

# 光の粒子性の再登場、マックスウエルの理論の破綻？

## キリヒホッフの放射法則の発見(1859)



G. R. Kirchhoff  
1824-1887

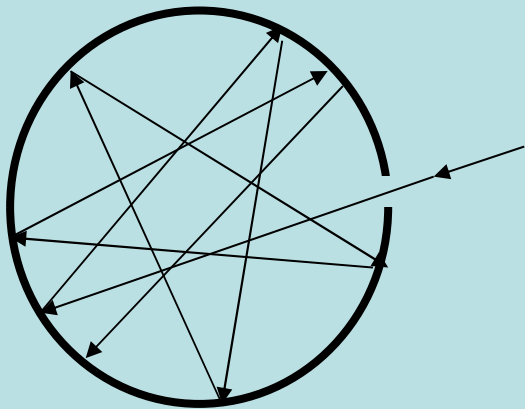
1847年に電気回路の基本法則を発見したキリヒホッフは、溶鋳炉の研究から1859年に黒体放射を発見し、放射に関する法則を見出した。

物体の電磁波の吸収率と放射率の比は温度と波長のみで決まり、一定である。



熱力学により

吸収率と放射率は等しい。

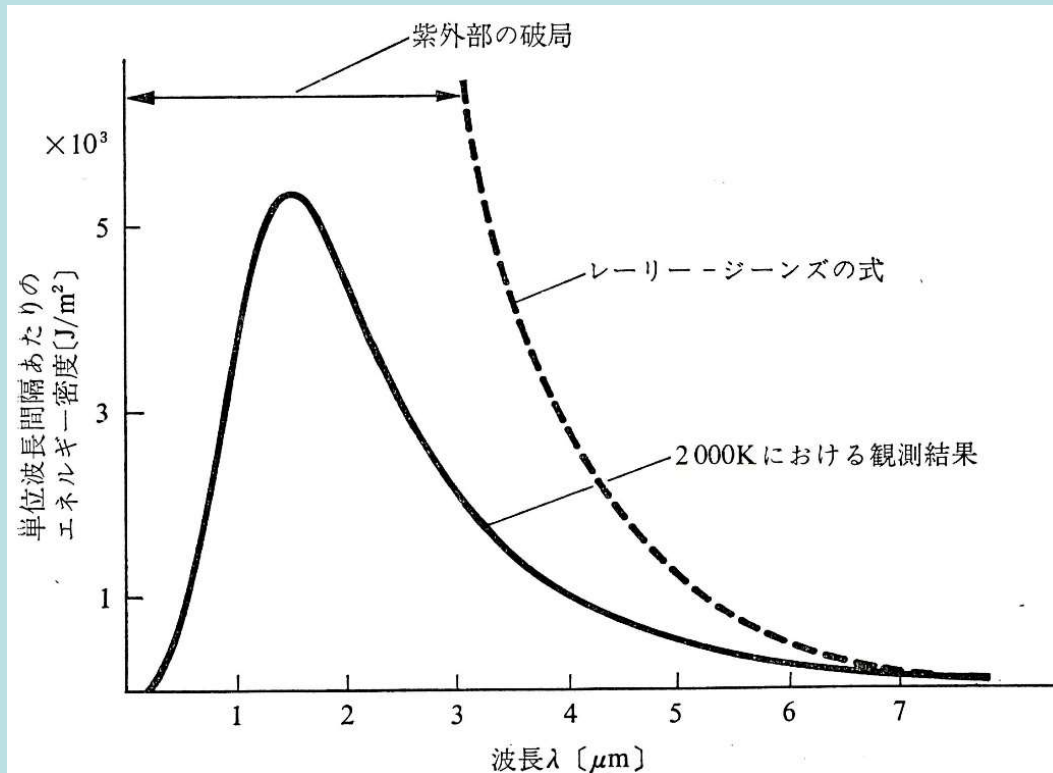


大きな球形空洞表面の極小孔より入った電磁波は空洞内部で反射を繰り返し、外に出ることはない。これを黒体放射、若しくは空洞放射と言う。

## レーリー・ジーンズの式(1900)

レーリー・ジーンズの式とは分子運動論と電磁気学から導いたある温度から放射される電磁波のスペクトル強度分布のことで、

レーリー卿が1900年に最初に発表した。その後、1905年にジェームズ・ジーンズが係数に誤りがあることを指摘した。



温度Tの物体から放射される波長λのエネルギー密度は

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda$$

であり、波長が

$\lambda \Rightarrow 0$ では、

エネルギーは

$u_{\lambda} \Rightarrow \infty$ となり、

**実験事実と矛盾する。**

## レーリー・ジーンズの式の破局の意味すること

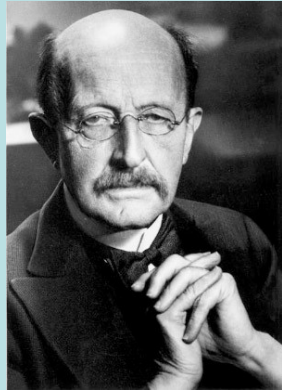
レーリー・ジーンズの理論においては、次のことを前提に構築されていた。

- ・ 空洞内に存在する マックスウエルの電磁波の定常波の波長分布を幾何学的に求める。
- ・ 熱力学とニュートン力学からなる分子運動論により、定常波のエネルギーを求める。



**ニュートン力学も熱力学も、そして電磁波理論も(⇒古典物理学)  
間違っている可能性が生じた。**

