量子コンピュータとは何か？

情報学と最先端の物理学理論が融合した先を見据える

私が量子情報に
出会うまで

- 宇宙の仕組みが知りたかった
- 物理学理論
- 最先端は量子力学
- 量子力学と情報処理
→量子情報

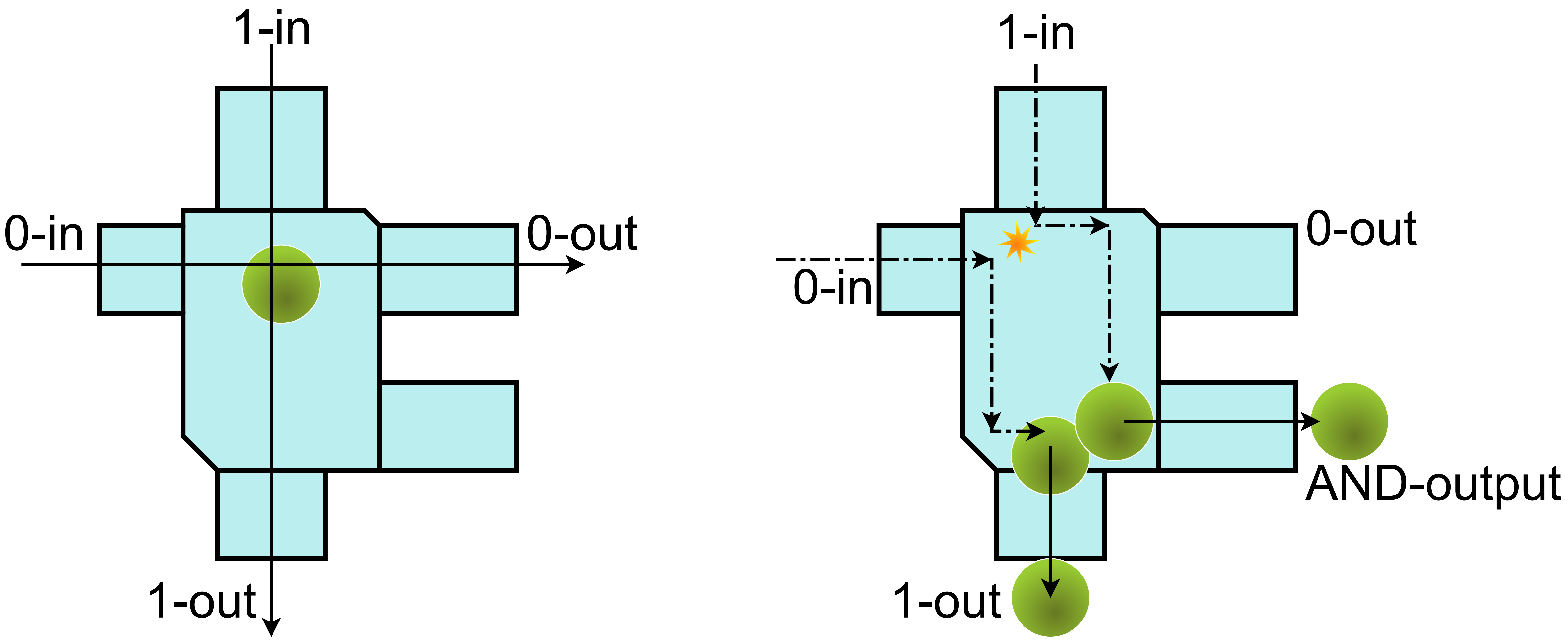
理論

