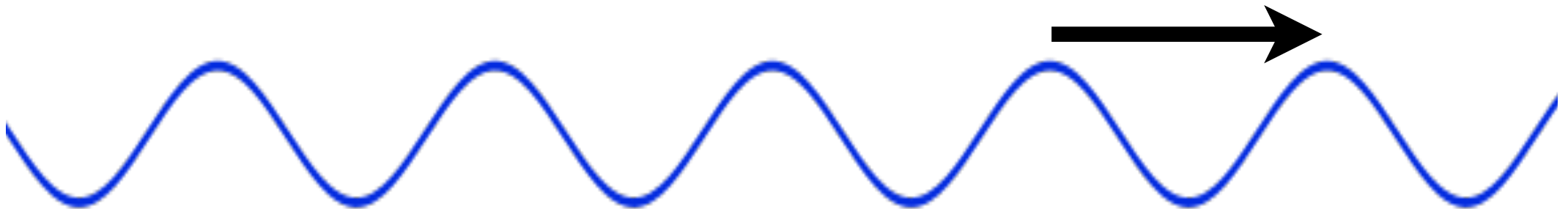
速度はどちらも c

振動数と波長

- 振動数 ν ニュー – 波が1秒間に振動する回数
- 波長 λ ラムダ 波の山から山の距離
- 振動数と波長の関係式

$$\lambda \nu = c \text{ (速度)}$$

$1/\nu$ 秒の間に λ だけ進む



光子

- 光は波であり、粒子である
“光の二重性”
- 光の運動エネルギー $E = h \nu$
hはプランク定数 $7 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

「粒子の二重性」

- de Broglieの主張 (1924)

「すべての粒子は波をともしなう」

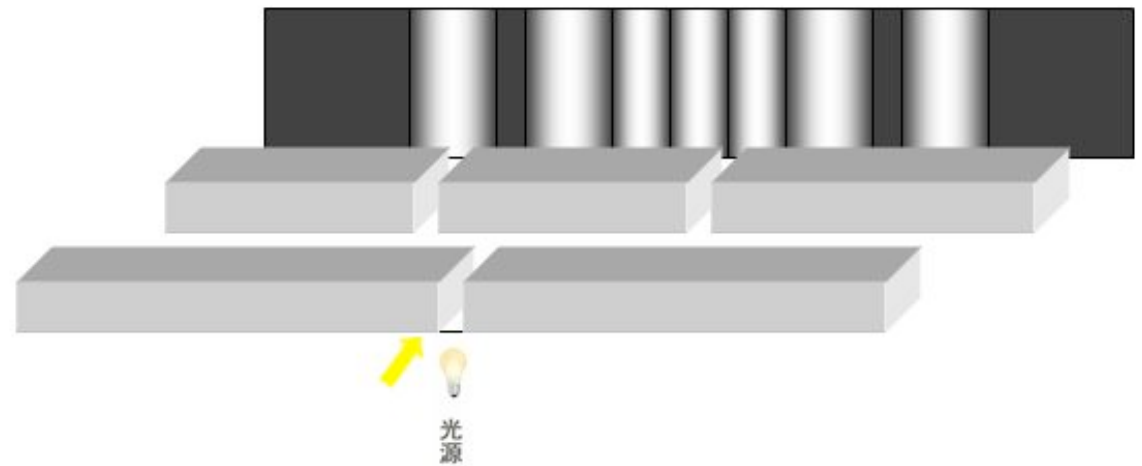
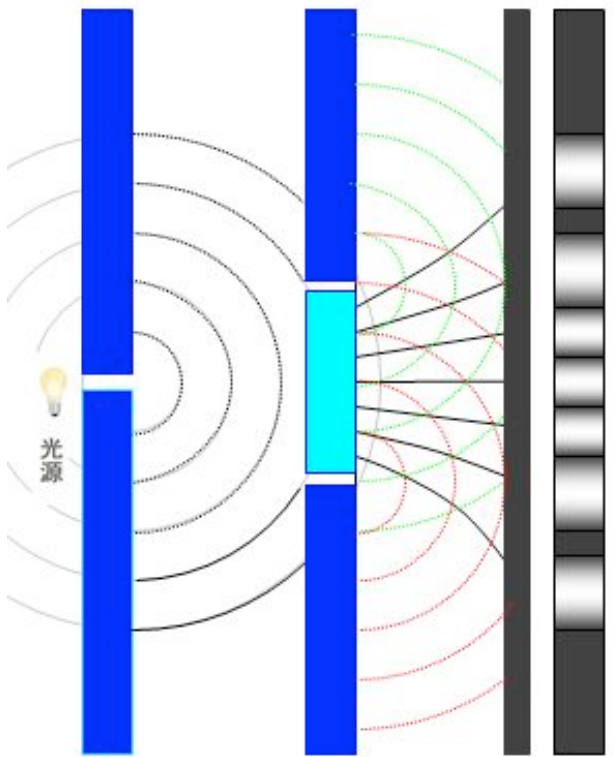
あるいは

「すべての粒子は波とみなせる」

電子もまた、波

電子線回折実験

GPトムソン (1937)



http://blogs.yahoo.co.jp/cat_falcon/5198714.html

物質波

- 電子も光子も、de Broglieの関係式がなりたつ

$$m v = p = h / \lambda$$

vは粒子速度、mは質量、pは運動量

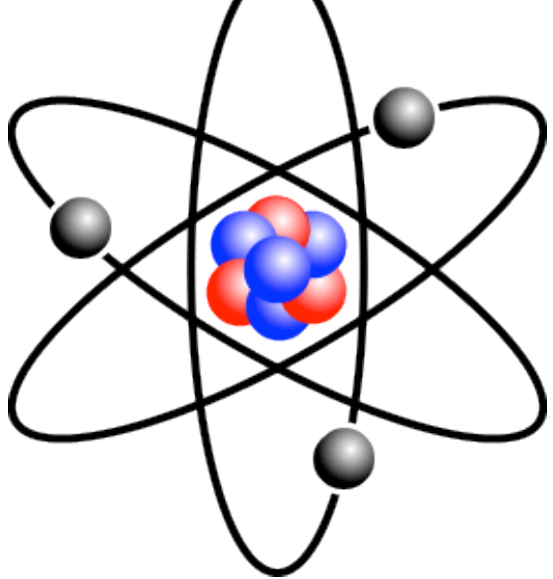
- mが大きくなると波長 λ が小さくなる。

練習問題

- 質量7 kg (16pound)のボーリング球が、
時速18 kmで走る時の物質波の波長 λ
- 10000 Vの電位差で加速された電子の速度は $6 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ である。電子の質量を $9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ として、電子の波長 λ
- $m v = p = h / \lambda$
 v は粒子速度(m/s)、 m は質量(kg)、
 h はプランク定数 $7 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

