

☆ 不確定性原理

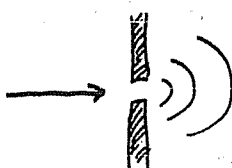
問. 光は波か粒子か?

光線?

- } Newton : 粒子説
- } Huygens : 波動説 (1678)

① 光の波動的性质

1. 屈折 ¹³⁴
 : コップの中のコップ,
 : プールで 短足になる.

2. 回折  ¹³⁴
 (AM ラジオ波は 山をまわり = 回折)
 スリット(穴)のあとで ついた

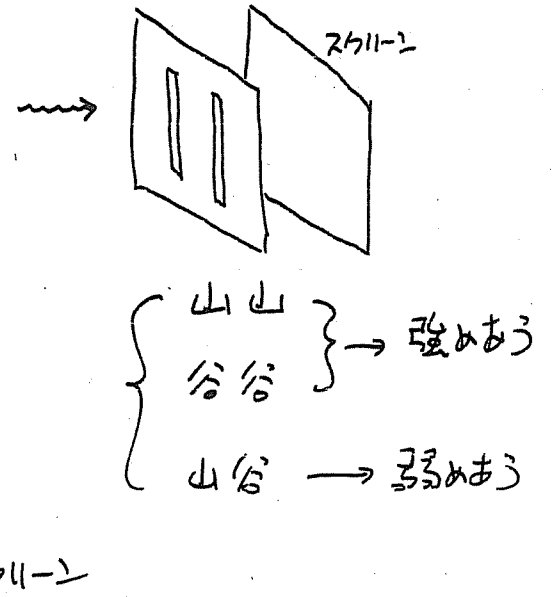
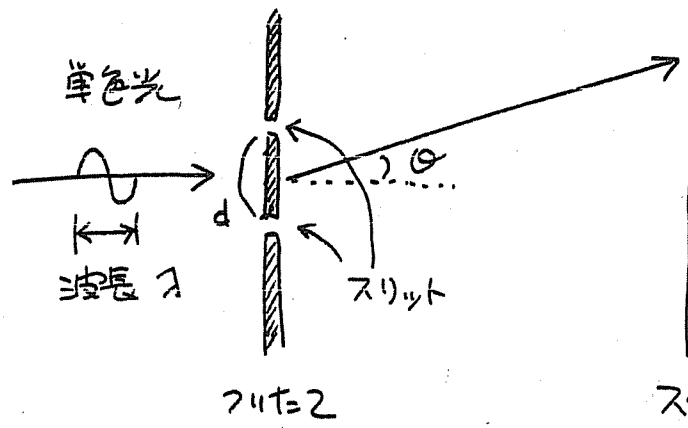
3. 干渉 ¹³⁴
 : 指の間のすきまや (フラウンホーファー回折)
 : 2本の棒 での

注. 波とは何かは説明し難い。
 水面上の波 想像で。

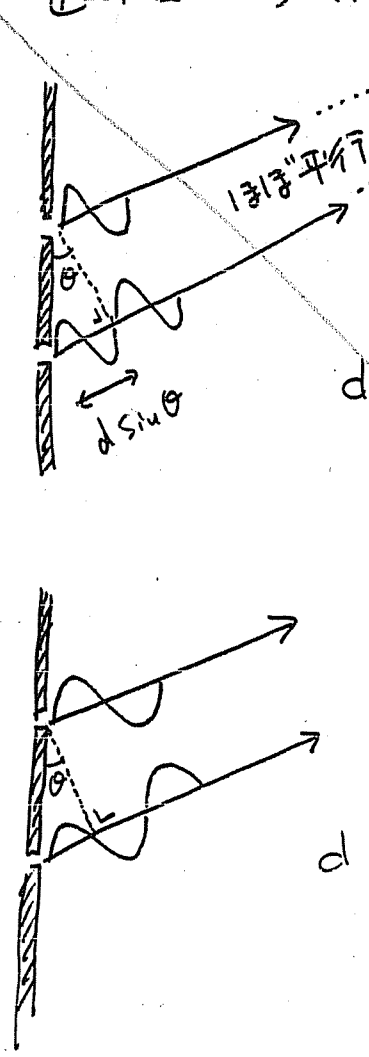
Young の実験 (1801)

図 I, II

- 2つのスリットによる干渉



- (スリット間の距離 d) \ll (スクリーンまでの距離) の場合



$$d \sin \theta = n \lambda \quad n \in \mathbb{Z}$$

⇒ 強めあふ

注 (光の強さ)
 $= | \text{場の大きさ} |^2$
 $= | \text{振幅} |^2$

$$d \sin \theta = (n + \frac{1}{2}) \lambda, \quad n \in \mathbb{Z}$$

⇒ 弱めあふ

注 1つのスリットでも干渉は起こるが、これは別の話。

② 光の粒子的性質 (田, 下, 田)