計算とは？

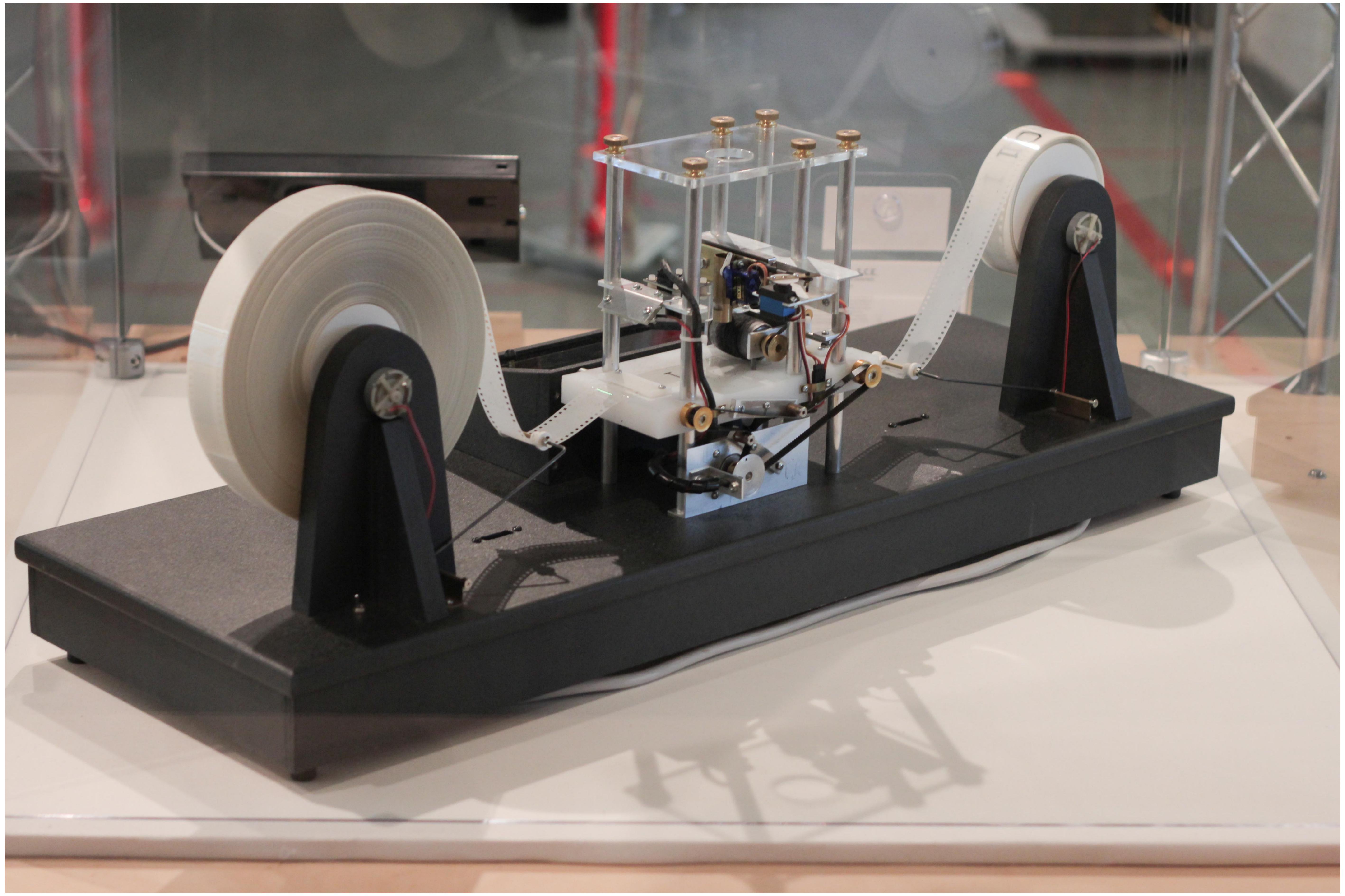
$$60 + 21$$

$$\begin{array}{r} 111100_{(2)} \\ +\quad 10101_{(2)} \\ \hline 1010001_{(2)} \end{array}$$

