

# 光と物質の相互作用について知ろう

香川大学工学部材料創造工学科  
鶴町徳昭

# 最新の光科学技術

情報通信

情報記録

ディスプレイ・照明

光エネルギー(太陽光発電)

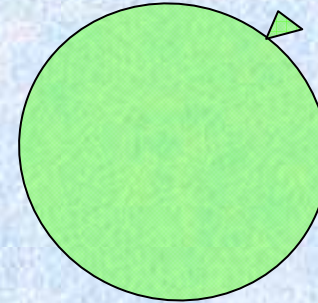
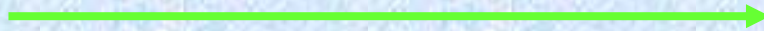
光加工

観測・計測技術

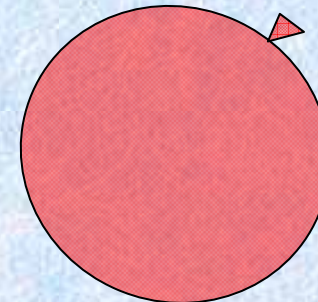
その他

# レーザー光線で風船が割れるか？

緑色のレーザー光

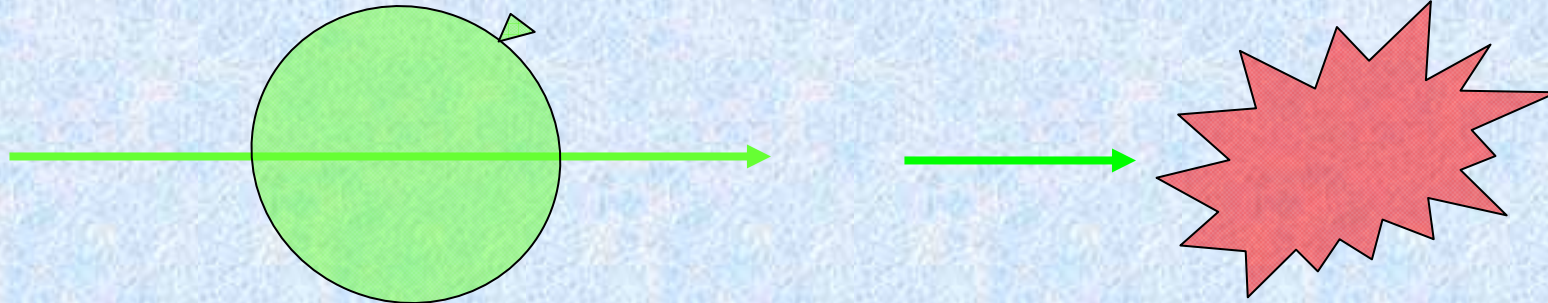


赤色のレーザー光



# レーザー光線で風船が割れた！

緑色のレーザー光



緑色の風船は割れない

赤色の風船は割れた

赤色のレーザー光

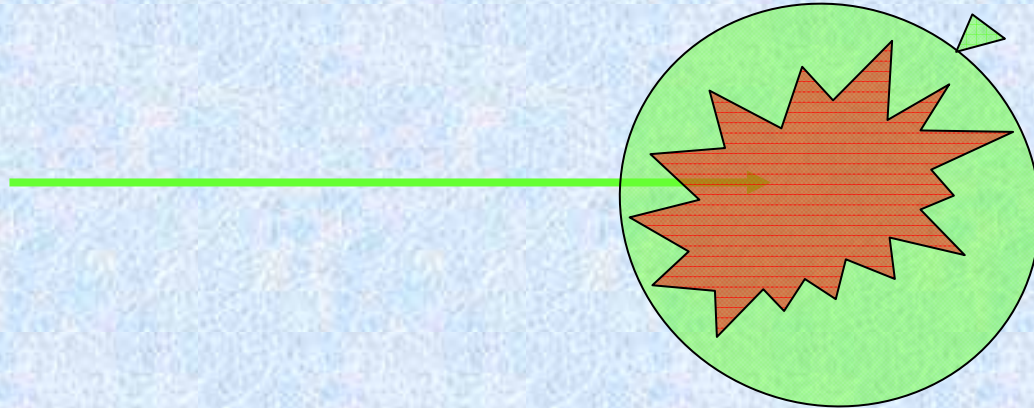


緑色の風船は割れた

赤色の風船は割れない

# レーザー光線で風船が割れた！

緑色のレーザー光

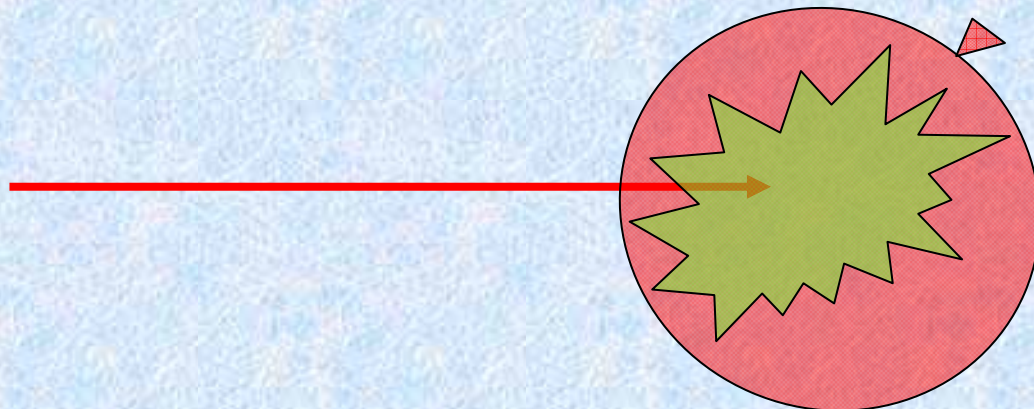


緑色の風船の中の  
赤色の風船が割れた



緑の風船は透過している

赤色のレーザー光



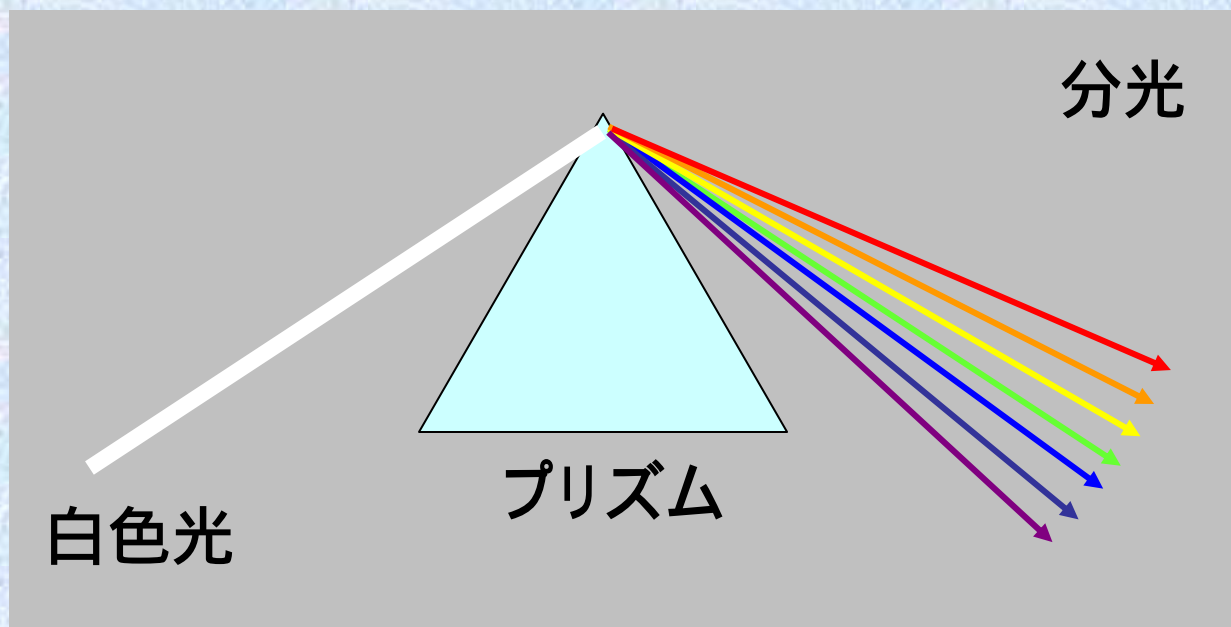
赤色の風船の中の  
緑色の風船が割れた



赤の風船は透過している

# 光の三原色

白い光は実はいろいろな色の光が混ざっている



色によって屈折する角度が違う

太陽の光や蛍光灯の光はいろいろな波長が混ざっている

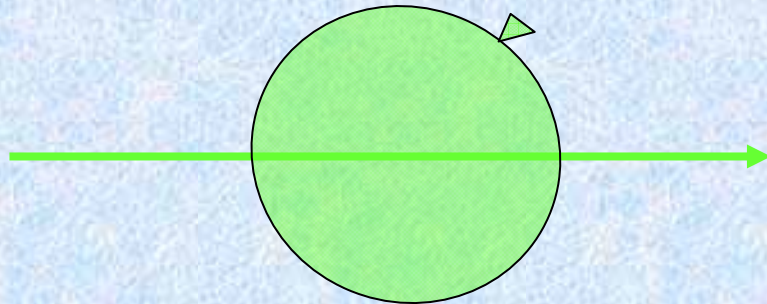
# 色とは何か

白い光の中の一部が物質に吸収され、残りが反射して目に入る

緑に見えるものは緑の光を吸収せず反射する  
赤に見えるものは赤の光を吸収せず反射する