まとめI

- 原子の発する光は不連続スペクトル
- 光の二重性
- 電子も波の性質をもつ



原子の構造

- 電子はどこにあって、どう動いている？
- 電子は波？ 粒子？
- 電子は核の電荷に引きよせられる。

電子の「軌道」

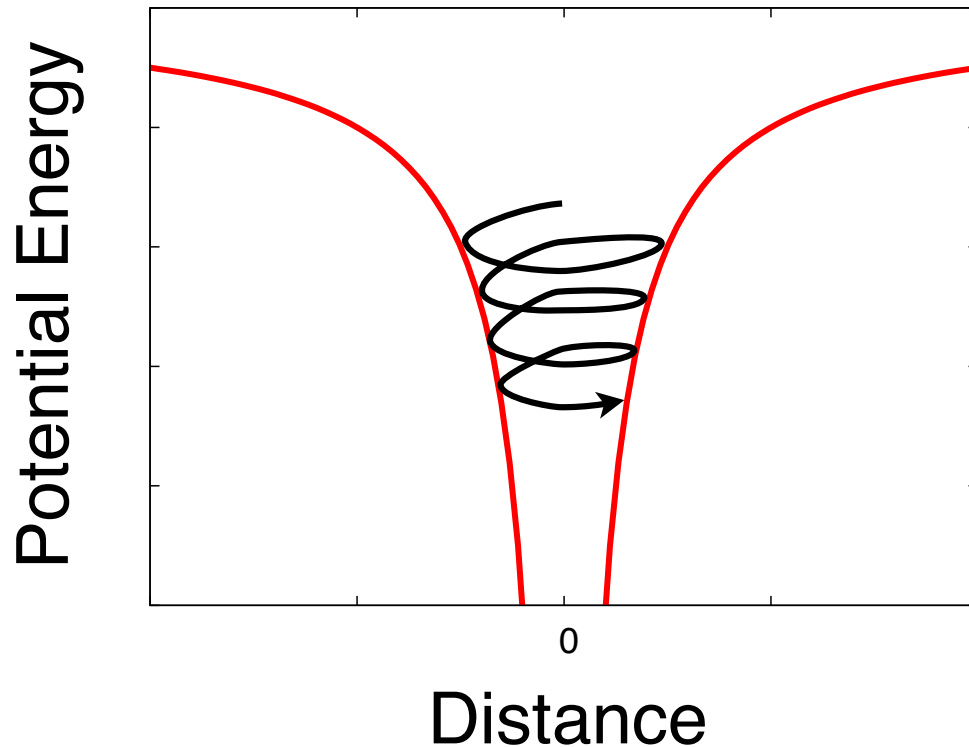
- 電子は核の周囲に、クーロン力で捉えられている。
- 共鳴条件 (波としての性質)

電子の軌道

http://www.youtube.com/watch?v=JK3_A6nWZfY



- クーロン場にとらえられた電子
- 太陽の重力場にとらえられた地球
- 放物面にとらえられた硬貨



$$U = \frac{A}{r}$$

ポテンシャル
エネルギー

距離

電子 = 波

- 進行波と**定在波**
 - 弦の振動、管楽器、etc.
 - 定在波の波長



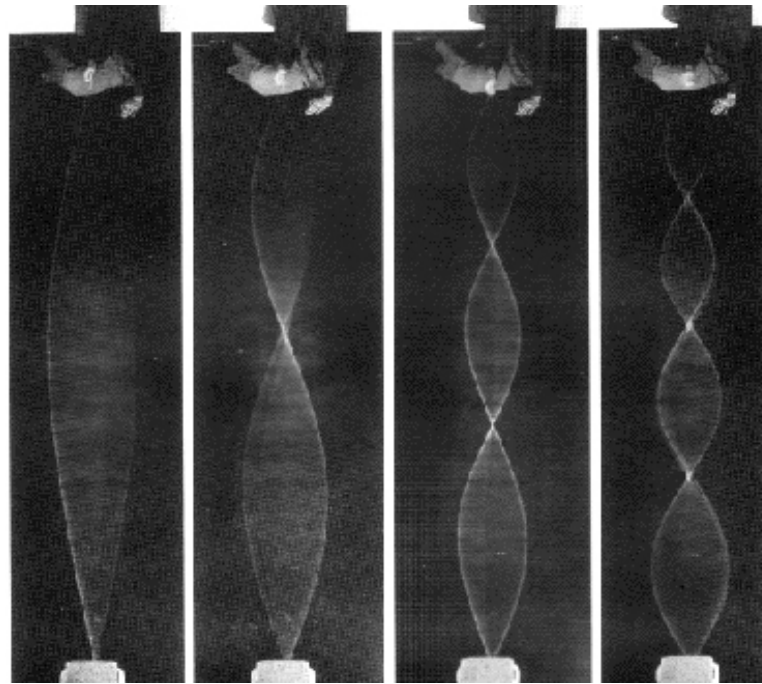
“腹”

“節”