これも計算



チューリング機械

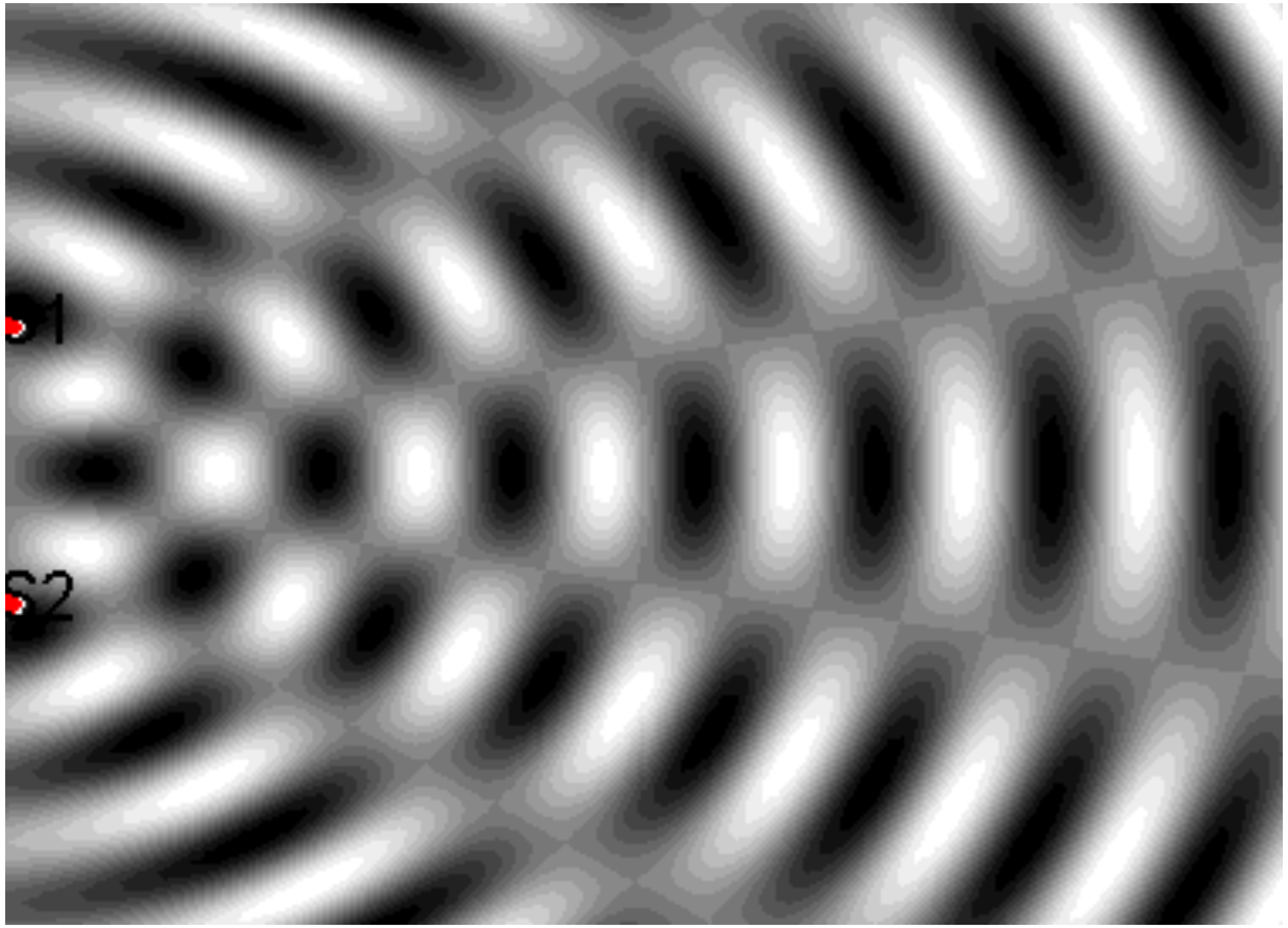


物理学

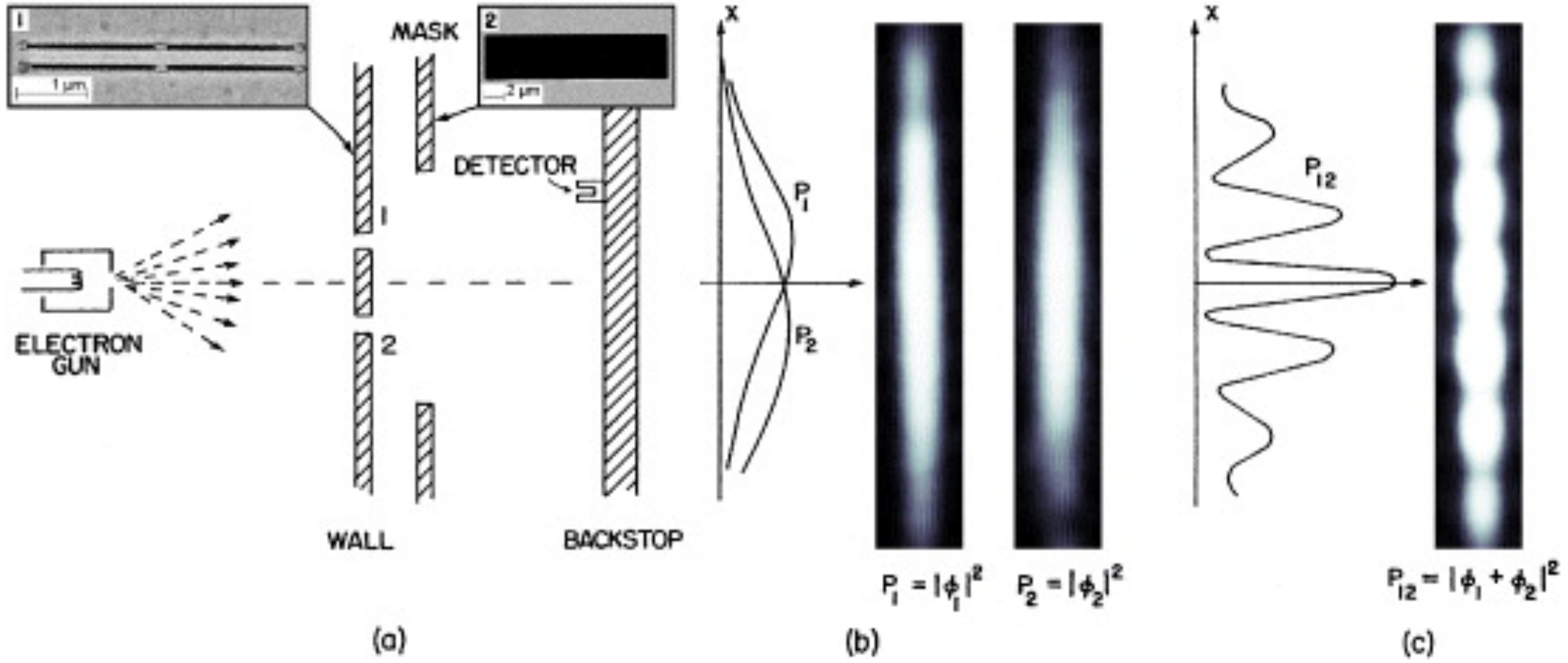
- 還元主義
- 普遍性
- 全宇宙の物理法則