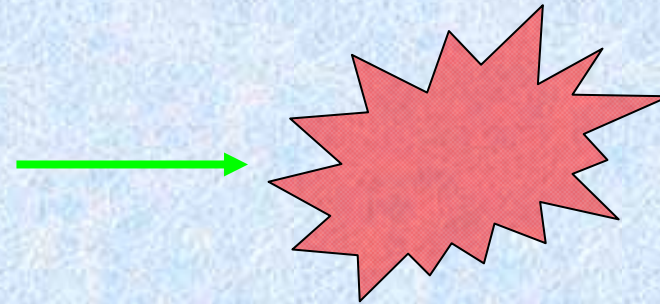
# レーザー光で風船が割れるわけ

緑色の風船

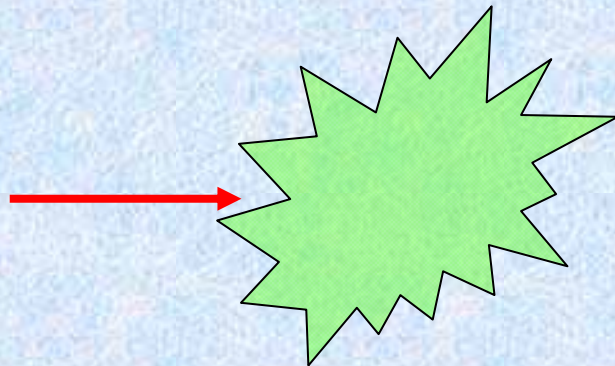


緑の光は吸収されない

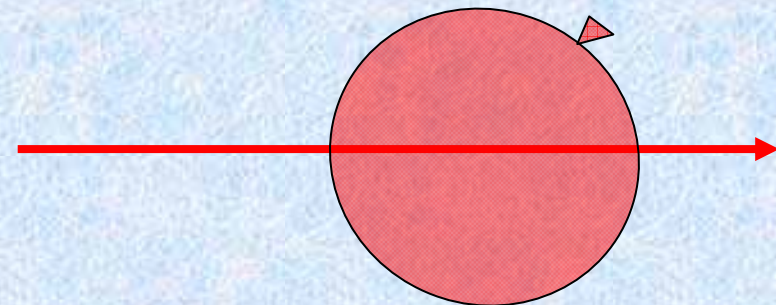
赤色の風船



緑の光が吸収される・・・熱が発生



赤の光が吸収される・・・熱が発生



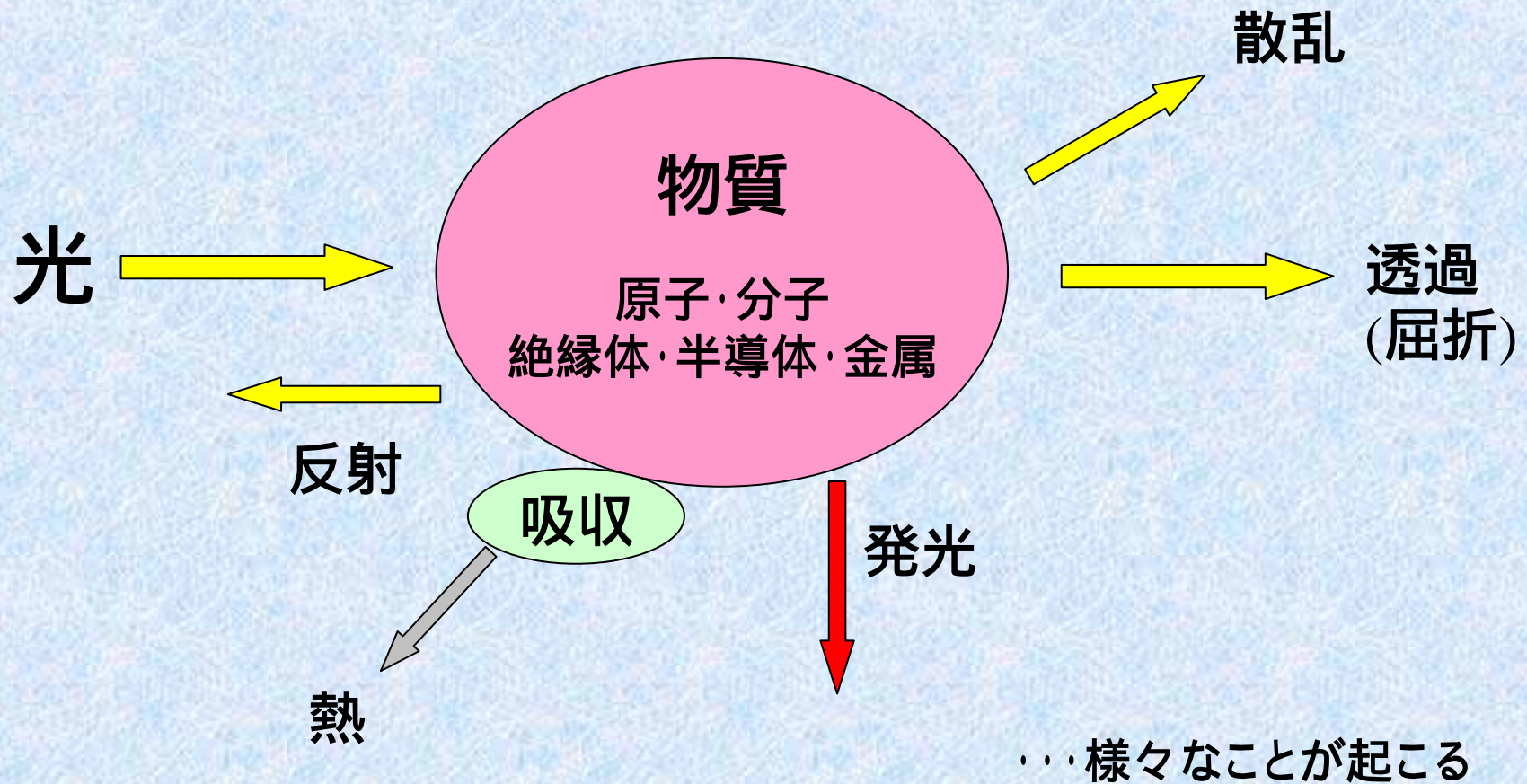
赤の光は吸収されない

**強い光を吸収すると熱が発生する**



# 光と物質のかかわり

光を物質に当てると・・・



これらの現象を解明するために物質を原子レベルから考える

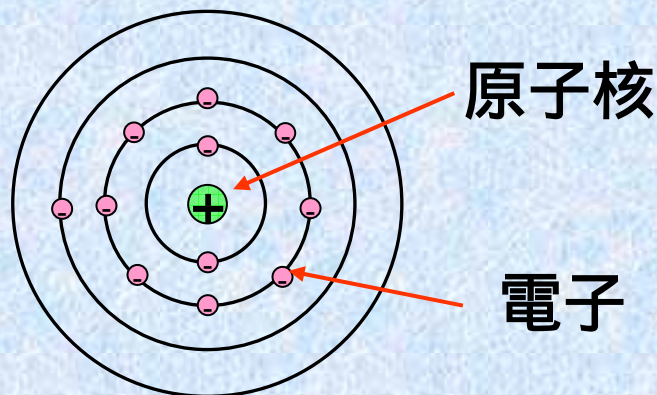
# 物質は原子でできている -ボーアの原子モデル-

すべての物質は非常に小さい  
原子という粒でできている

原子の中身はどうなってるの？

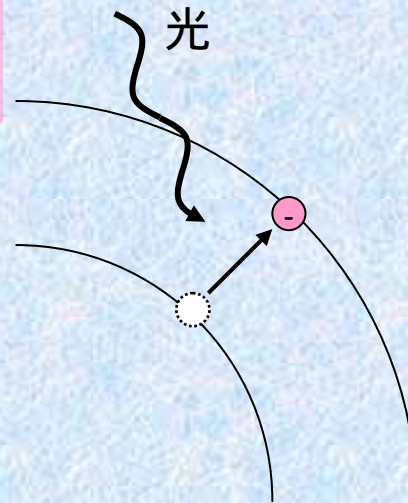


20世紀のはじめごろ  
量子力学という学問が  
発達してわかるようになった

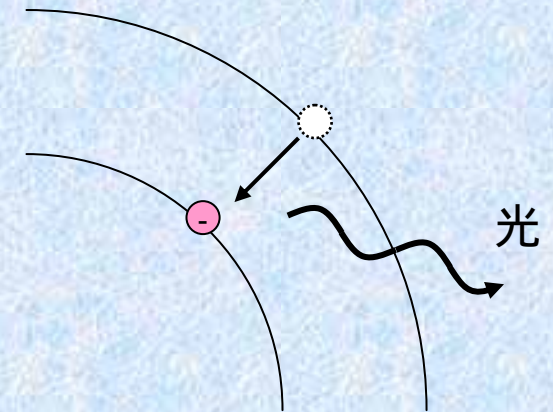


原子のエネルギーはとびとびの値をとる。  
電子はそれぞれに応じた半径の軌道をいくつか  
持っている。

光エネルギーを受けると低いエネルギー軌道から  
高いエネルギー軌道に飛び上がり、逆に高い軌道  
から低い軌道に飛び移る時に光を発する。



光の吸収



光の放出

# 光の波長とエネルギー

光は光子と呼ばれるエネルギーをもった粒子としても考えられる

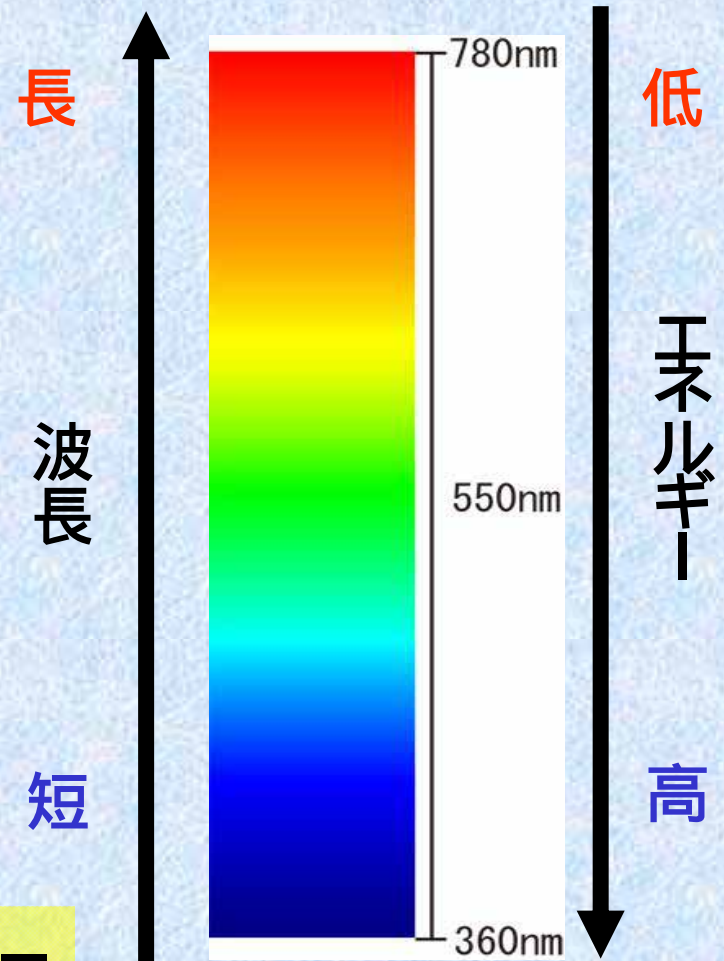
$$\text{光子のエネルギー} = \frac{hc}{\text{光の波長}}$$

