化学基礎論 C

第 2 回

前回

波長がとびとび

原子の発光スペクトル

古典物理学では説明できない

↓

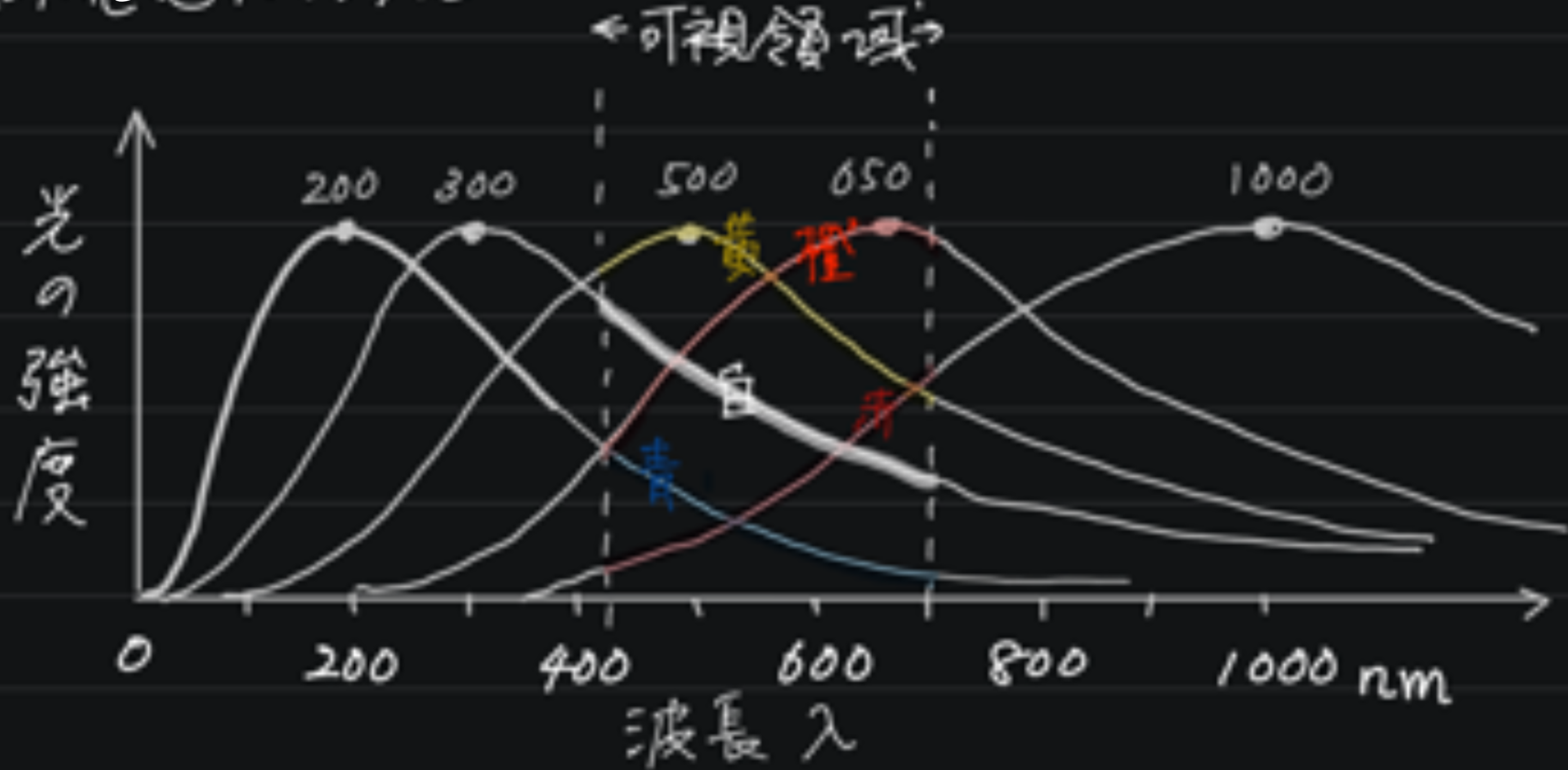
量子論のはじまり

原子だけか？

恒星の色と温度

	青	白	黄	だいだい	赤
T	15000 K	10000 K	6000 K	4500 K	3000 K
	リゲル (オリオン)	シリウス (おおいぬ)	太陽	アルクトゥルス	ベテルギウス (オリオン)
	スピカ (おとめ)	ベガ (こと)		アルデバラン	アンタレス (さそり)

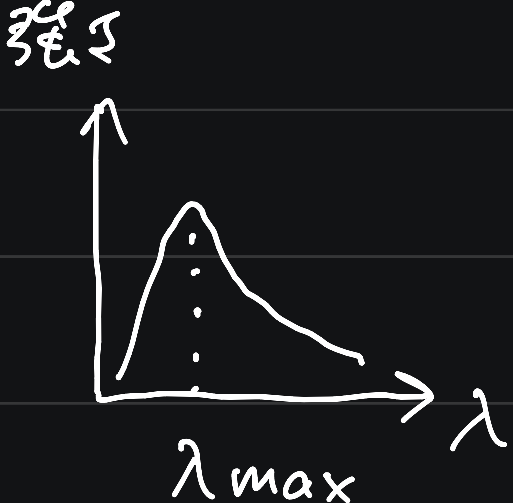
星の発光スペクトル



いずれも幅広いスペクトル。どこに極大があるかによって
色が変わって見える

発光スペクトルが極大値をとる波長 $\propto$ (温度)$^{-1}$