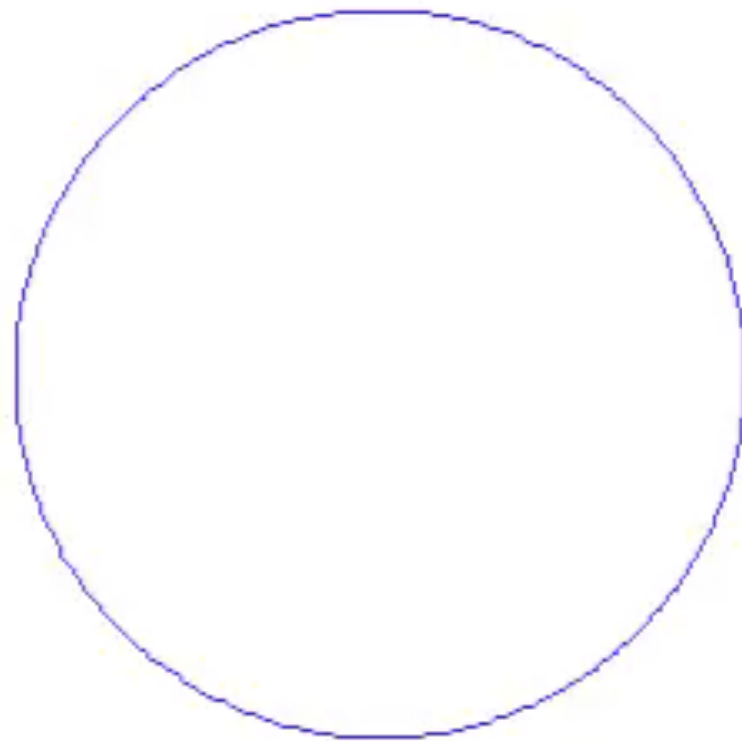
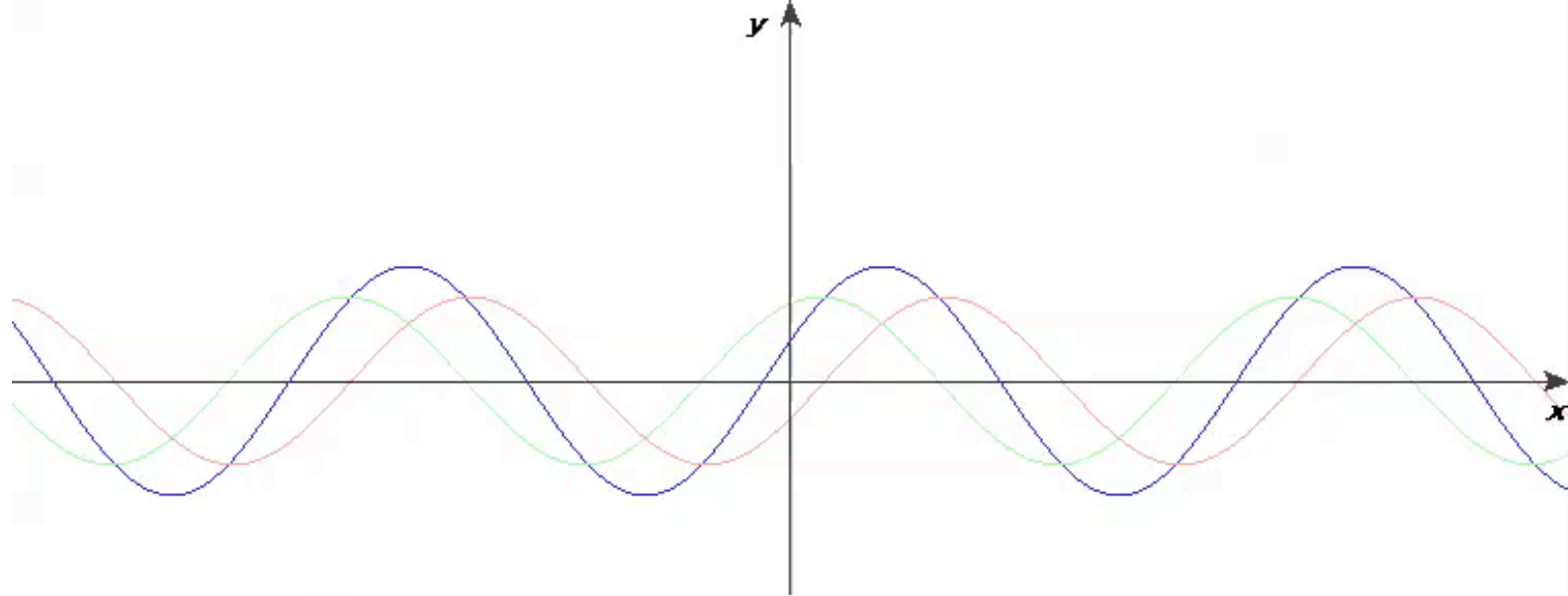
弦の振動