3

▲ 非常に弱い光での干渉実験

- 薄く干渉縞ではなく、一点が感光。
- スクリーンの感光 = (銀)原子の状態変化
(そのためのエネルギーは既知)
- もし光が波なら \Rightarrow エネルギーを多くの原子に
いかにわくと与える。

\Rightarrow 感光粒子のために長時間必要

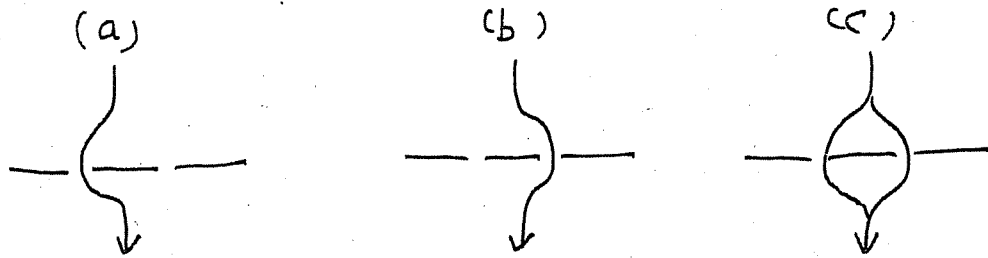
(例 . 北極星を見つければ 10年かかる)
街の夜景を 1秒程 かける)

3 実験事実

Fact 1. 微弱光でも、どこか一つの(銀)原子が感光。

"光子はスクリーンに粒子として現われる。"

- もし粒子なら、 $\frac{1}{2}$ の軌道は次の3通りになる(??)



But

Fact 2. 両方のスリットを同時に開くと、~~両方のスリット~~ 同時に観測される。

"光子は不可分"

∴ (c) ではない。

主張 : Planck - Einstein の 光量子説 (1900, 1905)

光子は不可分の粒子として原子に吸収(放出)される。

"エネルギーの受け渡しは量子化されている。"
(とびとび)

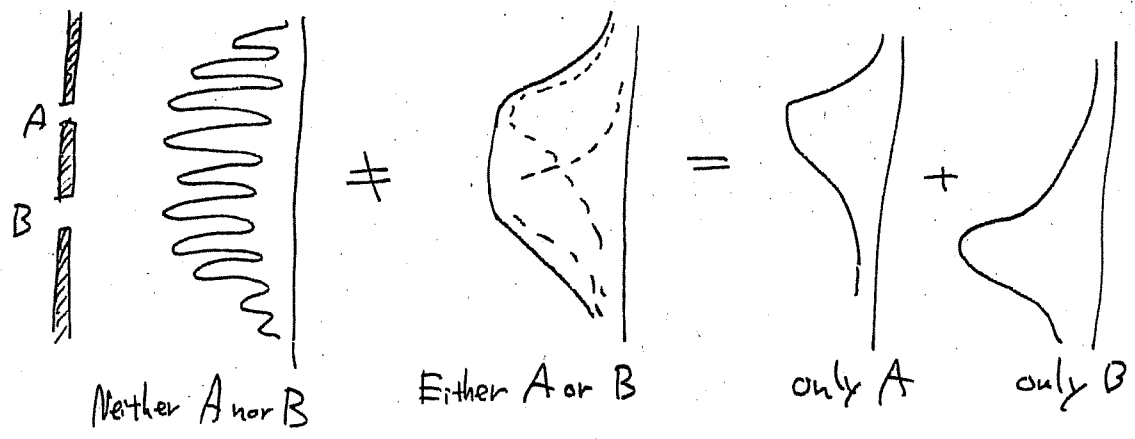
注 今、証明してあげる。

Fact 3. 多数の光子の点の集合として干渉縞が現われる。

“干渉像は統計的”

- もしどちらかのスリットを通ったなら、他方を閉じておいても同じはず。
 ∴ (a) or (b) なら 片方を閉じた時の像の和に等しいはず。

But Fact 4. 干渉像は | 片方を閉じたときの | 片方を閉じたときの | 干渉像の和に等しいはず。



∴ (a) と (b) とは等しい。

∴ “軌道運動と干渉現象は両立しない”

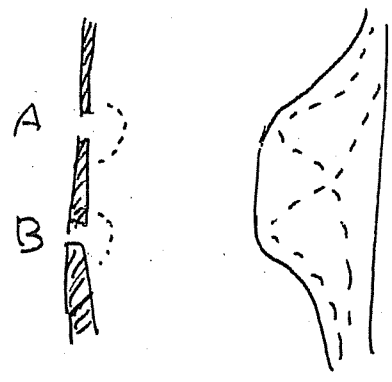
原理 Heisenberg の不確定性原理 (1927)