$h$ ・・・プランク定数

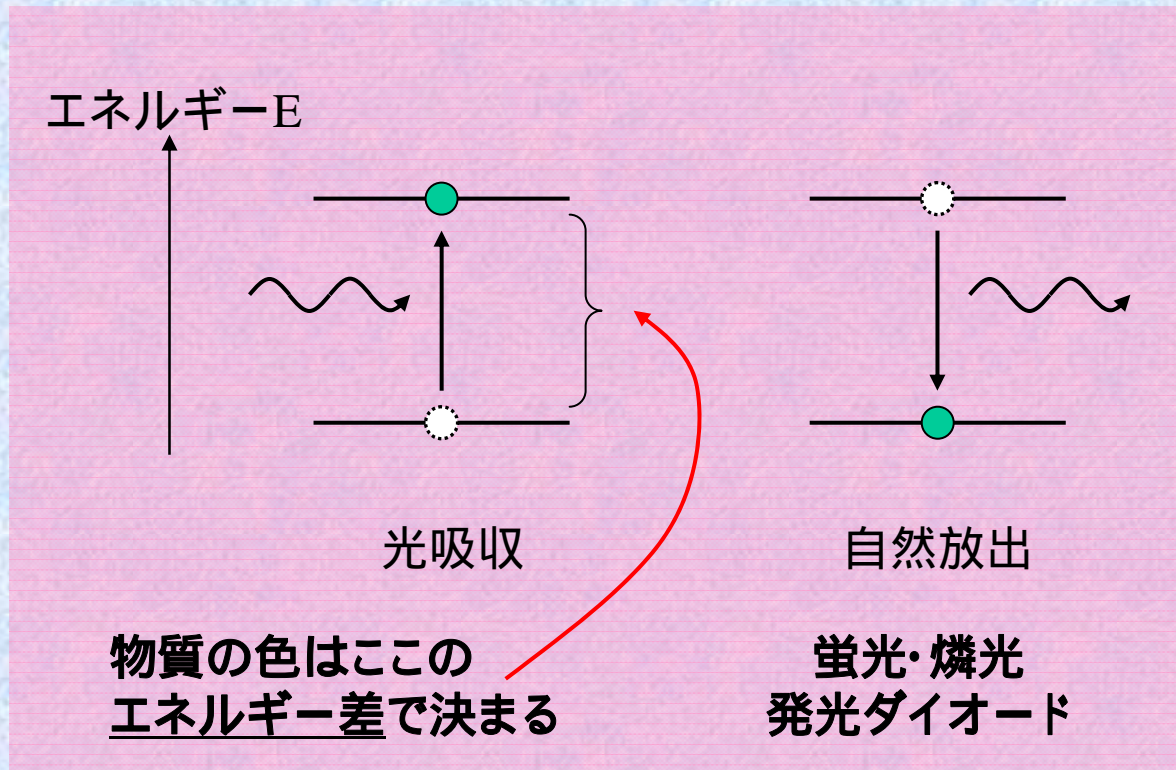
$c$ ・・・真空中の光速

光子のエネルギーは波長と反比例している

緑の光のエネルギー > 赤い光のエネルギー



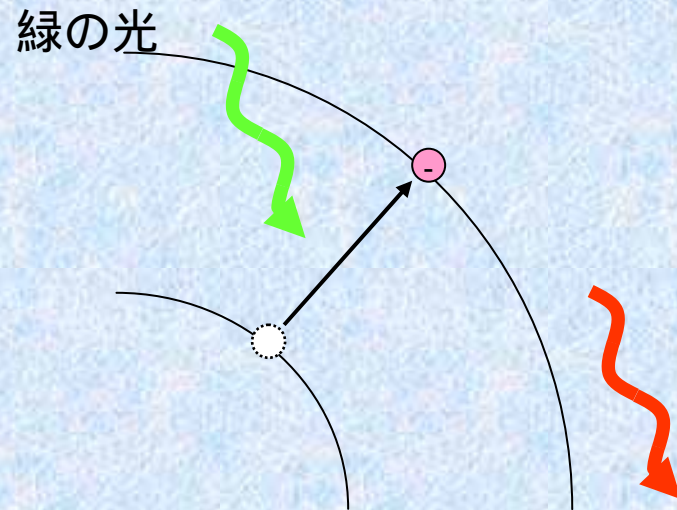
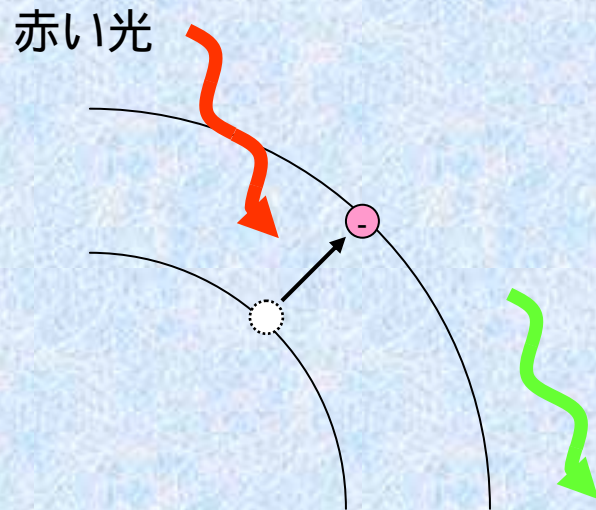
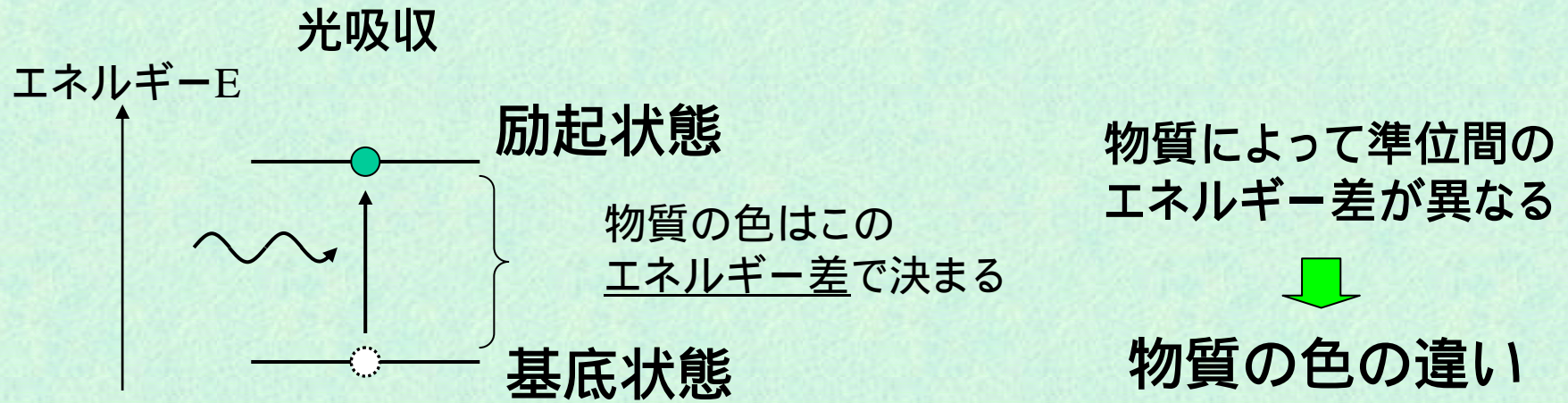
# 光の吸収と放出



物質は原子の集まりなので光の吸収や放出では同様なことが起こる

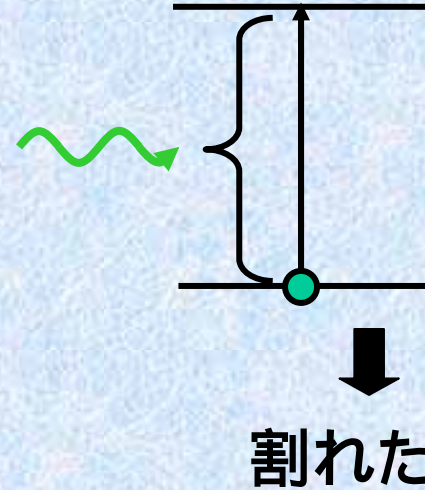
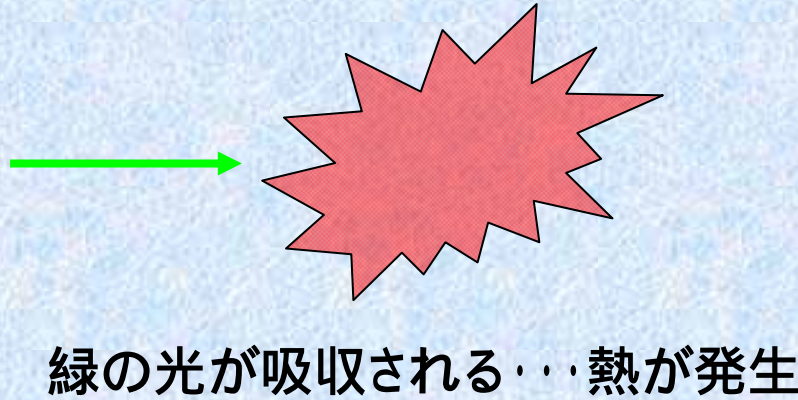
吸収: 光のエネルギーを物質が吸収することで高いエネルギー状態になる  
放出: 光のエネルギーを物質から放出することで低いエネルギー状態になる

# 光の吸収と物質の色



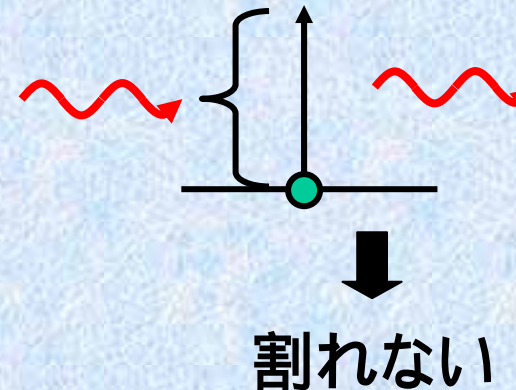
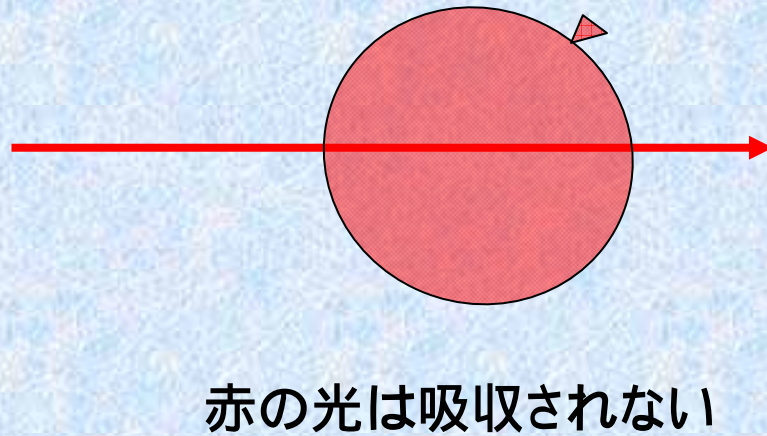
# レーザーで風船が割れる理由