一次元の定在波の波長は、弦の長さで決まる。

http://www.meta-synthesis.com/webbook/34_qn/qn_to_pt.html



振動数多い=音が高い=波長が短い=エネルギー高い



膜の振動

二次元の定在波のできかたは、膜の形で決まる。

一箇所を、
一定周期で
とんとん叩く

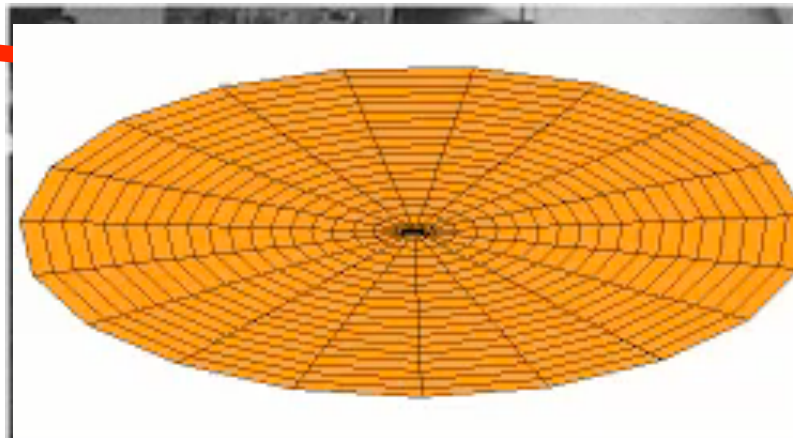


砂をまく

膜の振動

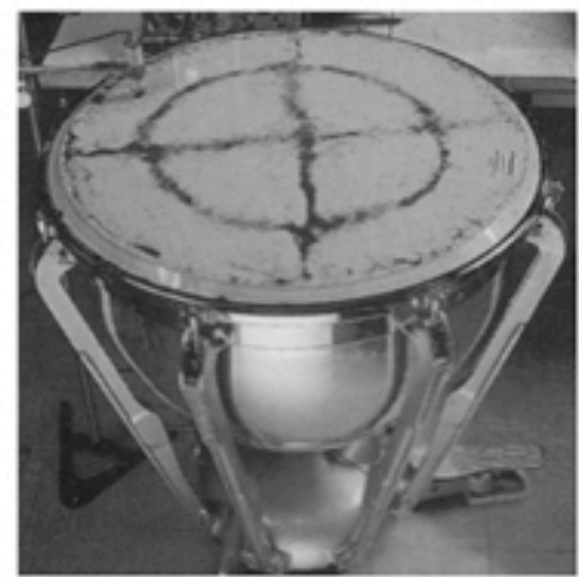
二次元の定在波の波長は、膜の形で決まる。

一箇所を、
一定周期で
とんとん叩く



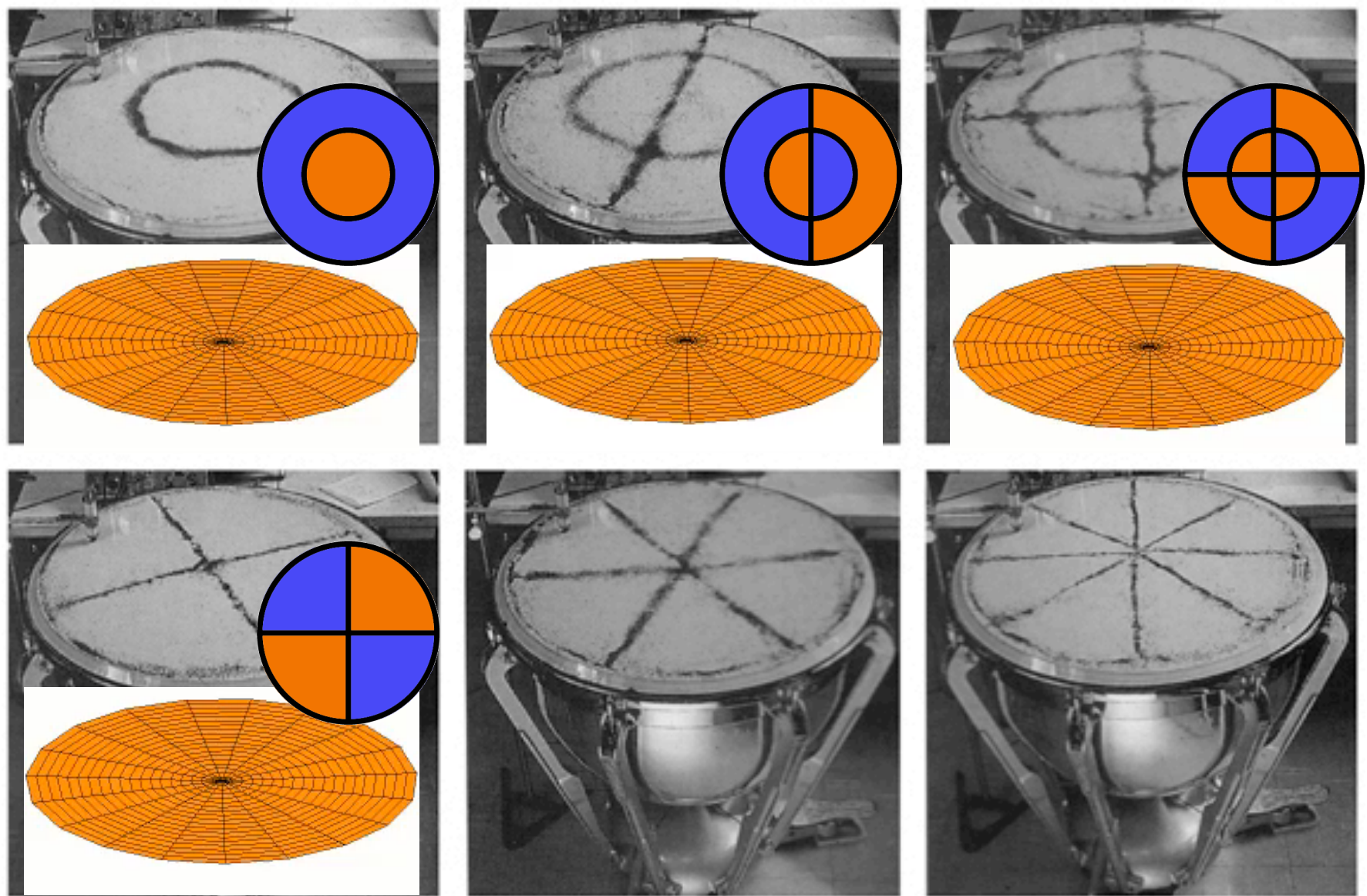
砂をまく





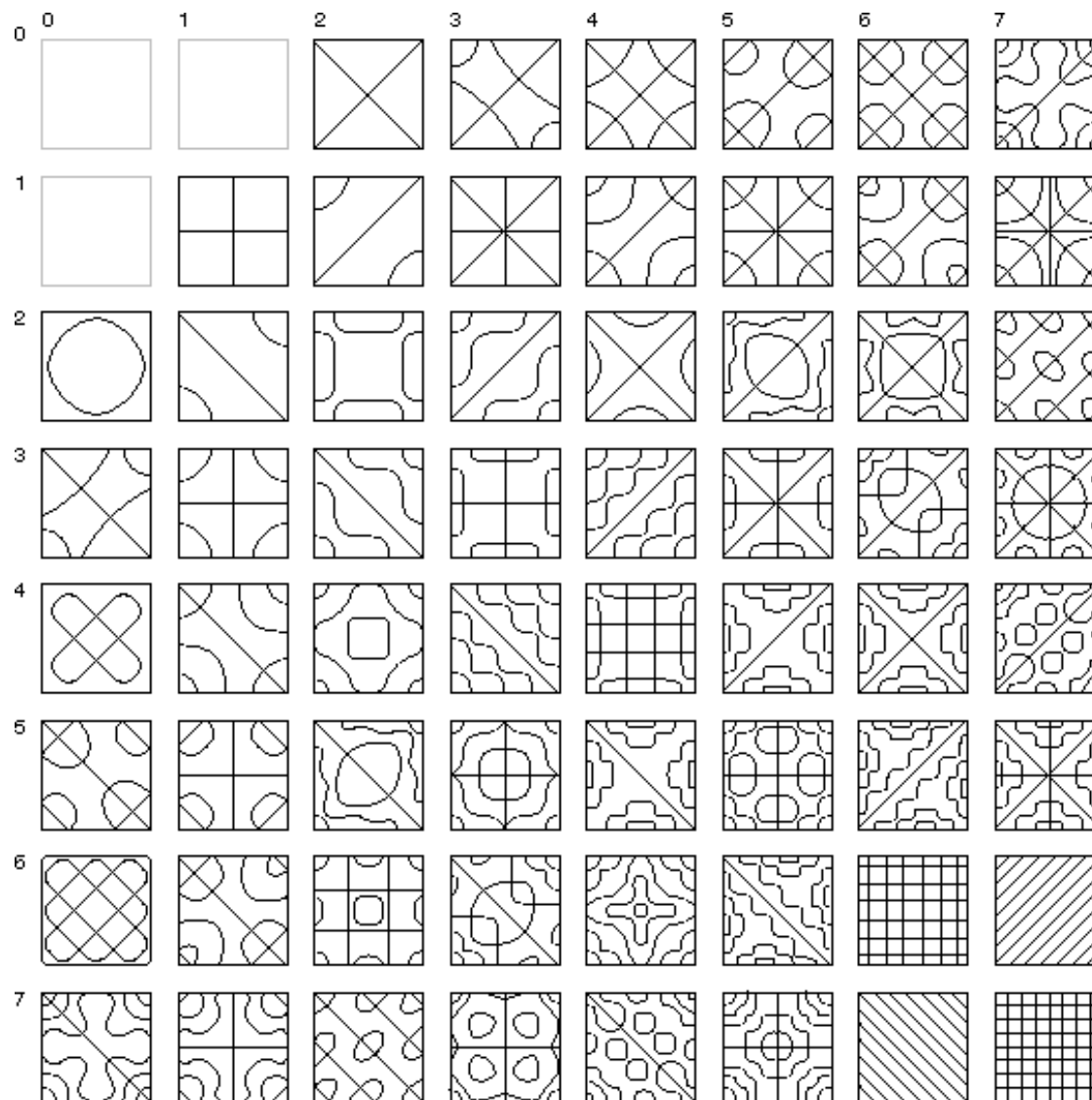
太鼓の膜の定在波。黒線は節を表す。
節が多いほど高振動数・高エネルギー