光子や電子は “軌道という属性” を持たない。
(径路) (概念)

注. 原理は証明できない。 “Newton 力学の矛盾”

Fact 5. スリットの近くで光子を監視し、
どちらのスリットを通ったかを観測すると、

干渉は消滅する。これは4の1番目の条に相当する。



(光子あたり
薄膜の反射光子)

Either A or B

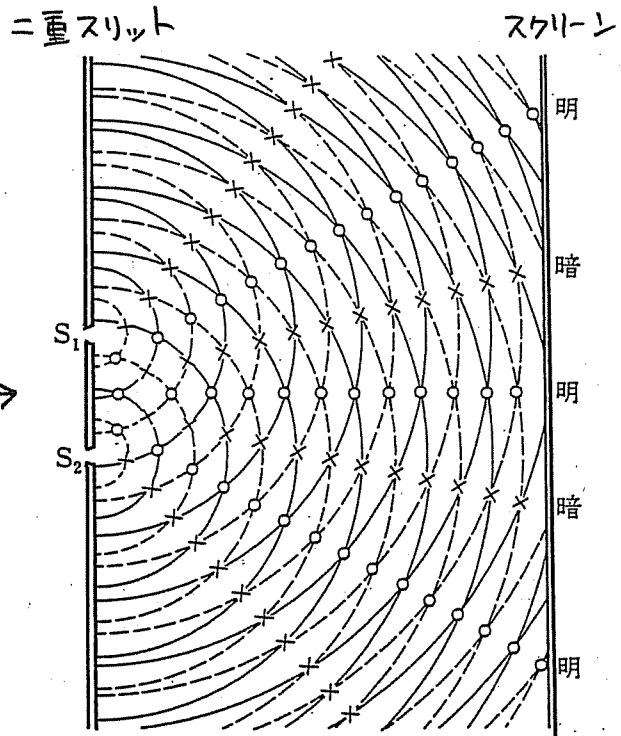
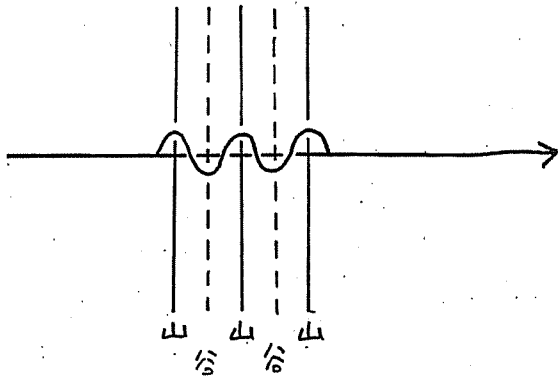
* 監視により結果が下で変わった。

Ex. 1 "光子の裁判" を読んで考察せよ。

論理の進め方はどうして。

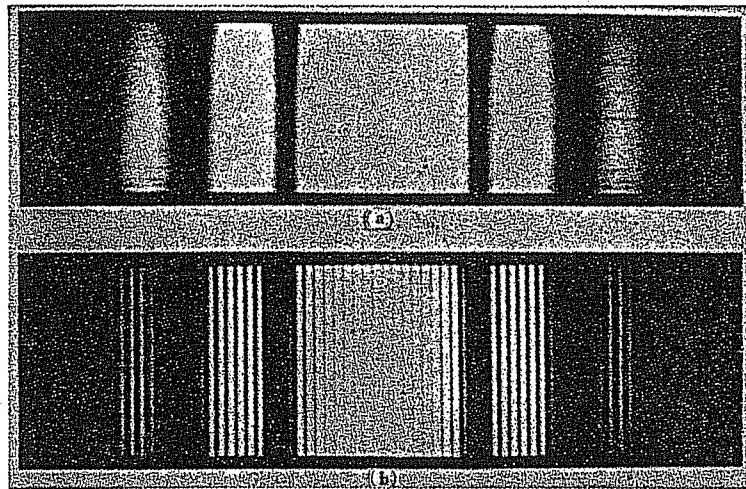
△ 波動性

I. Young の実験



原島 鮮
"初等量子力学"
堂 華房

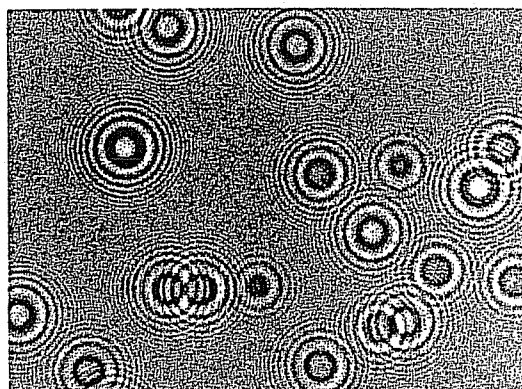
II.