λ_{max} $\qquad\qquad$ $1/T$

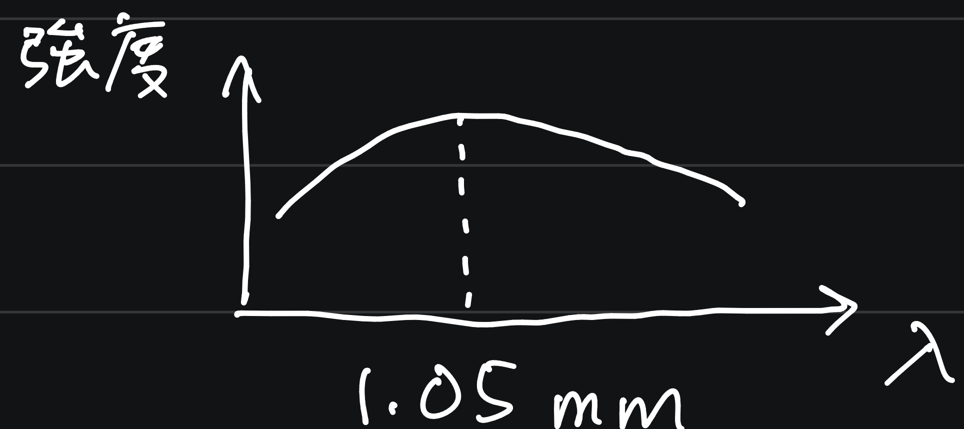


$$\lambda_{max} = \frac{2.9\times10^{-3}}{T}$$

		青	白	黄	だいだい	赤
T	:	15000K	10000K	6000K	4500K	3000K
$\lambda_{max} = \frac{2.9\times10^{-3}}{T}$	:	193 nm (約200)	290 nm (約300)	483 nm (約500)	644 nm (約650)	966 nm (約1000)

宇宙の温度は？

「背景放射」



にピークを持つ

$$T = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{\lambda_{max}} = 2.8\,\mathrm{K}$$