http://www.meta-synthesis.com/webbook/34_qn/qn_to_pt.html



太鼓の膜の定在波。黒線は節を表す。
 節が多いほど高振動数・高エネルギー

http://www.meta-synthesis.com/webbook/34_qn/qn_to_pt.html

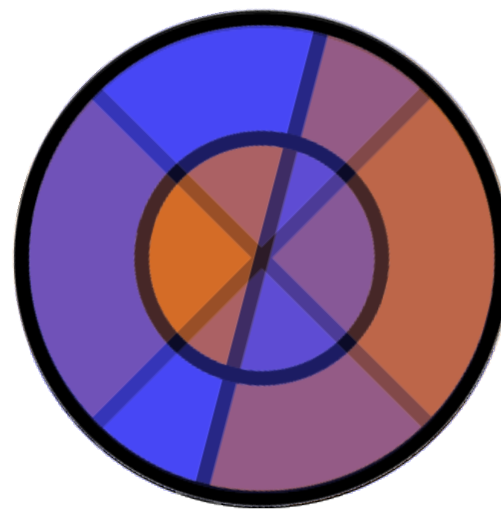
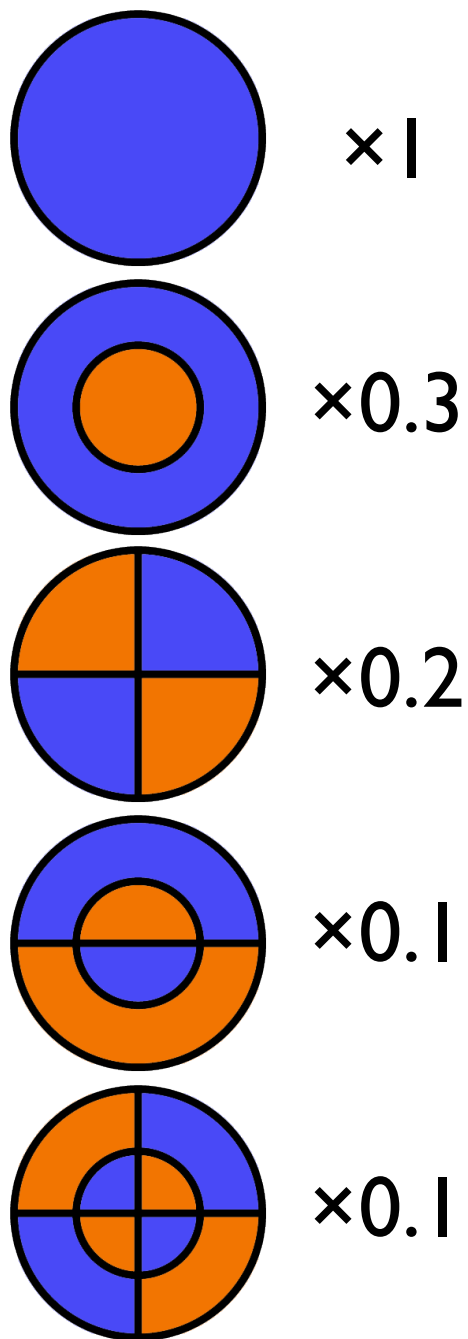


Keywords:
 “Chladni”
 “Cymatics”

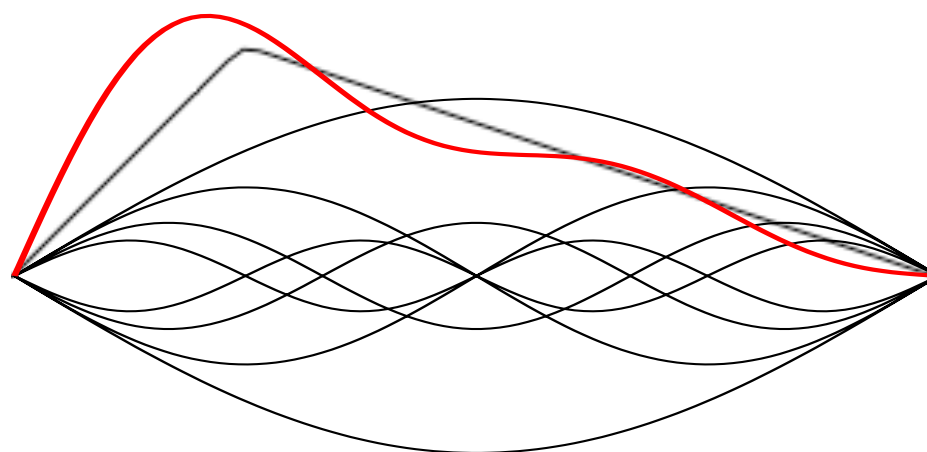
四角い鉄板の定在波。

境界条件が違うと、節の形も変わる。

Waller, M. D. (1961) Chladni Figures: A study in symmetry. London: G. Bell & Sons.