朝永 振一郎
"量子力学 I"
みすず

スリットによる光の回折干渉写真。
(a)は一つのスリットによって生ずる像、
(b)は二つのスリットによって生ずる像

III.

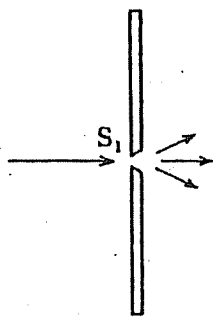


コロジオンの膜穴で生じた電子の波紋

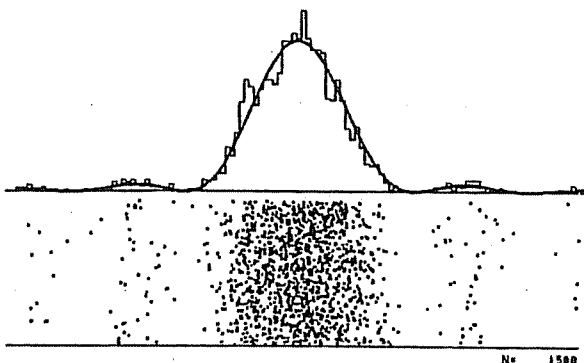
外村 彰
"量子力学への招待"
岩三波

△ 粒子 + φ

IV.



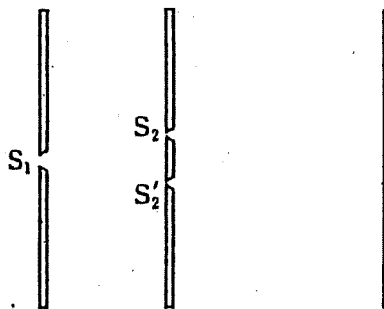
(a)



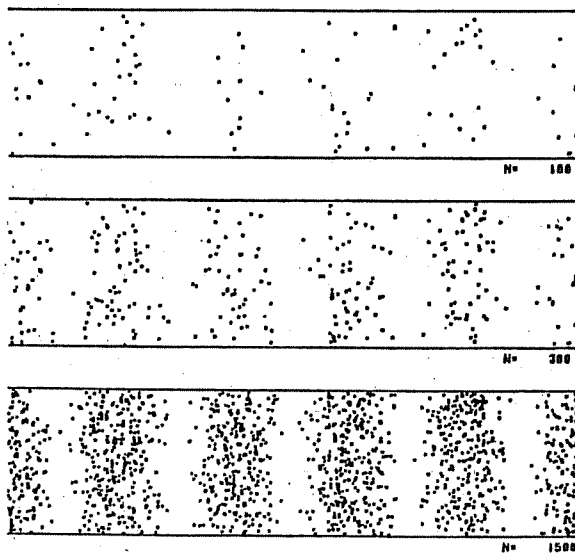
(b)

一つのスリット (a) による回折像 (b)

V.



(a)

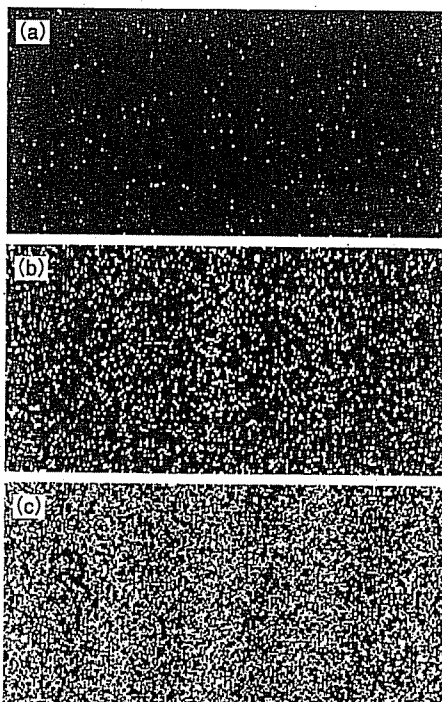


(b)

二つの平方スリット (a) による干渉模様形成過程 (b)

日本物理学会
"量子力学と新機
構" 田村 隆

VI.



田村 隆
同左

電子が積算されて干渉縞が形成される様子。
(a) 電子の数=1000.
(b) 電子の数=5000.
(c) 電子の数=7000