1-4 量子論のはじまり

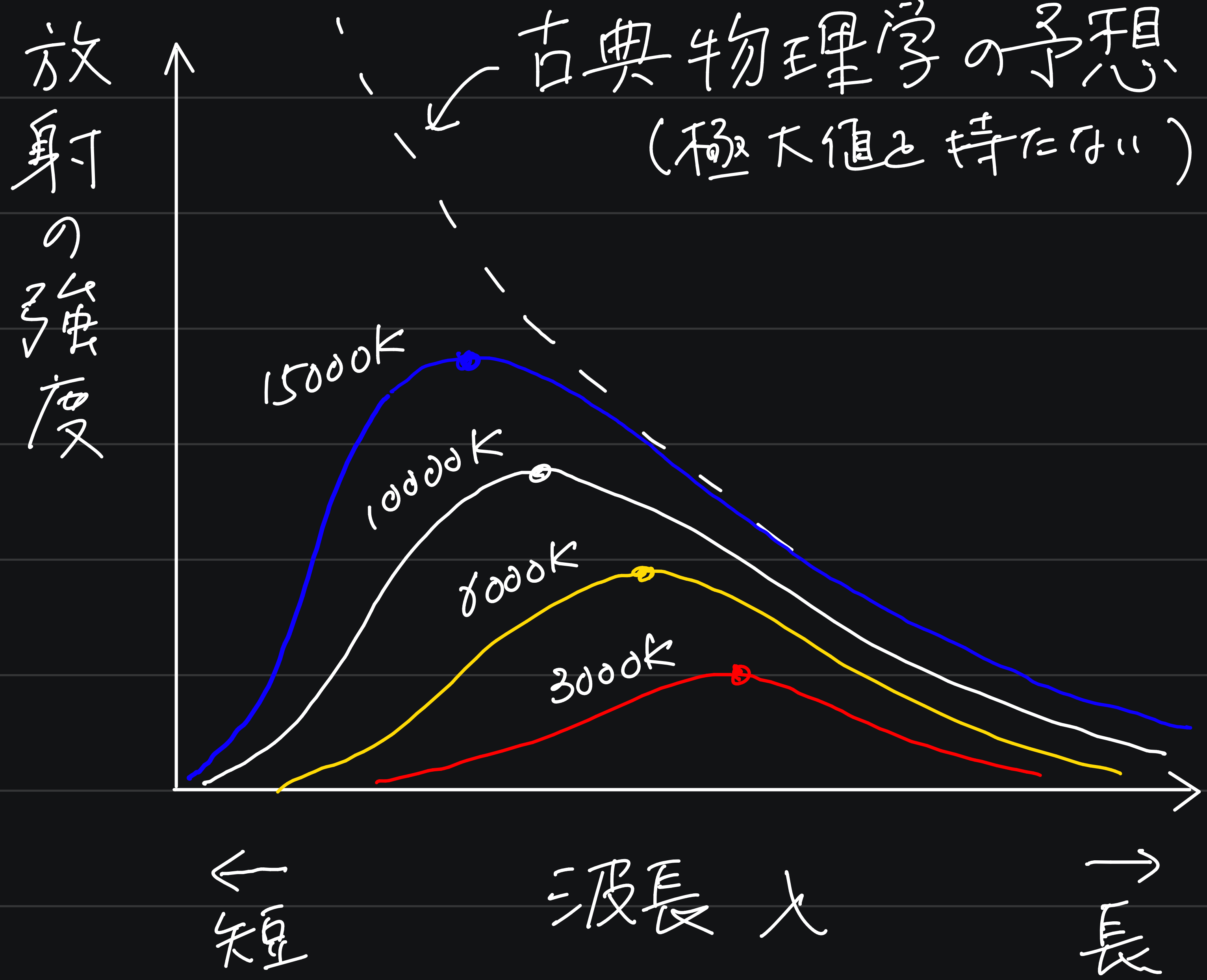
2つの重要な実験

- 黒体放射（輻射）
- 光電効果

(1) 黒体放射

電熱器や電球 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ 暗赤色 ⟶ 赤 ⟶ 黄 ⟶ 白 ⟶ 青

赤	黄	白	青
3000K	6000K	10000K	15000K
電球	太陽	シリウス	リゲル



極大波長 λ_{max}
温度 T

$$\lambda_{max} T = 2.9 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$$
(一定値)