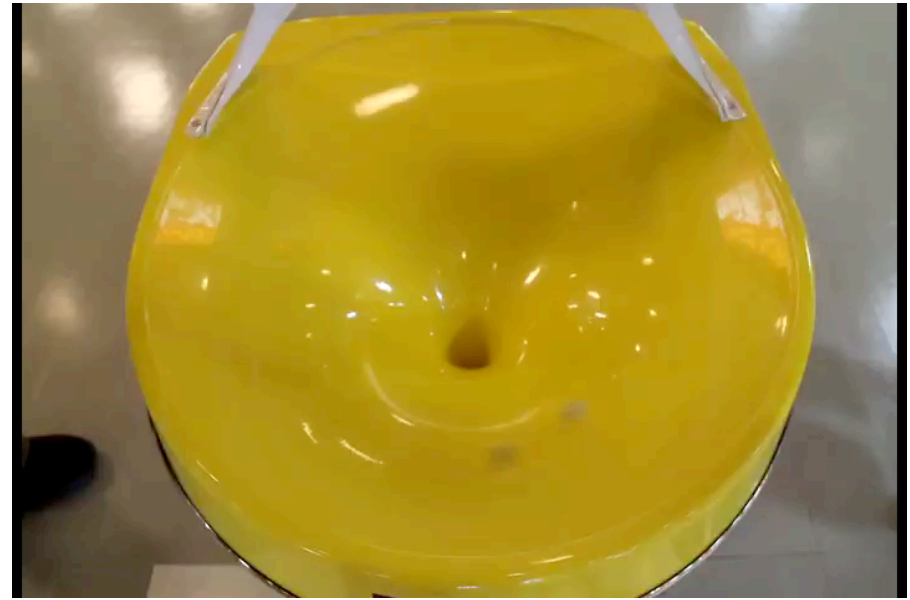
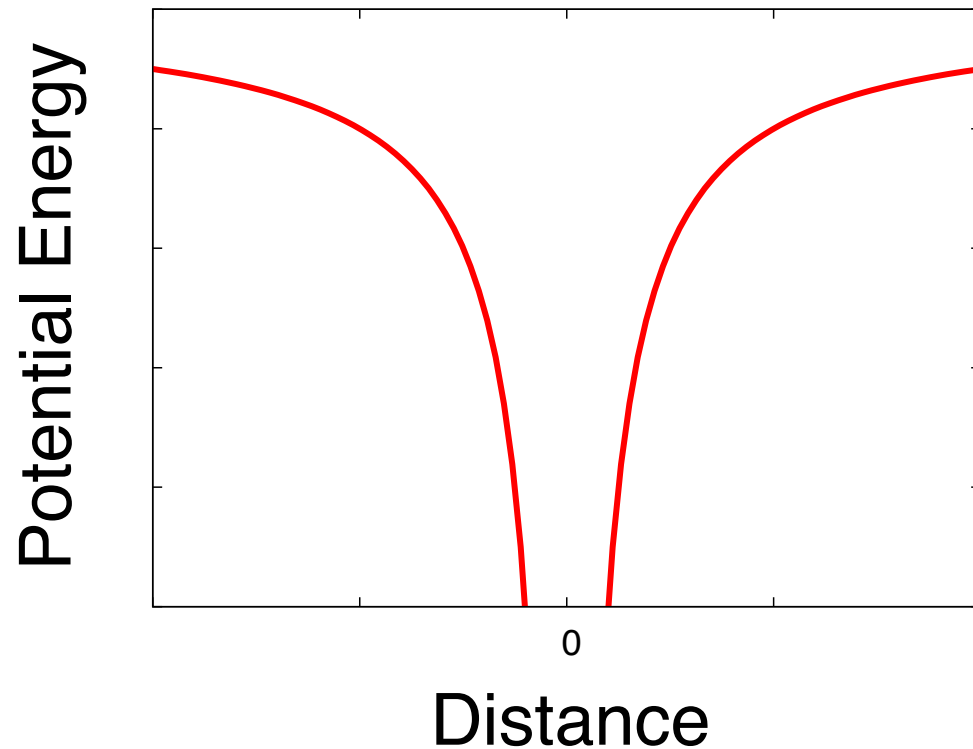


実際の振動は、基本振動の
足しあわせで表せる。

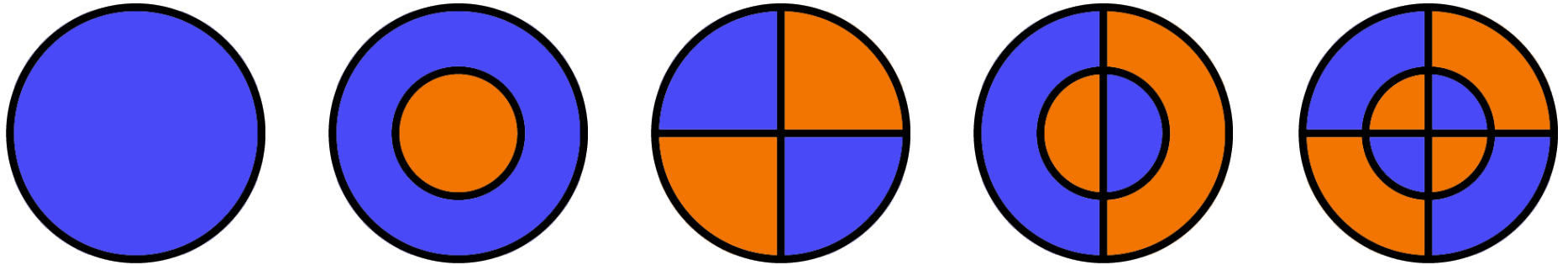


3次元の定在波?

- 電子は波。
- 核の電荷が電子を原子にとじこめる。



膜の定在波



3次元の電場の中での定在波



節が多いほど高エネルギー



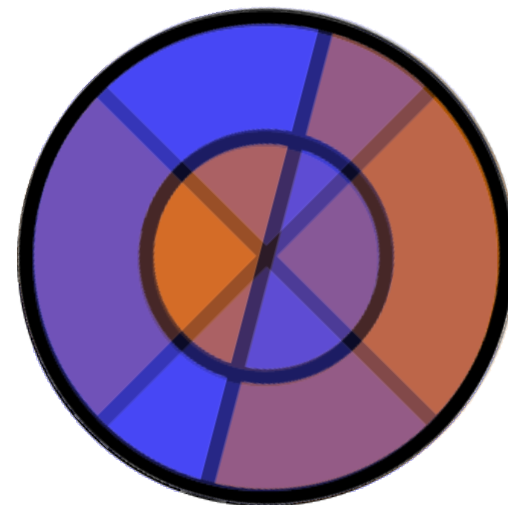
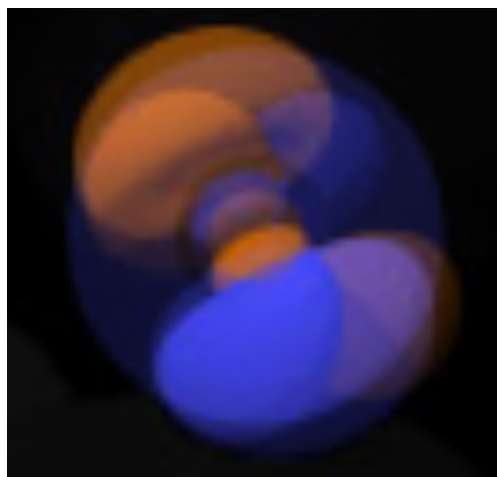
$\times a$