- ミクロな世界：量子力学

$$\frac{1}{1{,}000{,}000{,}000}$$

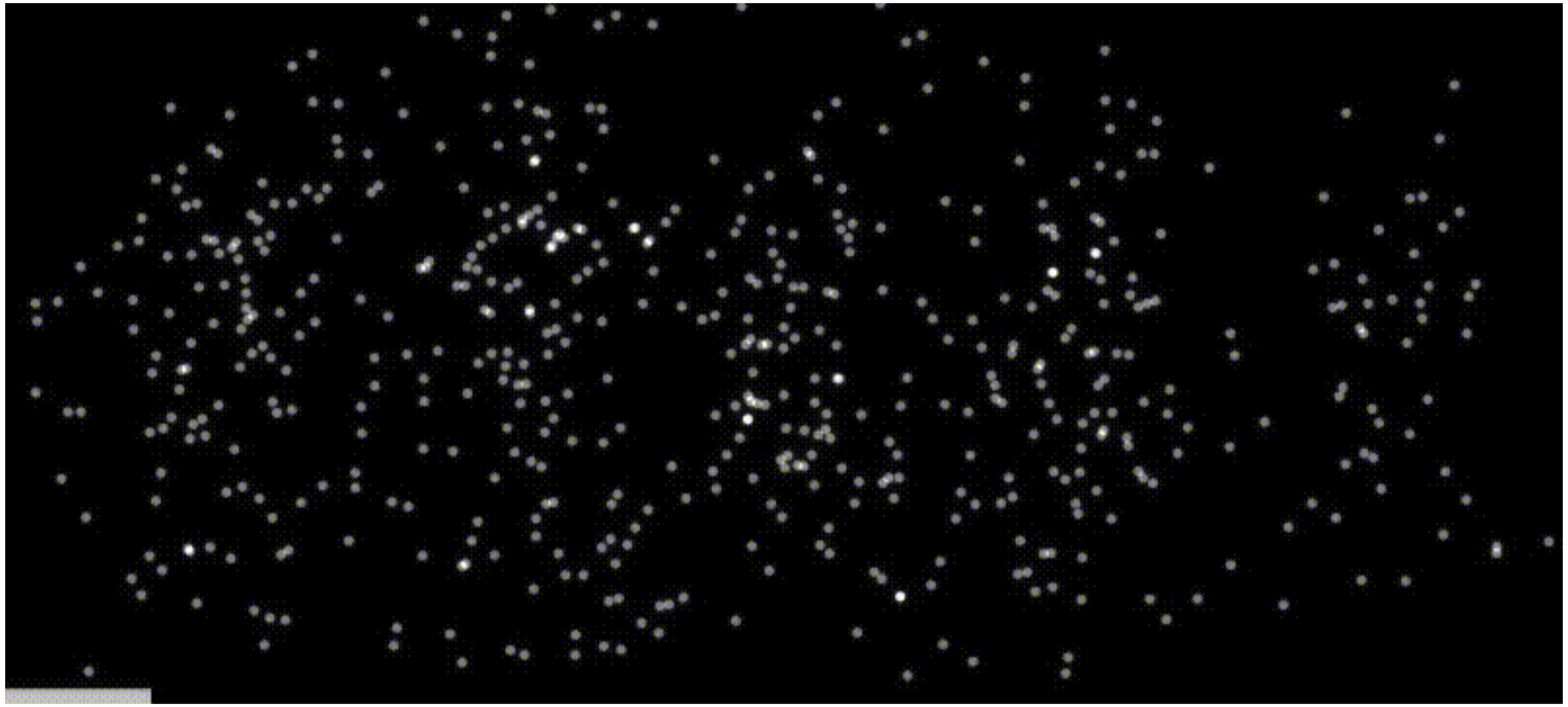
波の干渉



電子の二重スリット実験

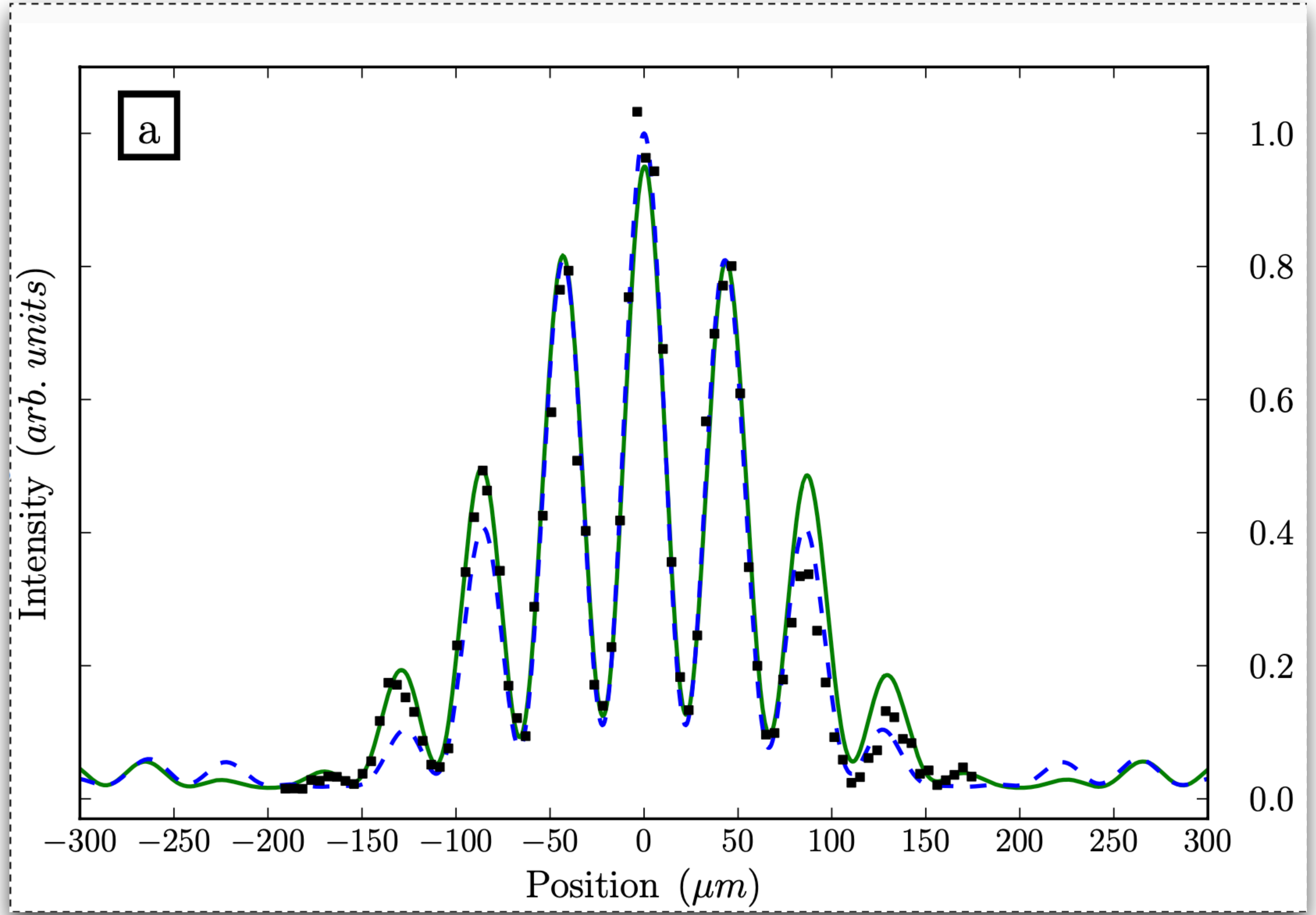