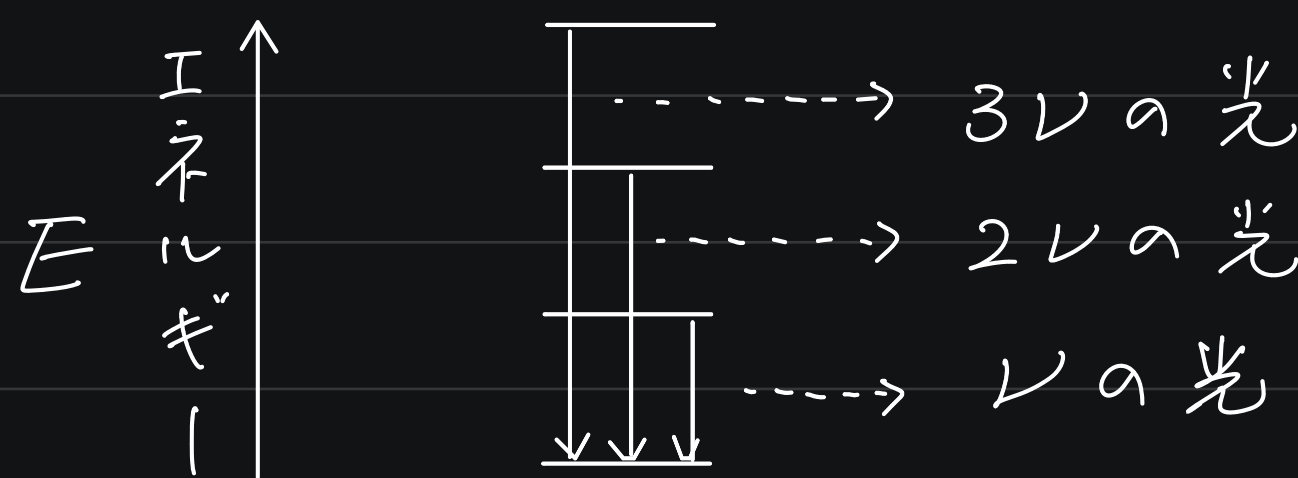
この式はそれまで(19世紀)の物理学では導き出せない

プランクの仮説　Max Plank

それまでの物理では「任意の値をとる」

物質中で電子のエネルギーはとびとびの値をとる

そして電子が放出するエネルギー ΔE は
振動数 ν の光として観測される



そして
放出されるエネルギーと光の振動数は比例するのでは？