赤色の風船



赤い風船の  
表面の分子の  
エネルギー差

緑色の光の  
エネルギーと  
一致した

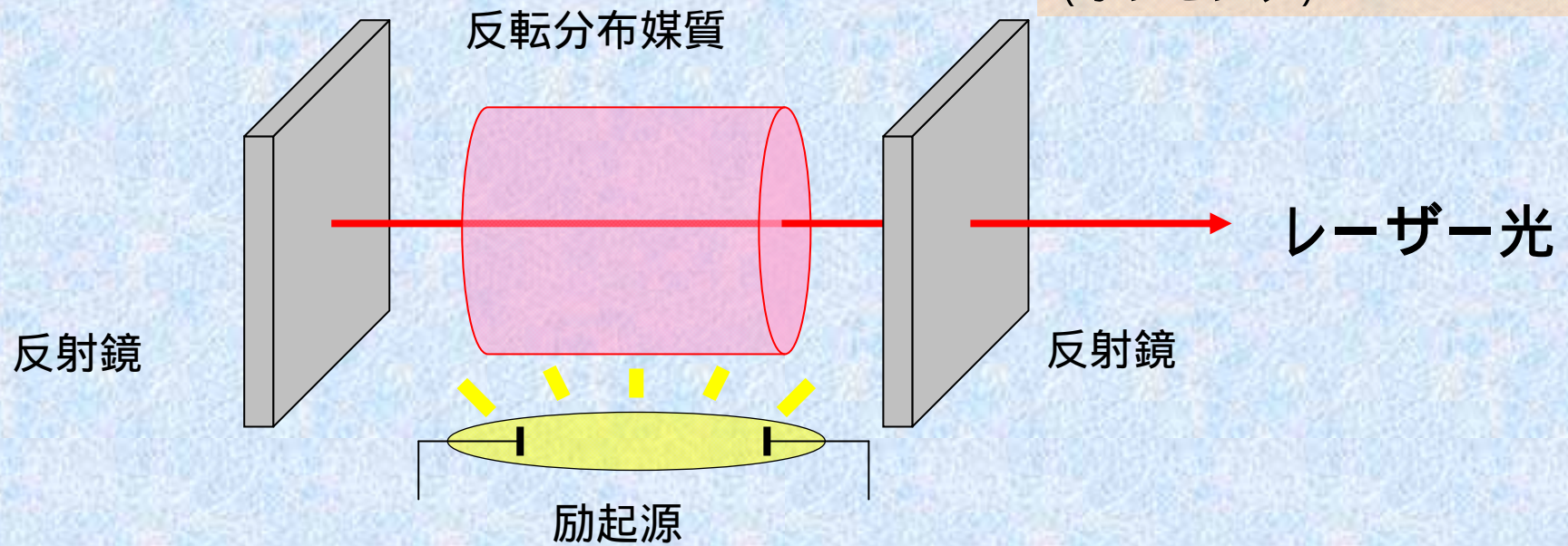


赤色の光の  
エネルギーと  
一致しない

風船の色を決めている表面の物質(分子)の種類が異なる

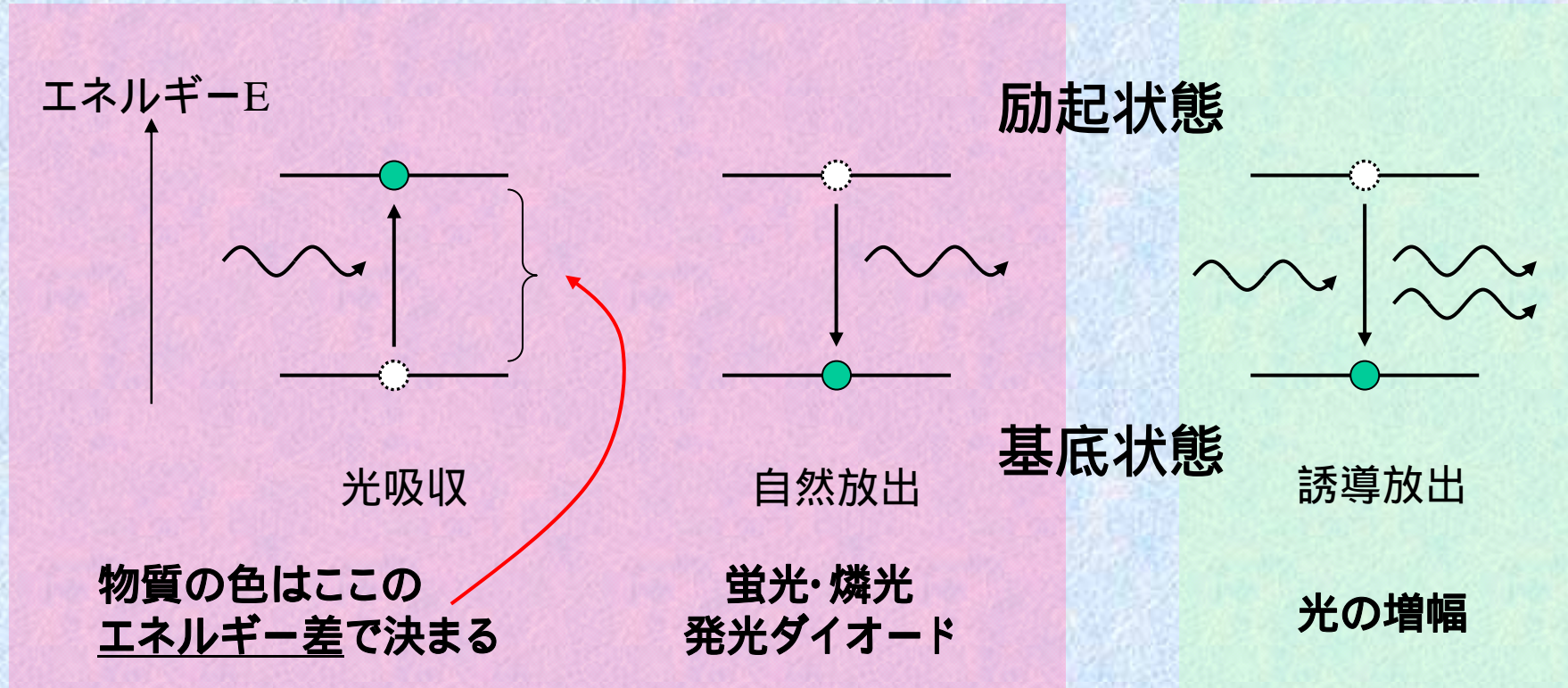
# レーザーの原理

反転分布を作るために  
発光物質にエネルギーを  
与えて励起する  
(ポンピング)



光を閉じ込めて決まった方向に  
増幅が有効に起こるように制御する

# アインシュタインの光と物質の相互作用の理論



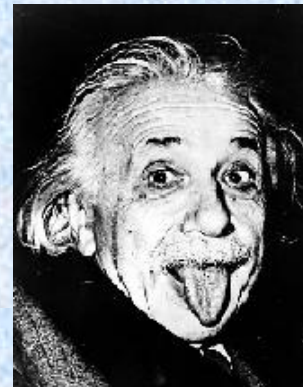
物質の色はこの  
エネルギー差で決まる

蛍光・燐光  
発光ダイオード

誘導放出  
光の増幅

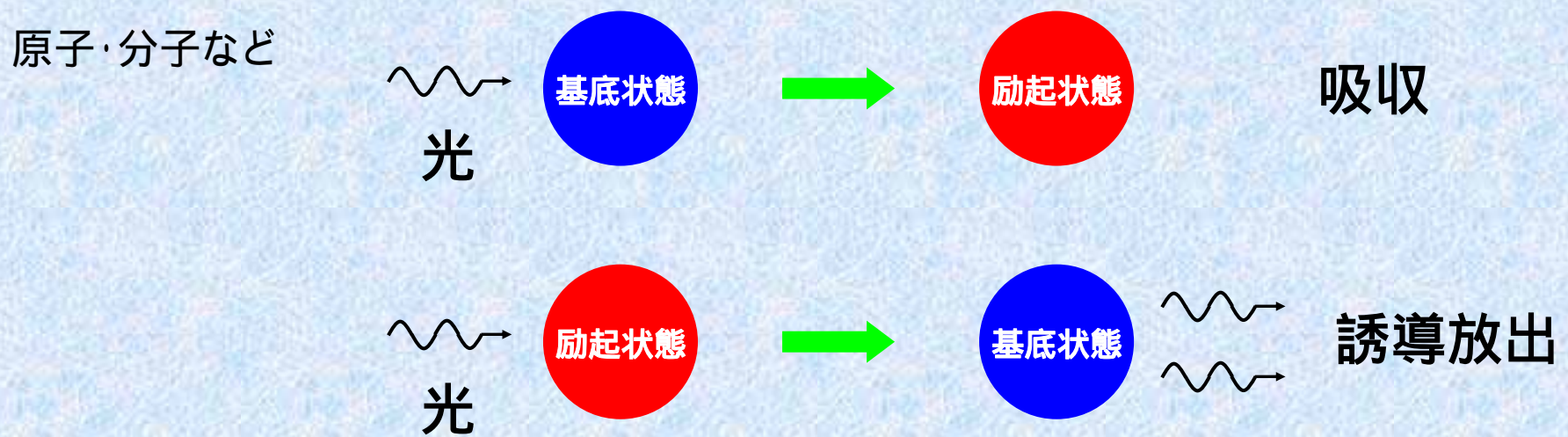
1917年

Albert Einstein  
1879/3/14 ~ 1955/4/18  
ドイツ生まれ





# 吸収と誘導放出



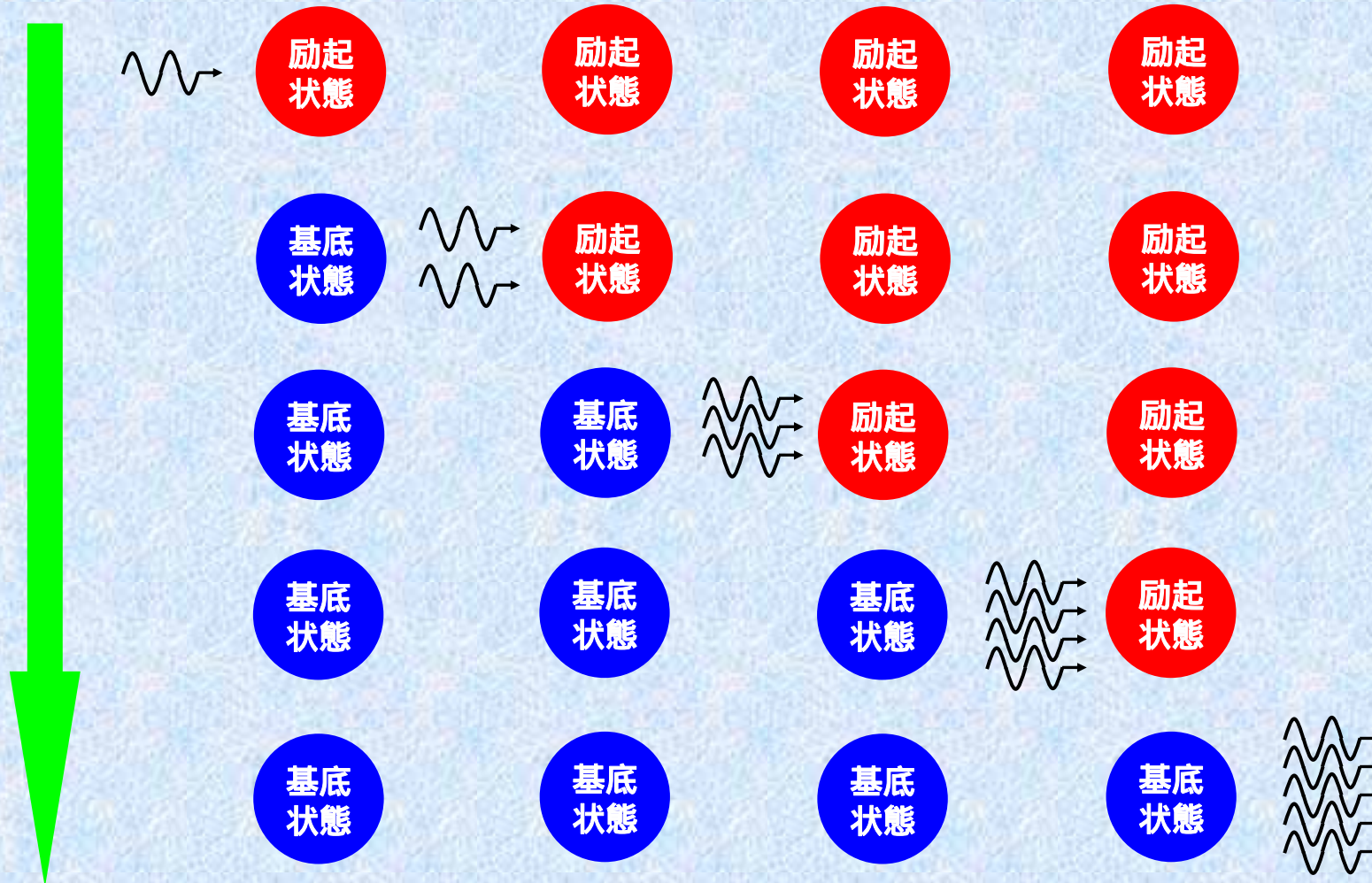
LASER=Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation

放射の誘導放出による光増幅

# 光の増幅

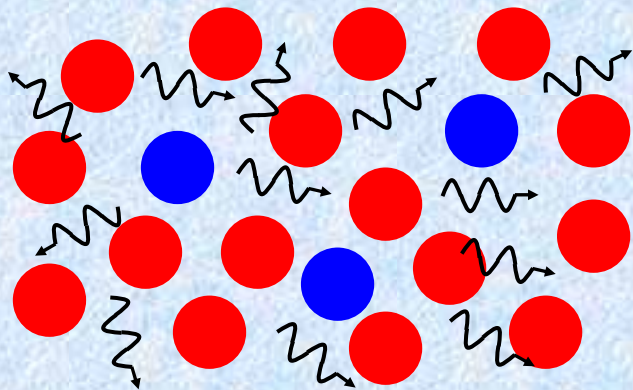
たくさんの原子・分子を一斉に励起状態にしておく

反転分布状態



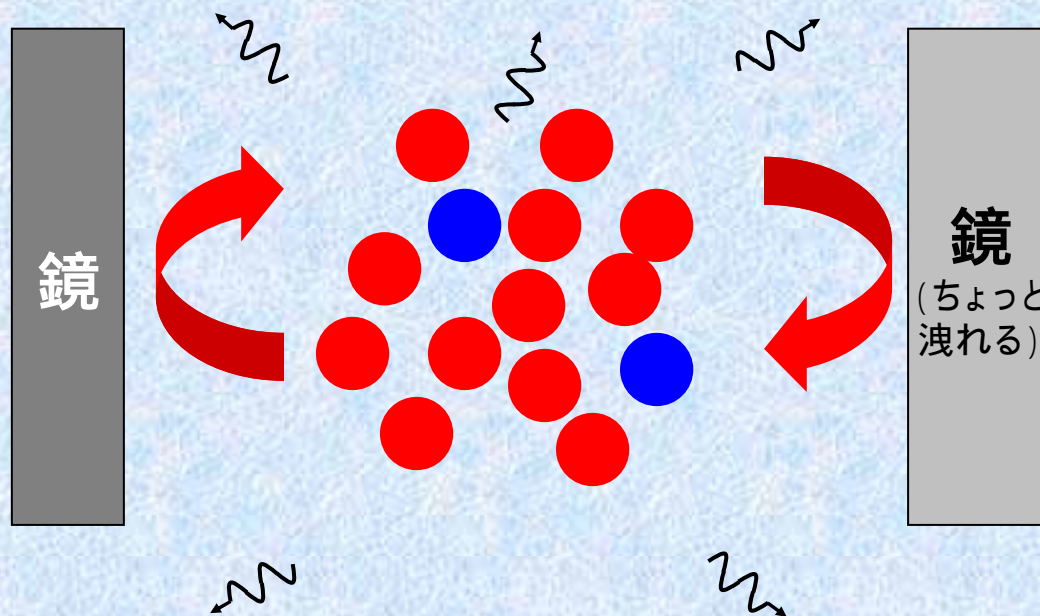
光が増幅される

# 光の閉じ込め



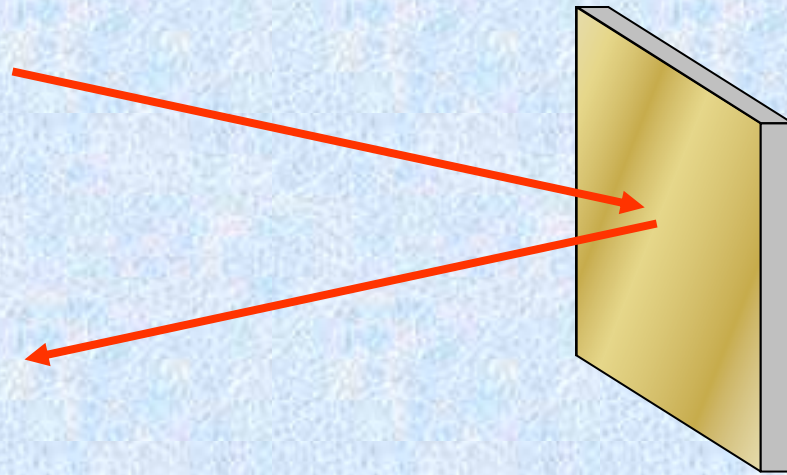
ただ、励起分子がたくさんあるだけでは  
光の増幅が有効に起こらない

そこで、光の増幅する方向を決めてやる



強くて指向性の  
高いコヒーレント光  
が出てくる

# 光を閉じ込める鏡

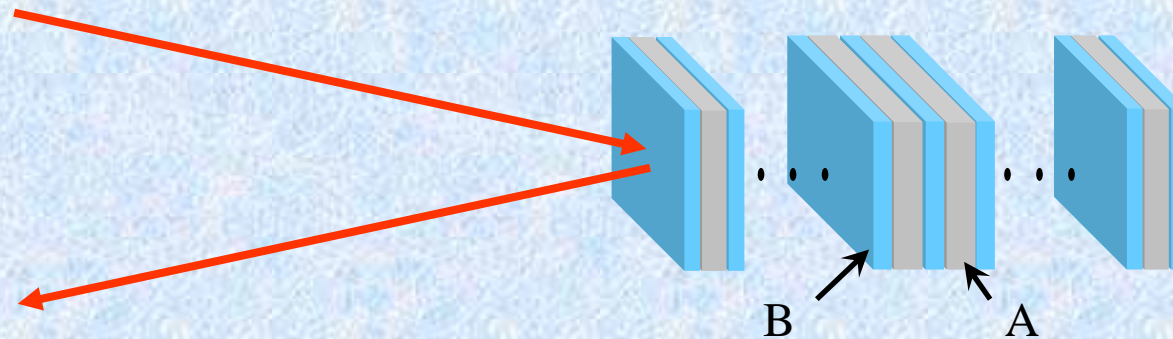


普通はアルミニウムや銀のような金属の鏡を使う

反射率は最大で98%

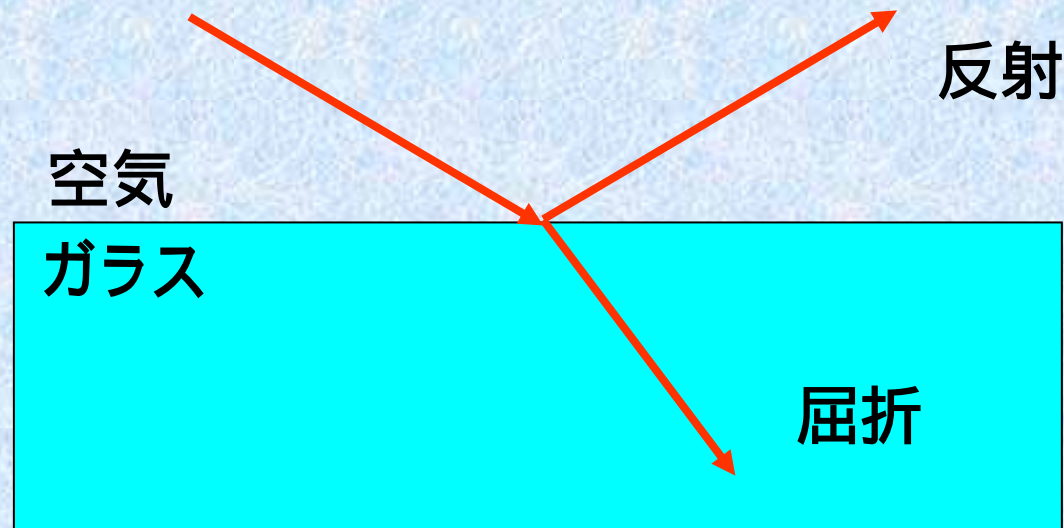


もっと高い反射率(99.99%)の鏡がほしい

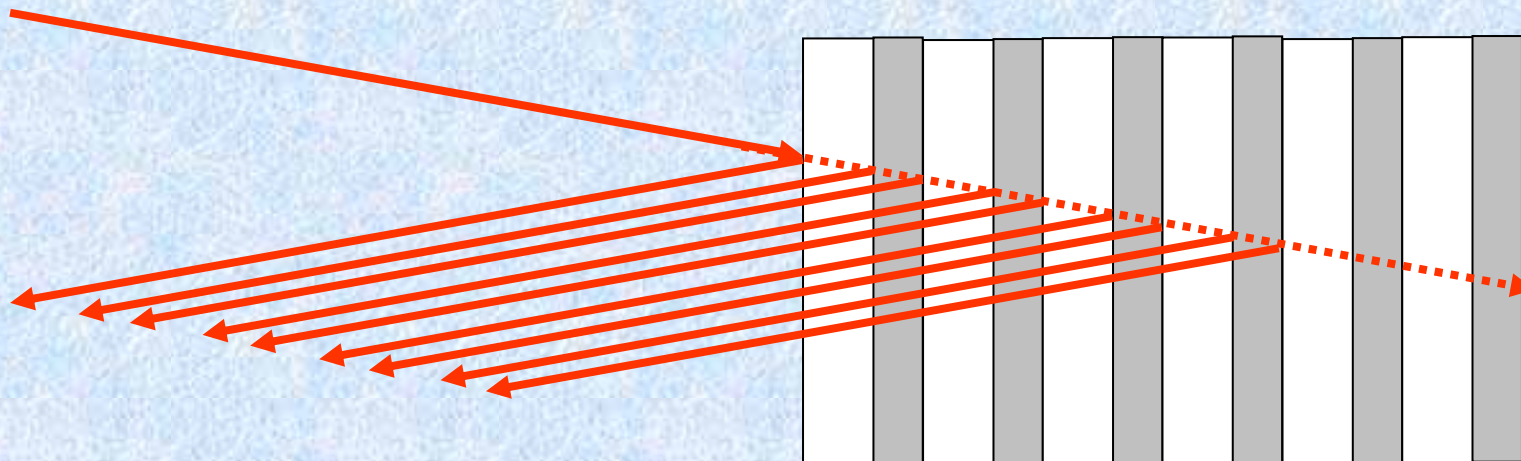


違う種類のガラスの薄膜を交互に積み重ねた多層膜鏡

# 多層膜鏡とは？

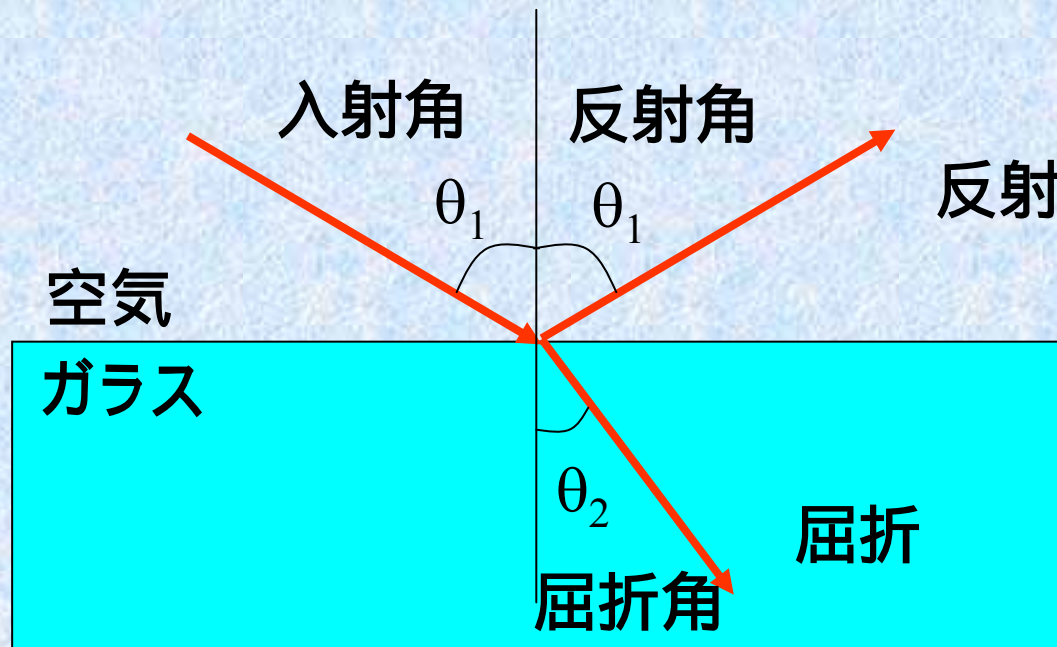


1枚だけでは反射は弱いが、薄膜を何枚も重ねると反射が強くなる