# プランクのエネルギー量子化仮説(1900)



M. Planck,  
1858- 1947

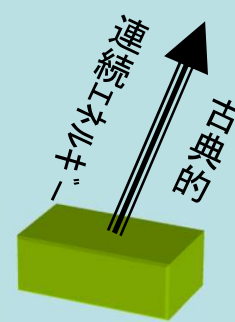
小さい波長領域でも**実験と良く合う**次の式をプランクは導入した。

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT \quad \Rightarrow \quad u_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^4} \frac{1}{e^{hv/kT} - 1}$$

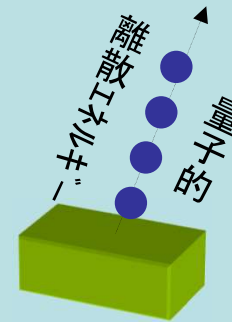
**実験式であって理論式でない**

レーリー・ジーンズの理論が破綻した原因は、空洞の中に存在する電磁波の周波数 $f$ が増えるとその量も増えることによる。

プランクは周波数 $\nu$ の波はエネルギー $h\nu$ の不連続な間隔でしかとることが出来ないと仮定した。



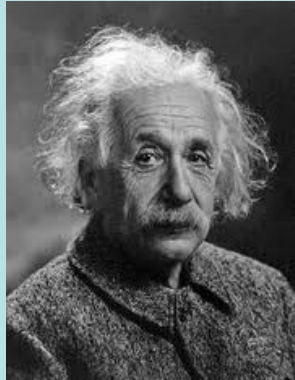
古典的放射



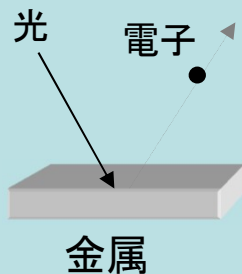
量子的放射

# アインシュタインの光量子仮説(1905年)

1905年、光電効果の実験事実に基づき、アインシュタインはプランクの仮説を実体化して光量子仮説を提案した。(エネルギー塊⇒粒子)



Albert Einstein、  
1879- 1955



## 光電効果

金属に光を照射すると電子が放出される現象

- ・ 光を照射すると**時間遅れなく**電子を放出。
- ・ いくら強い光を当てても**周波数が一定以上**でないと電子が放出されない。



電磁波理論では、電磁波のエネルギーの吸収から電子放出までにある一定以上の時間がかかり、また、電磁波のエネルギーは周波数でなく振幅に対応している。



**光の二重性: 波動性と粒子性の存在**  
(既存理論では矛盾する)