放出されるエネルギーと光の振動数は比例する
ΔE ν
と仮定する。

その比例定数を h とすると

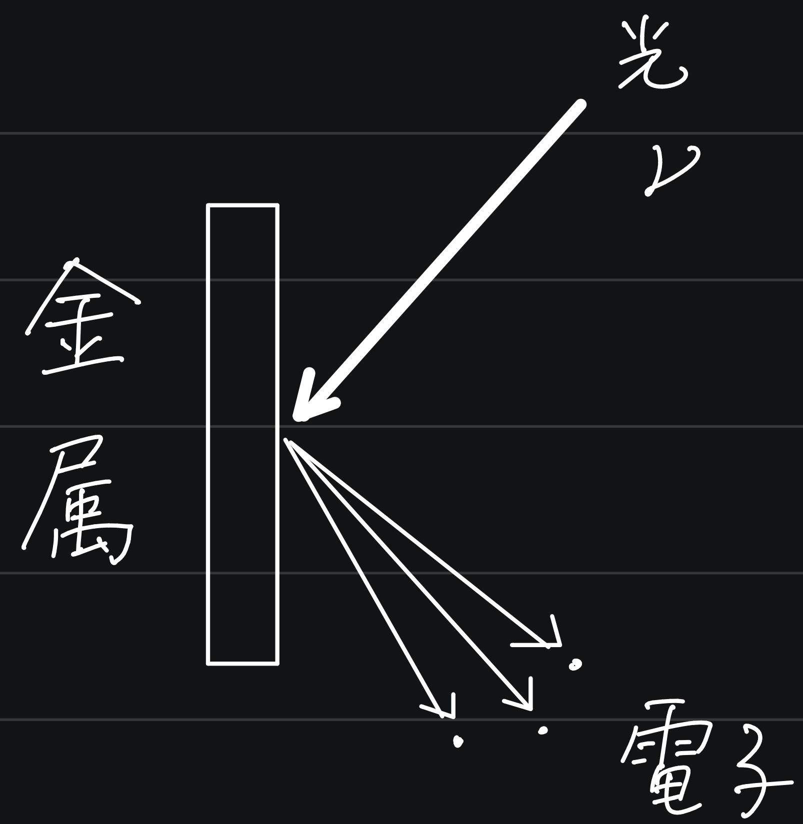
$$\Delta E = h\nu$$

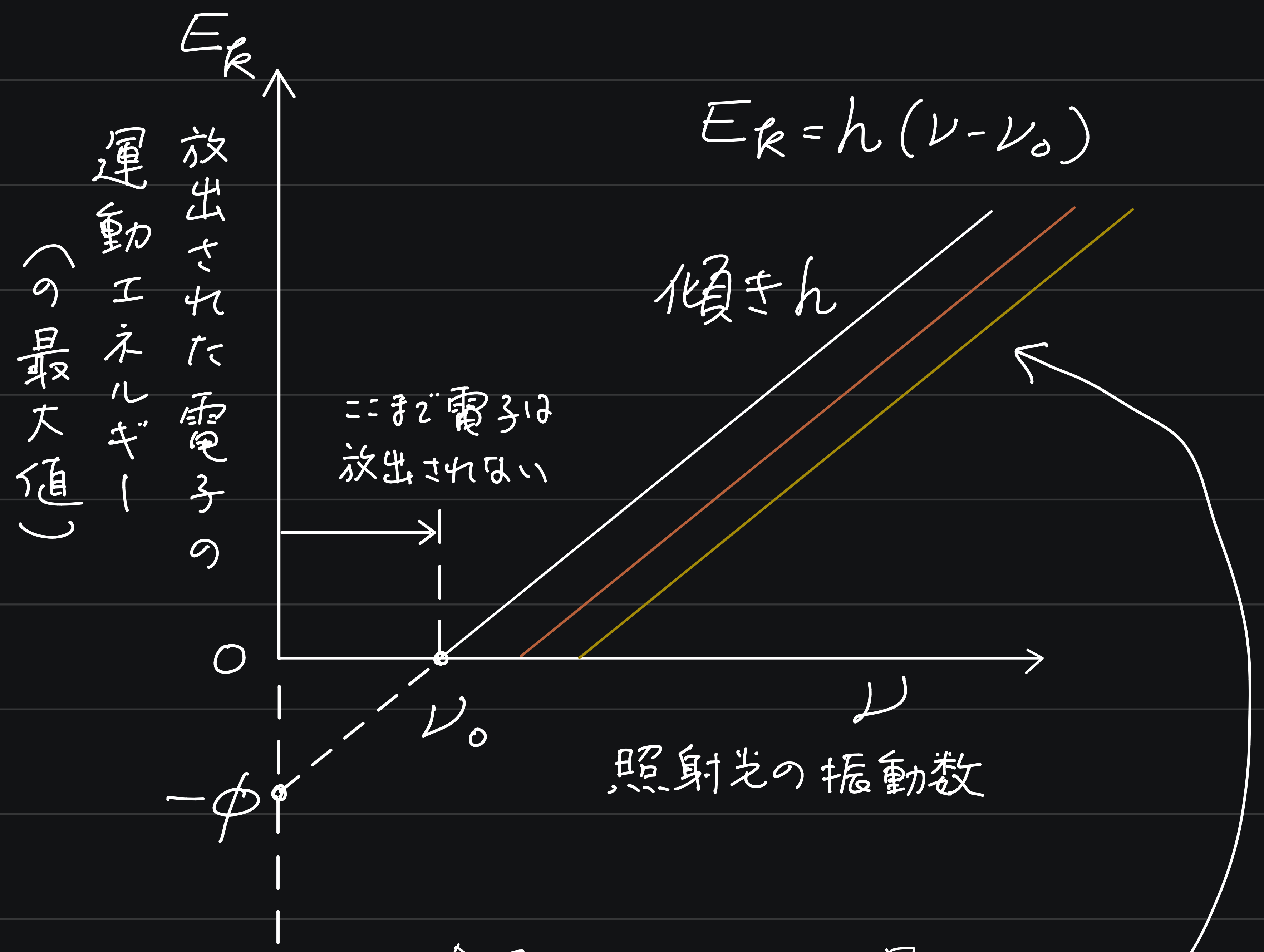
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ とすると、実験結果を再現できた