# 光の反射と屈折(小・中)

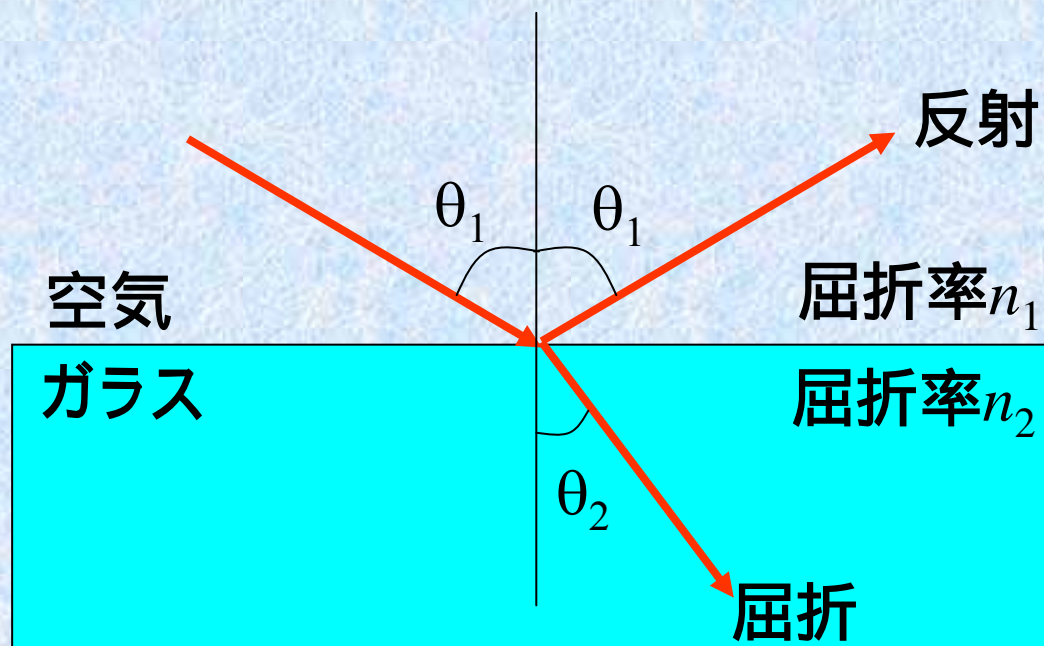
小中学生では・・・



こういう現象があることを知る

# 光の反射と屈折(高)

高校生では・・・



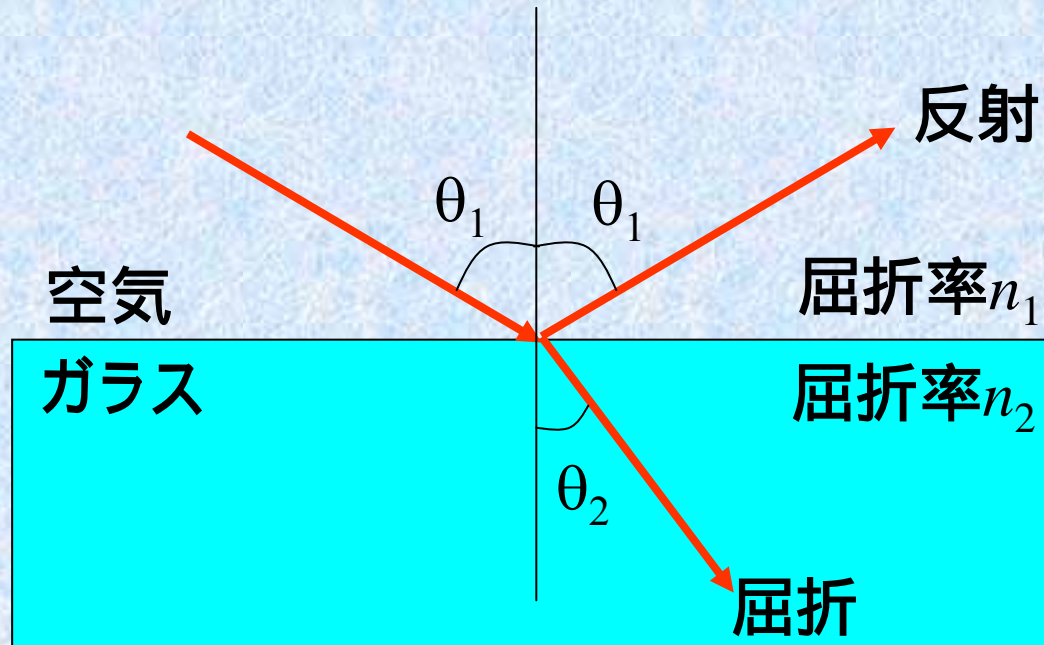
反射の法則:  $\theta_1 = \theta_2$

屈折の法則:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

光の角度がわかる

# 光の反射と屈折(大)

大学生では・・・



マクスウェル方程式

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

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

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

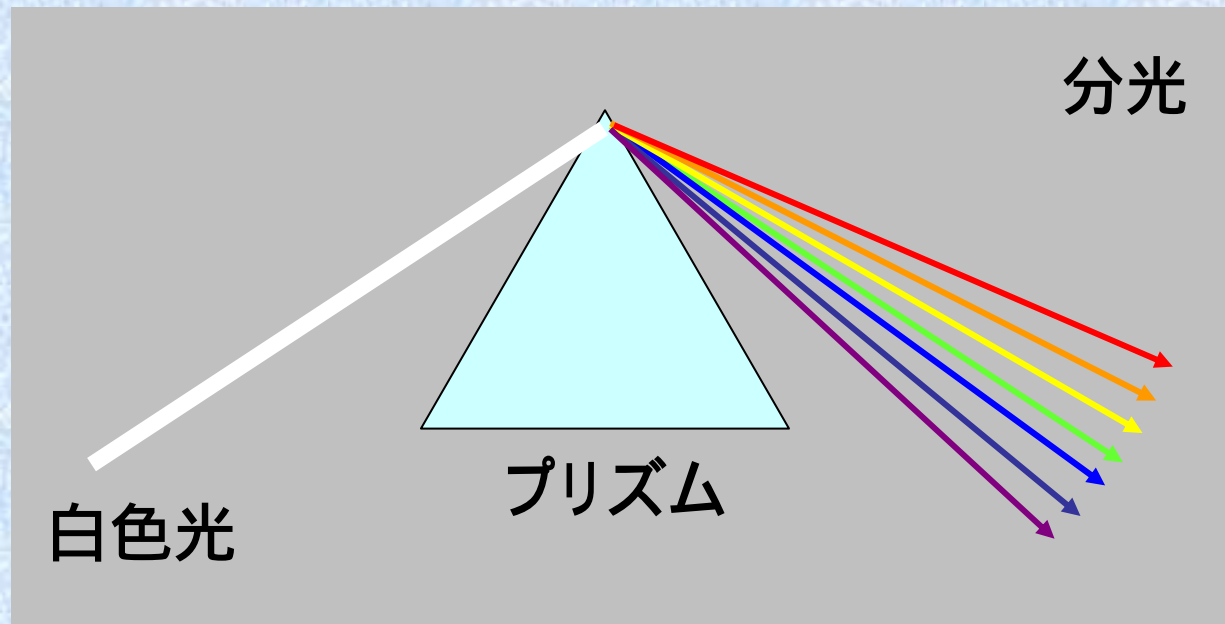
$$\text{反射率: } R = \left( \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right)^2$$