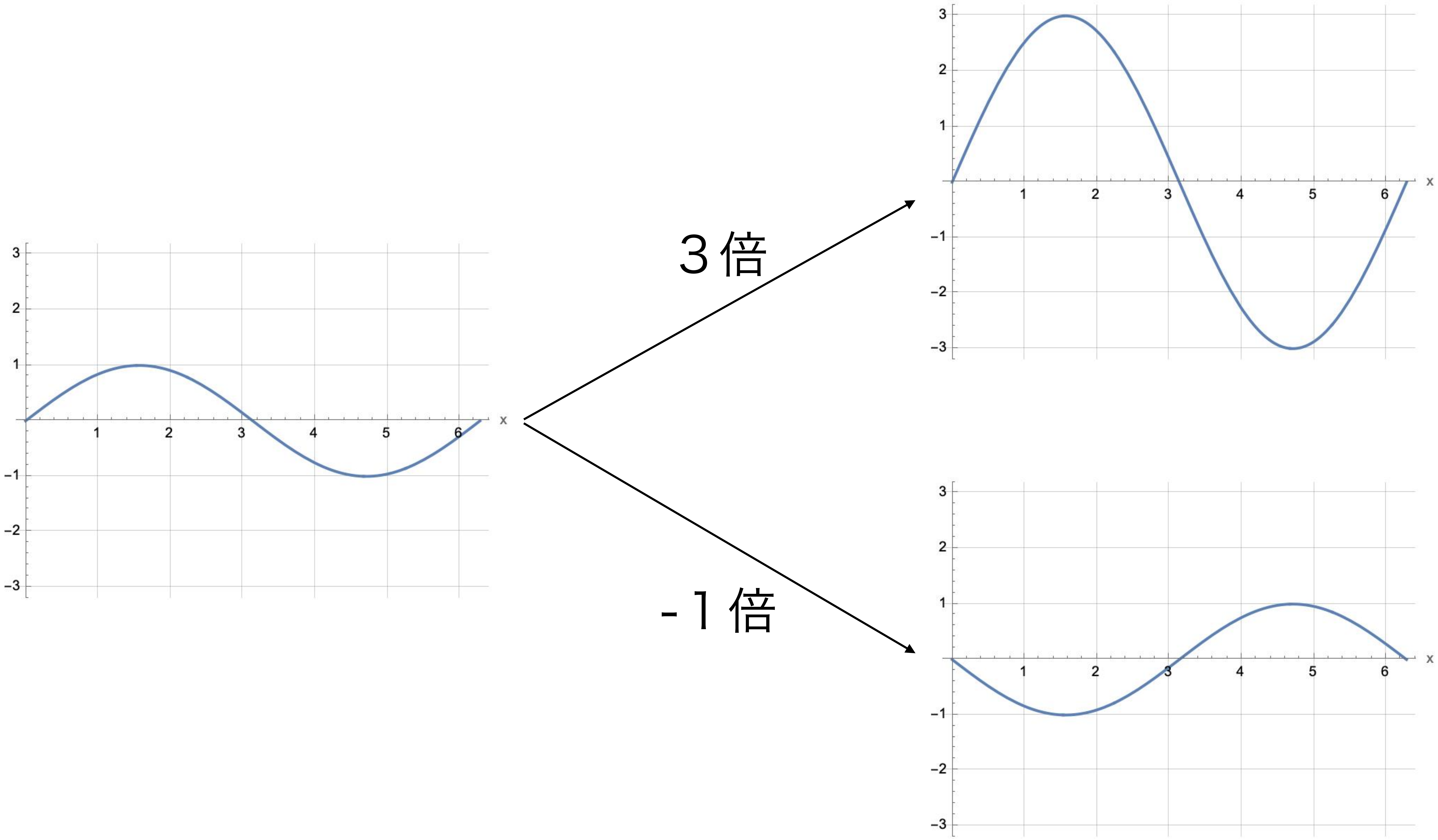
電子の二重スリット実験



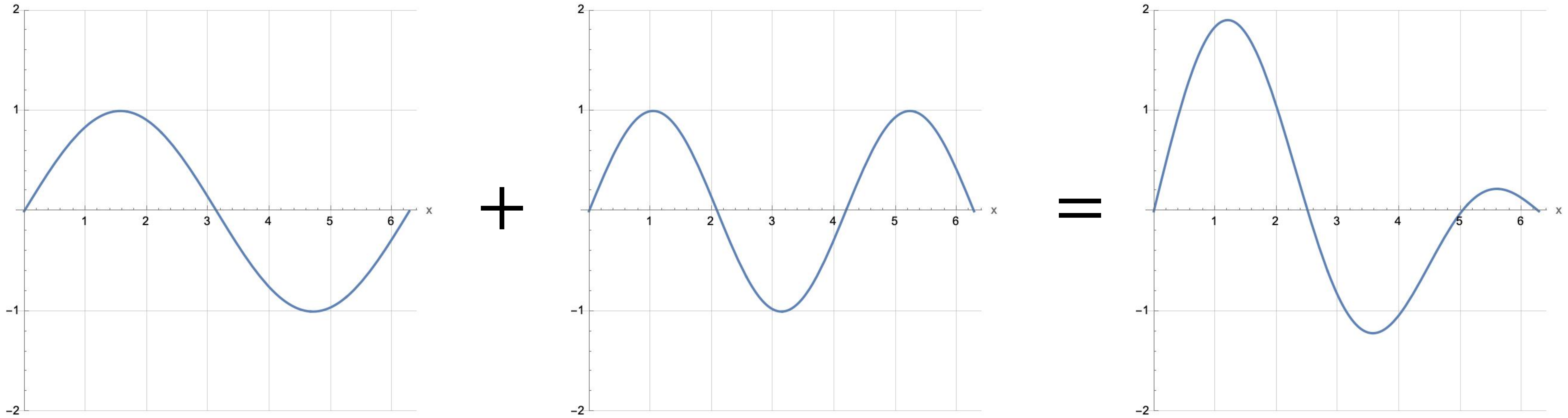
By Roger Bach, Damian Pope, Sy-Hwang Liou and Herman Batelaan See Roger Bach et al 2013 New J. Phys. 15 033018DOI 10.1088/1367-2630/15/3/033018 - https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/15/3/033018/data, CC BY 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=132124128