↓ ↓

のちの「プランク定数」 「プランクの分布則」

(2) 光電効果

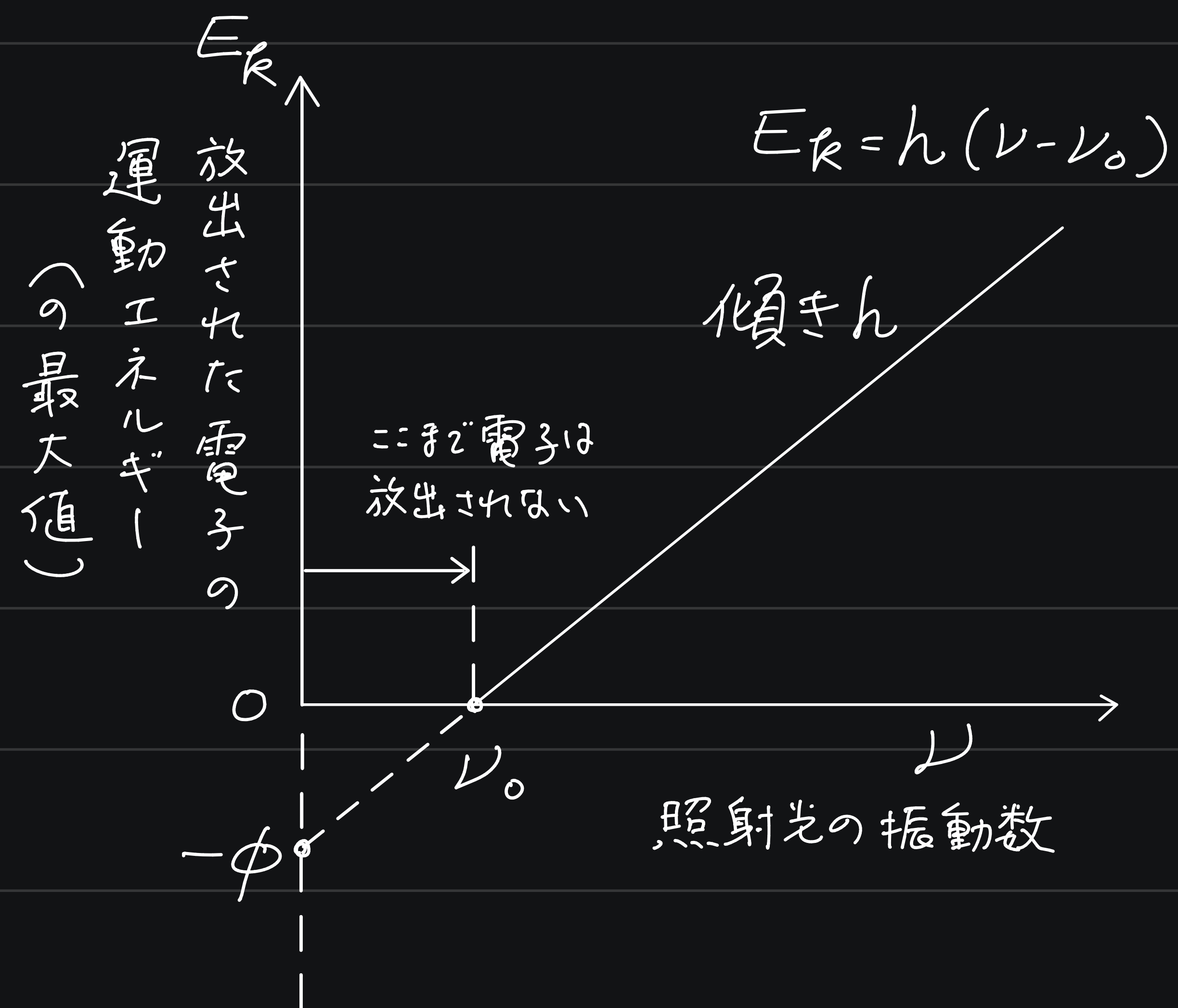




金属によってν_0が異なるが、傾きが共通の値hをとる

重要ポイント

- ν_0より小さい振動数の光をいくらを強くしても電子は放出されない
- ν_0より大きい 〃 〃 であれば、弱くても 〃 〃 される。



光は粒子のあつまり