光の反射率などまでわかる。  
他にもいろいろとわかる



# 分光

白い光は実はいろいろな色の光が混ざっている

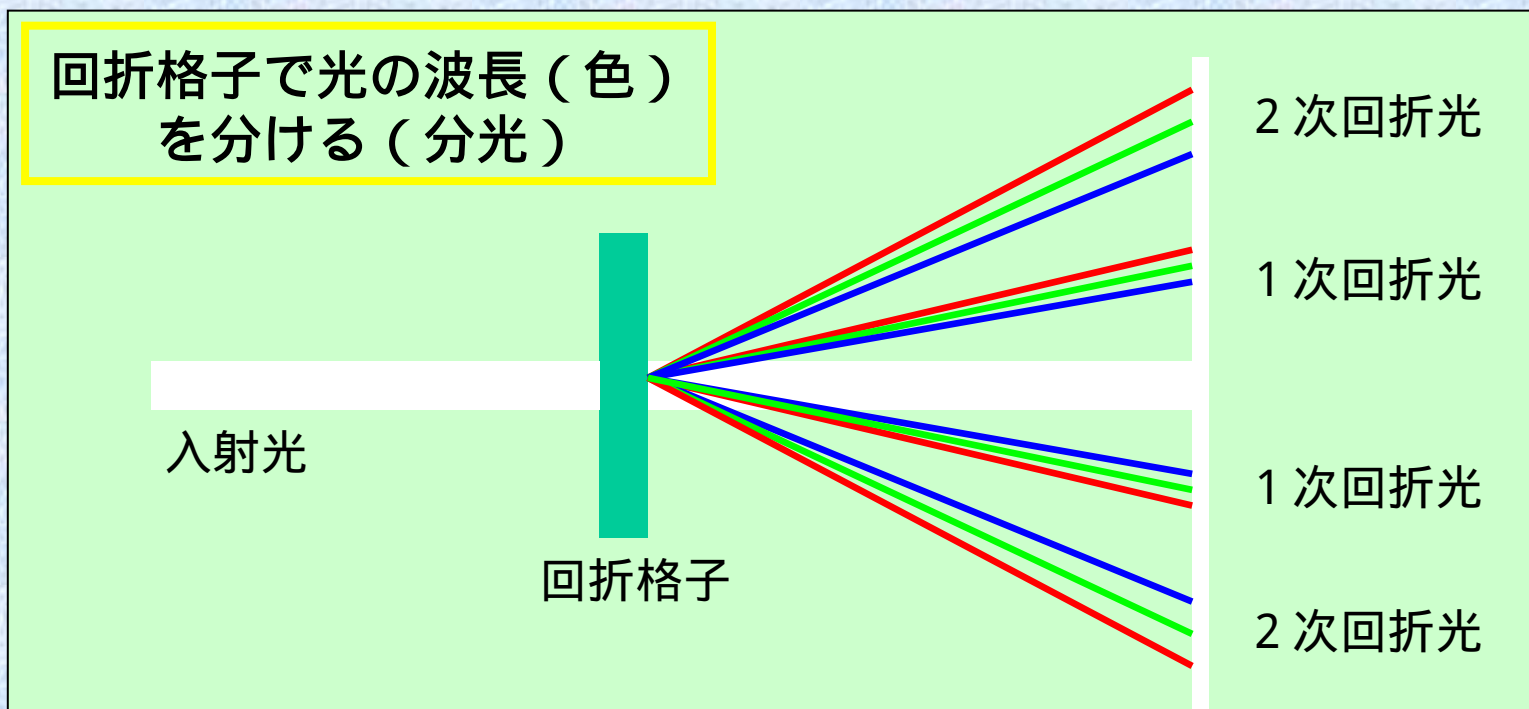
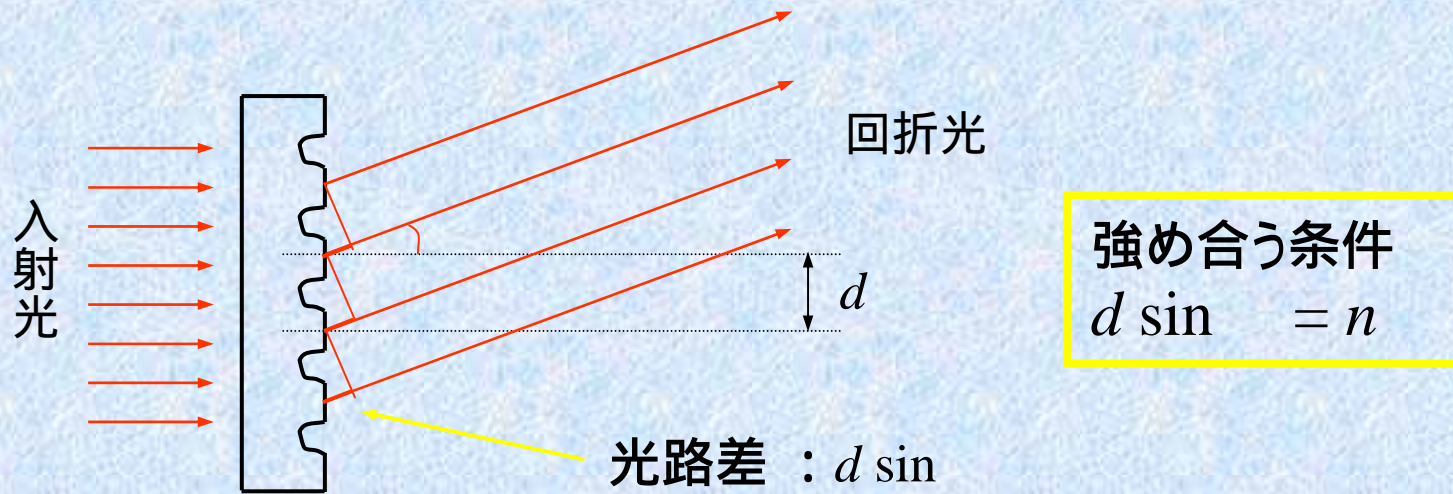


分光とは…いろいろな色が混ざっている光を分解する

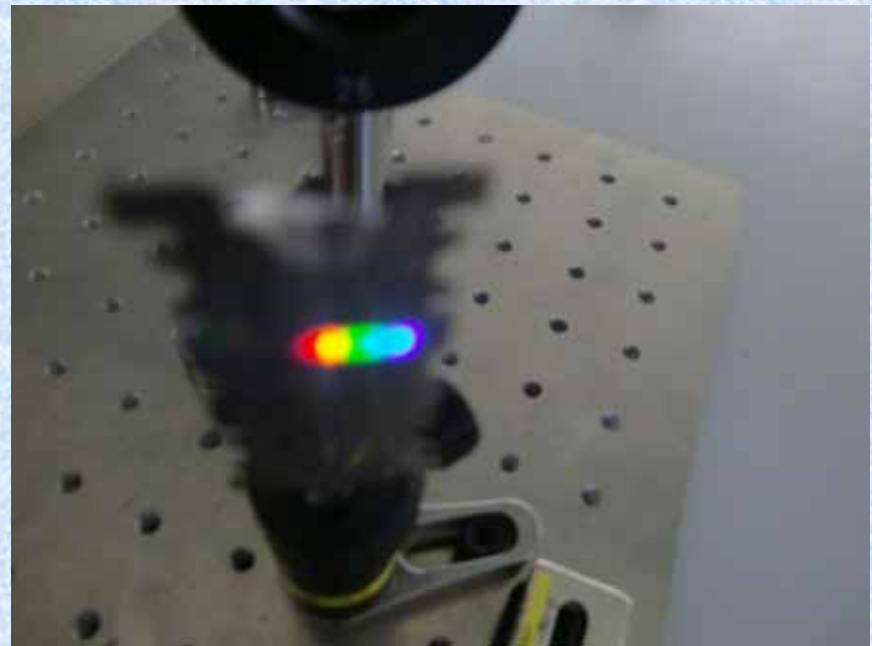
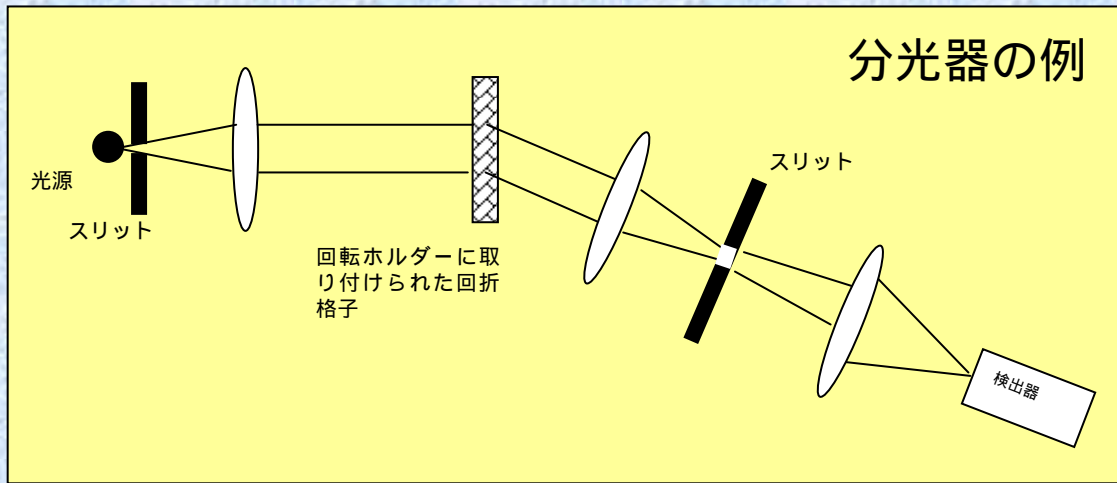