$\times b$

$\times c$

$\times d$

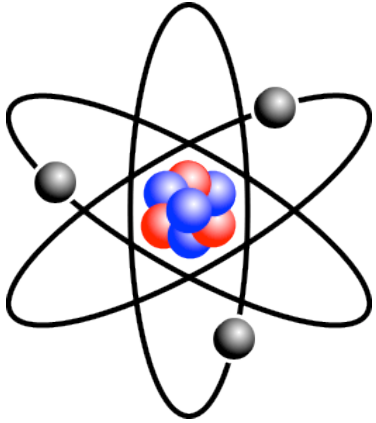
$\times e$



原子核の周囲にとらえられた
電子の波動も、基本振動の
足しあわせ。

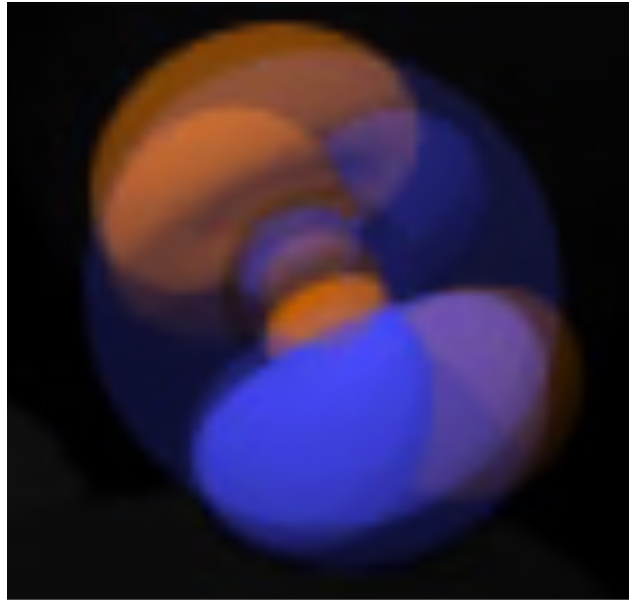
但し、重ねあわせの係数 $abcde$ は
0か1か2のいずれかのみ。

ボーアの原子模型



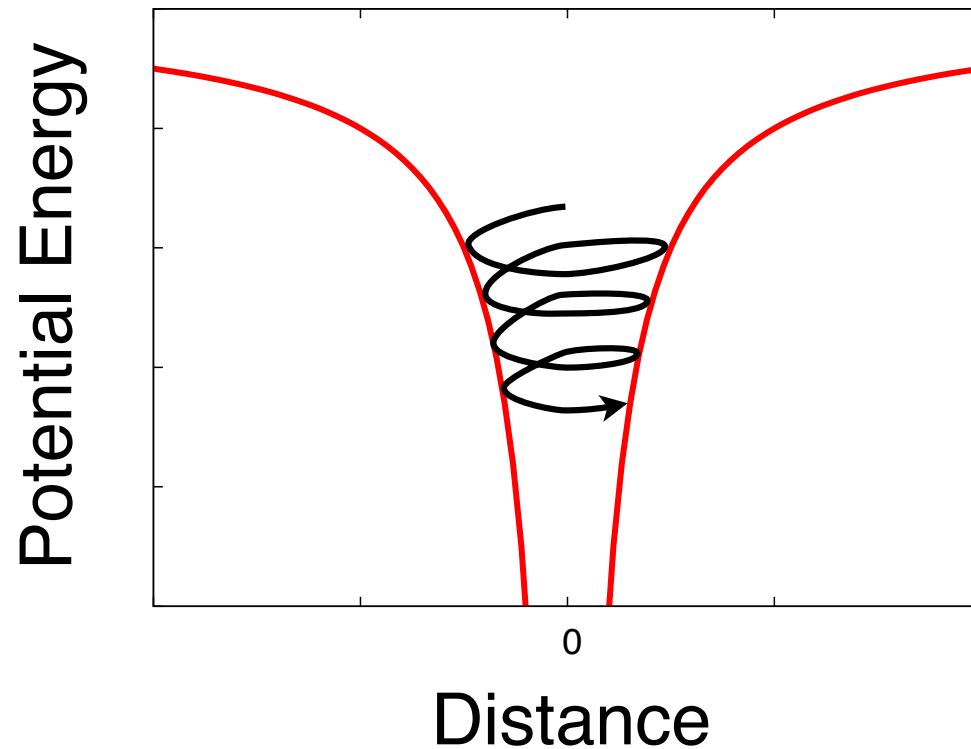
土星モデル

by 長岡半太郎 (1904)



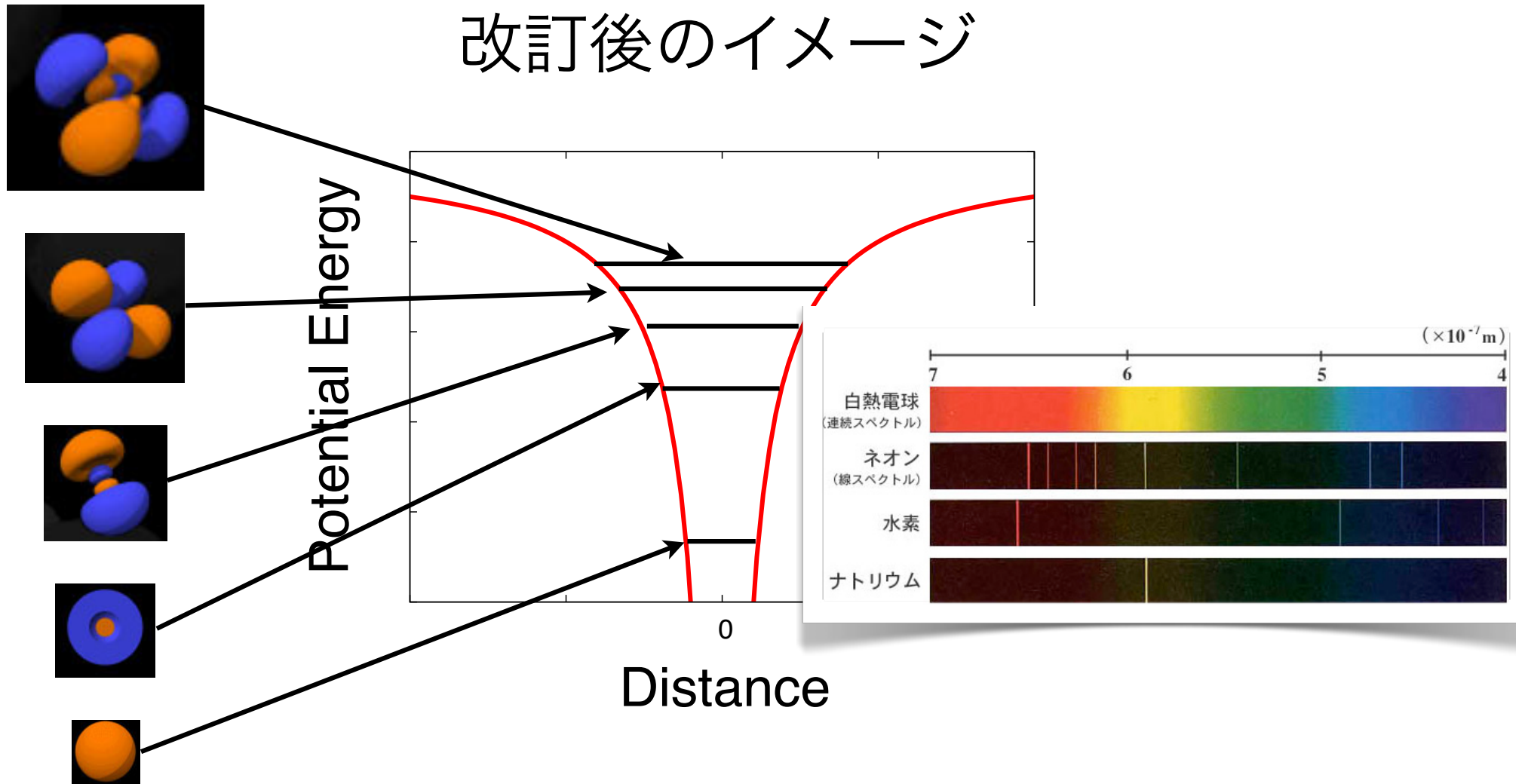
電子は、定在波として、核の周囲の空間にとらえられている。
定在波のかたちはいくつもある。(それぞれを“**軌道**”と呼ぶ)
ある定在波のかたちを選ぶ電子の個数は、0、1、2のいずれか。
(あるいは、それぞれの軌道には、最大2個まで電子が入る、という)