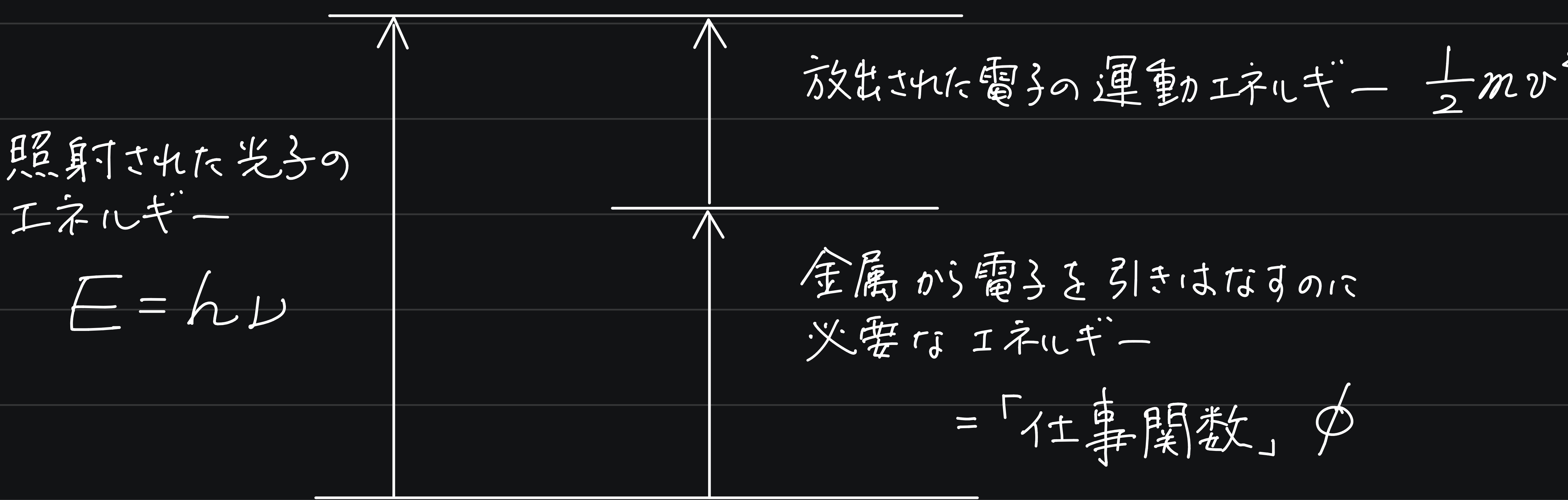
「光子」

photon

「光量子仮説」

アインシュタイン　Einstein

$$\boxed{\begin{array}{c}\text{1個の光子のエネルギー} \\ E = h\nu\end{array}}$$



$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + \phi \qquad (\phi = h\nu_0)$$