分光学… その物質が何か？  
どのような性質を持っているのか？

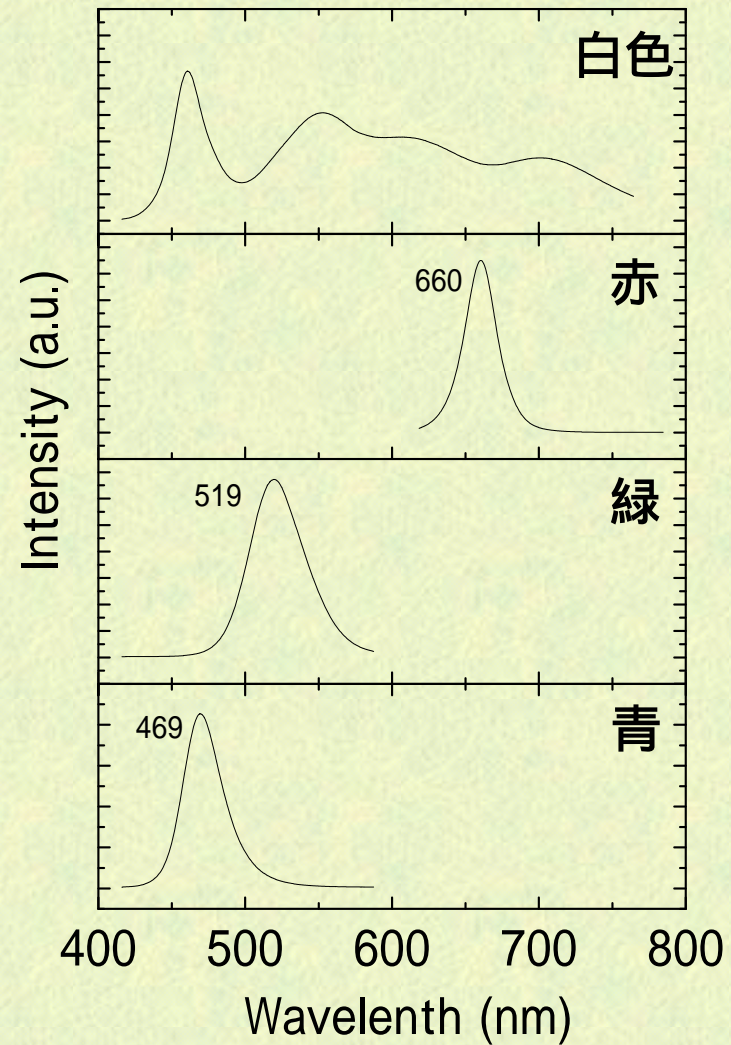
# 回折格子による光の分光



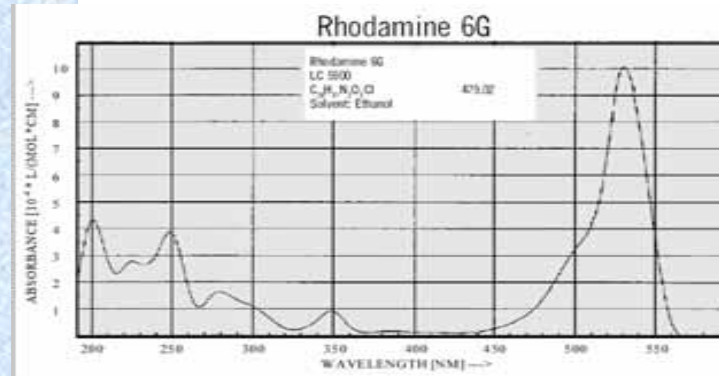
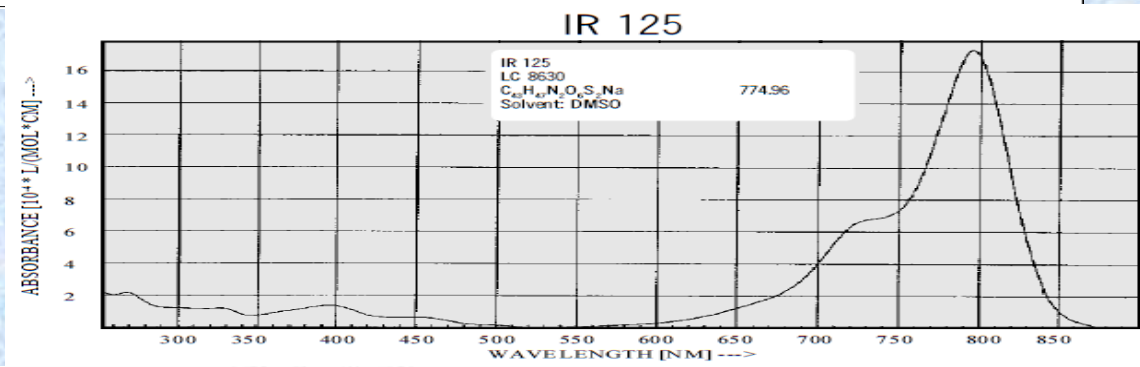
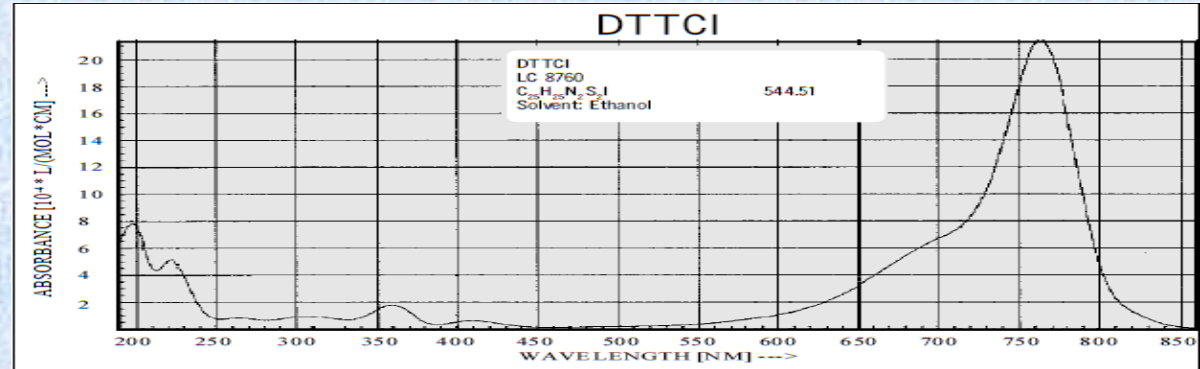
# 分光器って何？



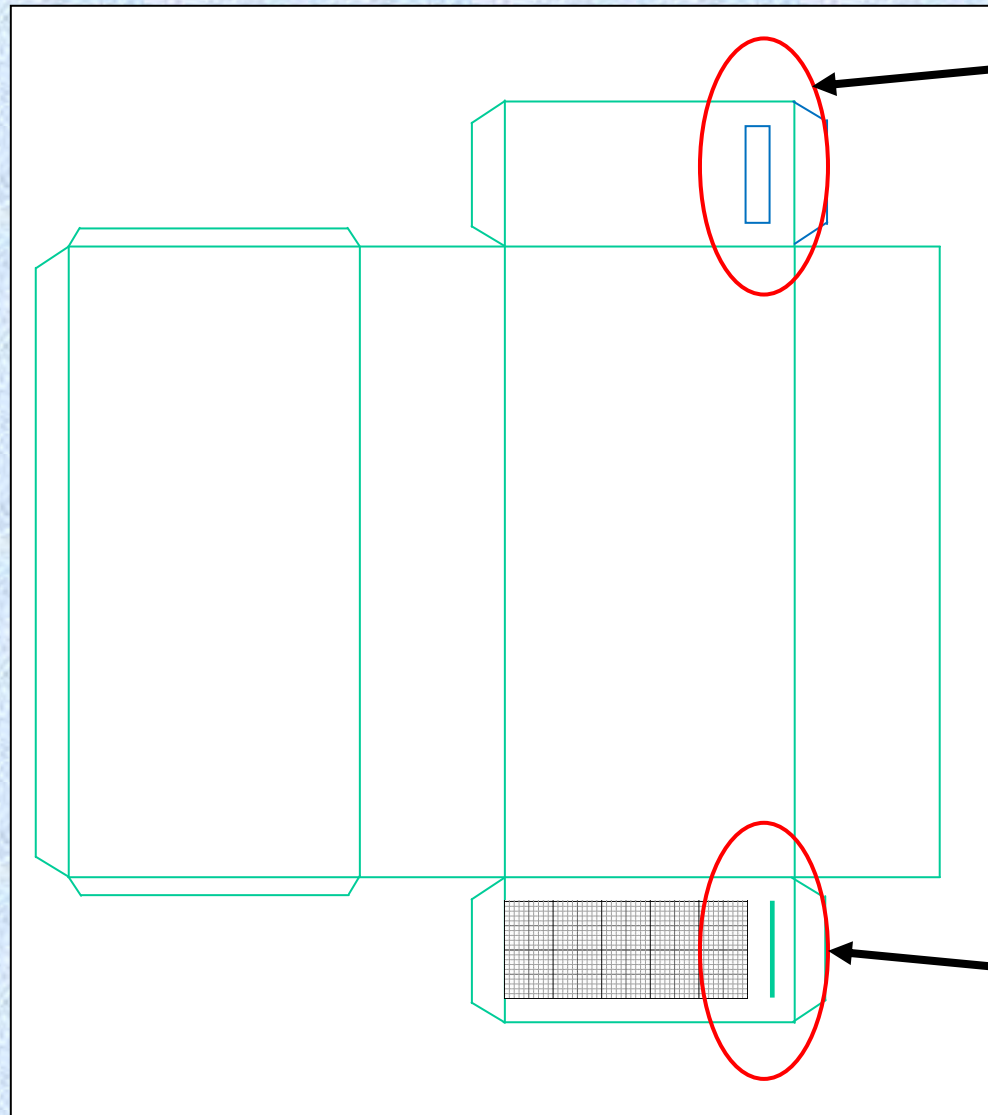
# 様々な光(発光ダイオード)のスペクトル



# 分光器で測定した色素溶液



# 分光器を作ってみよう



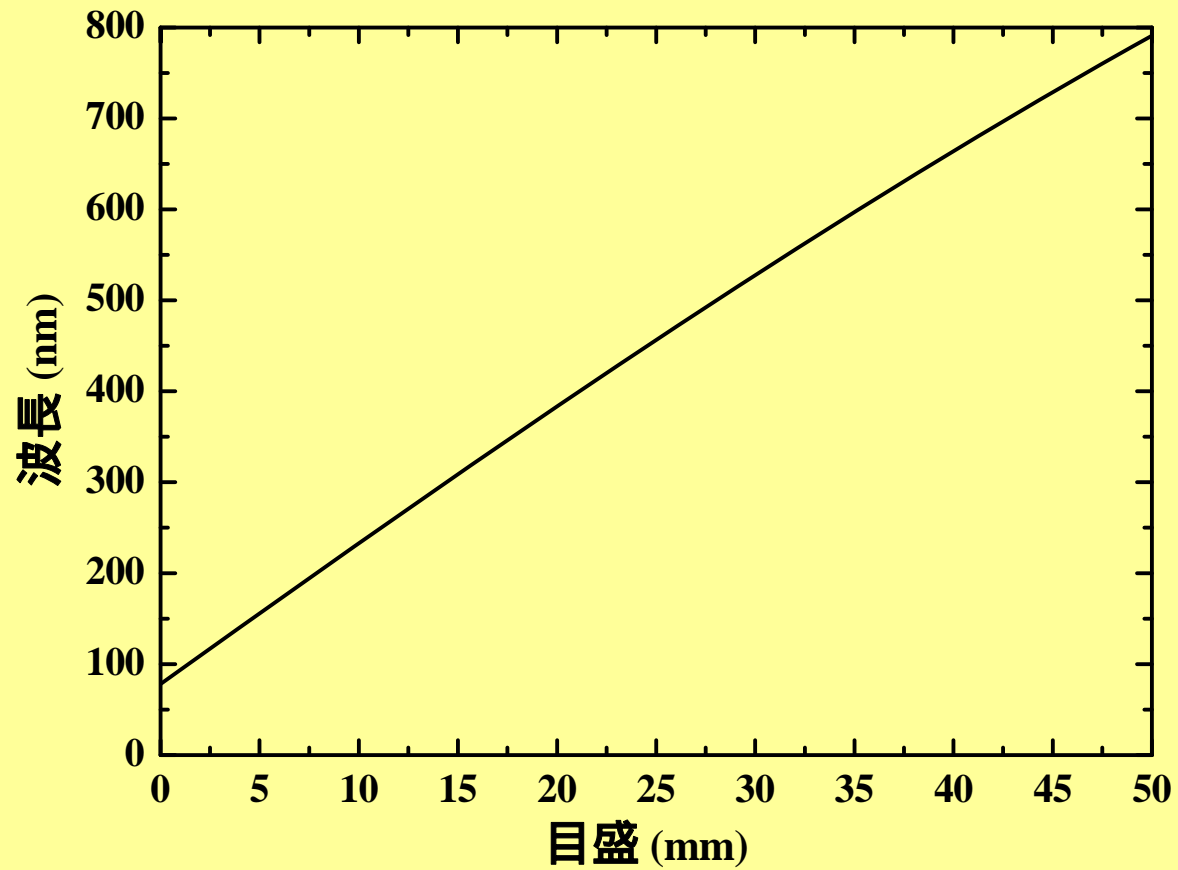
長方形の穴



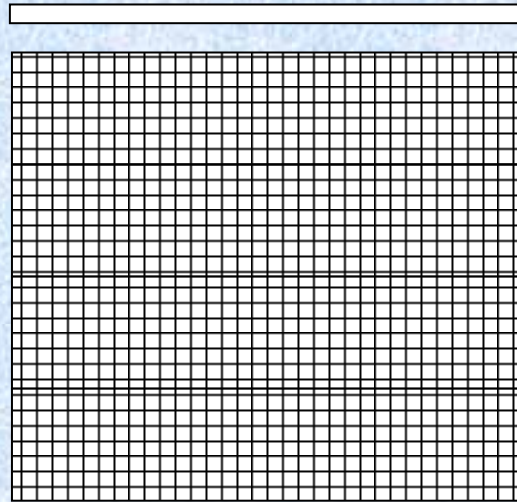
細い切れ込み

何が見えるか？

# 目盛りと波長の関係



# 目盛りの読み方



目盛り0



## まとめ

- ・光とは何か？

  - 光とは電磁波である

  - エネルギーを持った粒子としても考えられる

- ・物質とは何か？

  - 原子でできている

- ・原子の中身はどうなっているか？

  - 原子核の周りに電子が回っている

- ・物質の色とは？

  - 原子・分子の種類によって吸収する光が異なる

- ・レーザーで風船は割れる

  - 分子がその光を吸収したとき熱が発生する

- ・レーザーは物質からでてくる光を閉じ込め、増幅して出している

- ・高い反射率の鏡は反射と屈折の法則を使って設計できる

## まとめ

- ・光とは何か？  
光とは電磁波である
- ・物質は原子でできている
- ・物質に光が吸収されると電子の軌道が変わる
- ・レーザーで風船は割れる  
分子がその光を吸収したとき熱が発生する
- ・レーザーは物質からでてくる光を  
閉じ込め、増幅して出している
- ・光をいろいろな色に分けることで物質の性質が調べられる