古典的なイメージ



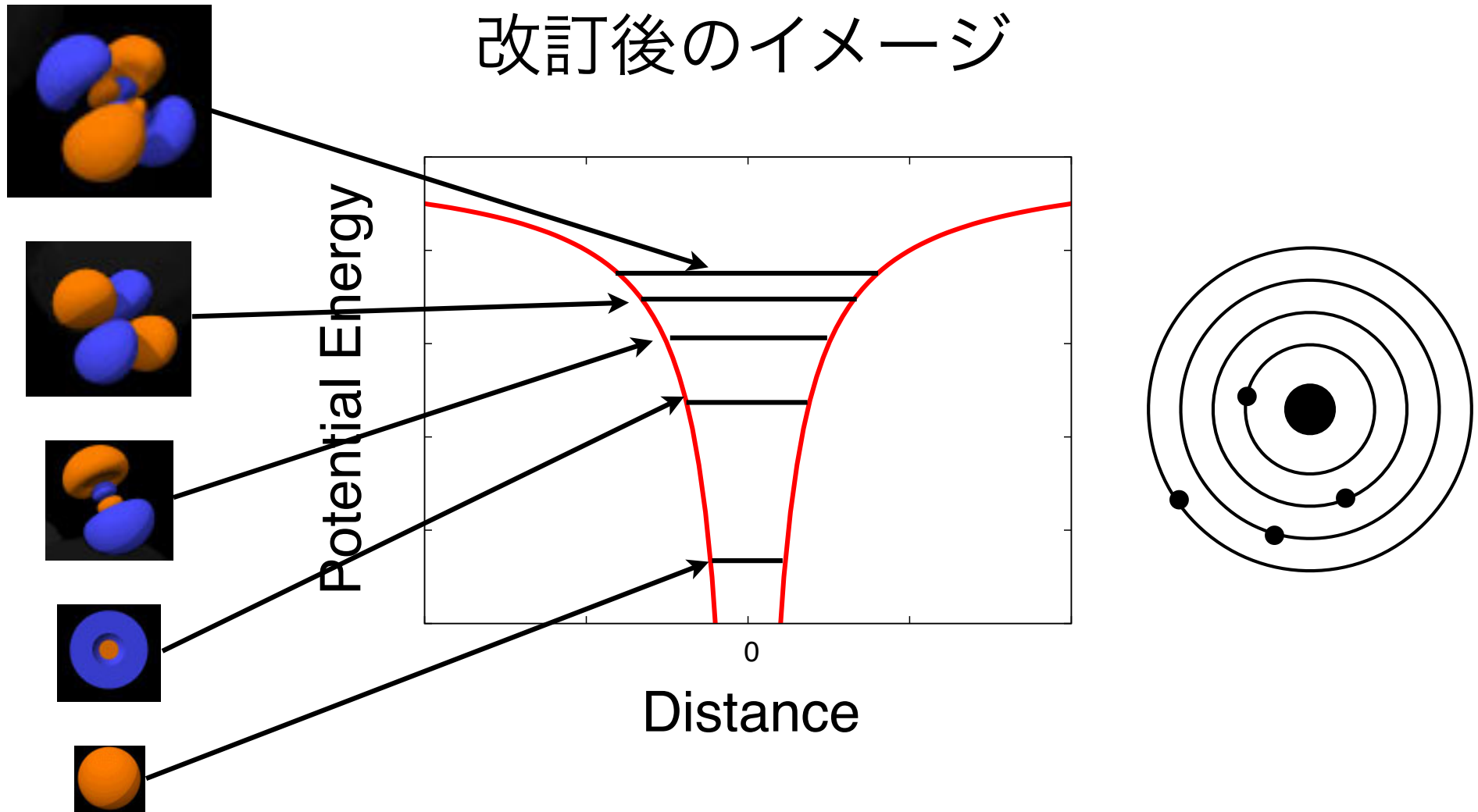
光を放射しながら、
どこまでも核に
落ちこんでいく

改訂後のイメージ



電子は定在波でなければならない
エネルギーはとびとびの値しかとれない
下の軌道に移る時に光子が出る

改訂後のイメージ



下限(基底状態)よりも低いエネルギーにはならない
エネルギーの高い軌道ほど広がっている
原子番号が大きいほど、軌道は小さくなる

練習問題2

- 原子番号が大きいほど、電子は核に強くひきよせられるため、軌道半径は原子番号に反比例する。次の元素の基底状態の軌道半径を推定せよ。

(1) ${}_4\text{Be}$ (2) ${}_{10}\text{Ne}$ (3) ${}_{40}\text{Zr}$

- ただし、水素 ${}_1\text{H}$ の基底状態の軌道半径を50 pmとする。

まとめ2

- 電子も波。
- 原子の中にとじこめられた電子は、定在波としての性質を持つ。
- 節が多いほどエネルギー高い。
- 1、2、3次元の定在波の形。
- 電子のエネルギーはとびとびの値をとる。