work function
= energy

1-5 波と粒子の二面性 wave-particle duality

光： 観測のしかたによって

波としてふるまう ⇔ 粒子としてふるまう

「電磁波」 「光子」

回折, 干渉 光電効果

強度 $\propto$ (振幅)^2 強度 $\propto$ 個数

物質も 波と粒子の 二面性をもつのでは？

ド・ブロイ　Lewis de Broglie

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

光子に対して成立する（相対性理論より）

アインシュタイン

波長　運動量

物質の時は mv

ド・ブロイは これが物質でも同じと主張

クイズ　光速の 1.00% で飛んでいる電子の
ド・ブロイ波長はいくらか？

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

$$= \frac{h}{m_e \cdot c \cdot 1.00 \times 10^{-2}}$$

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

$m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg

$c = 3.00 \times 10^{8}$ $\mathrm{m\,s^{-1}}$

$= 0.243 \times 10^{-9}$ m

$= 0.243$ nm $= 243$ pm ⇒ およそ化学結合の長さ

⇒ 電子顕微鏡に使われる
（電場・磁場によるしぼりこみが可能）

可視光 = 数100 nm
X線 = 数nm（レンズがない）

1-6 不確定性原理　uncertainty principle

電子（物質）

粒子として観測 ⟺ 波として観測

○ 位置を正確に決定できる
x

× しかし、波長は不明

→よって運動量も決められない

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

○ 波長を正確に決定できる

→よって運動量も正確に決定できる

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

× しかし位置は不明
x

この相補性を定量的に表わした

↓

ハイゼンベルクの不確定性原理　Werner Heisenberg

「粒子の位置と運動量を同時に正確に決めることは不可能である」

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$\boxed{\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{1}{2}\hbar}$$

（または単に $\geq \hbar$）
教科書によって異なる

「（位置の不確かさ）×（運動量の不確かさ）は プランク定数程度より小さくならない」

クイズ

1個の電子の位置を1個の原子内にあると決めようとすると、$\begin{pmatrix}\text{運動量}\\ \text{速さ}\end{pmatrix}$の不確かさはいくらか？

位置の不確かさ

水素原子の直径 $\approx$ 100 pm $= \Delta x$

位置の不確かさ

水素原子の直径 $\approx 100\,\mathrm{pm} = \Delta x$

運動量の不確かさ

$$\Delta p \geqq \frac{h}{4\pi \cdot \Delta x} = \frac{6.63\times10^{-34}\,\mathrm{Js}}{4\times3.14\times100\times10^{-12}\,\mathrm{m}} = 5.28\times10^{-25}\,\mathrm{Jsm^{-1}}$$

$$\approx 5\times10^{-25}\ (\mathrm{kgms^{-1}})$$

$m_e = 9.11\times10^{-31}\,\mathrm{kg}$ より

速度の不確かさ

$$\Delta v = \frac{\Delta p}{m_e} = \frac{5.28\times10^{-25}\,\mathrm{kgms^{-1}}}{9.11\times10^{-31}\,\mathrm{kg}} = 5.80\times10^{5}\,\mathrm{ms^{-1}}$$

$$\approx 600\,\mathrm{kms^{-1}}\ !!$$

宿題　1. 教科書 p73〜p78 を読む

2. 復習問題 1.4B, 1.5B, 1.6B, 1.7B を解答し、CLEに提出する