電子の二重スリット実験




3倍
-1倍
x
x
x

重ね合わせ



ベクトルの
スカラー倍

$$x\begin{pmatrix}a\\b\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}x\,a\\x\,b\end{pmatrix}$$

ベクトルの足し算 $$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a + c \\ b + d \end{pmatrix}$$

量子状態は複素ベクトル

実数

. 例：1, 3, $\sqrt{2}$, -0.5

正 × 正 = 正

正 × 負 = 負

負 × 正 = 負

負 × 負 = 正

純虚数

$$i^2 = i \times i = -1$$

複素数

実数と純虚数の四則演算で
得られる数

$$a + ib$$

実数

ケット表記

$$x\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} + y\begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix}$$

$$x|v_0\rangle + y|v_1\rangle$$

複素ベクトルは
量子状態

$|\psi\rangle$は量子状態

$|\varphi\rangle$は量子状態

$$\Downarrow$$

$\alpha|\psi\rangle + \beta|\varphi\rangle$も量子状態

確率は？

特別な量子状態

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{とか} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{とか} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{とか} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

特別な量子状態が２個の場合は
量子ビット

$$a + ib \xleftrightarrow{\text{複素共役}} a - ib$$

$$|\alpha|^2 = \alpha\alpha^*$$

量子測定は
特殊な量子状態を
確率的に選ぶ

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$= \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

$|0\rangle$を確率$\dfrac{|\alpha|^2}{|\alpha|^2 + |\beta|^2}$

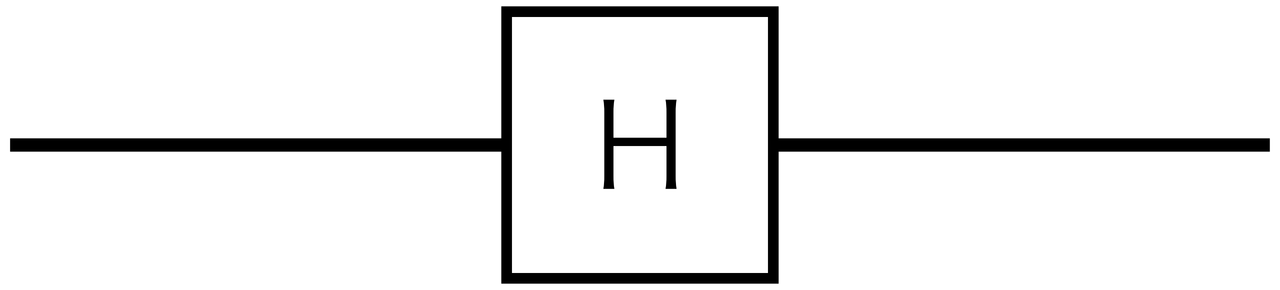
$|1\rangle$を確率$\dfrac{|\beta|^2}{|\alpha|^2 + |\beta|^2}$

量子状態の変化は行列

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a\,x + b\,y \\ c\,x + d\,y \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a\,x + b\,y + c\,z \\ d\,x + e\,y + f\,z \\ g\,x + h\,y + j\,z \end{pmatrix}$$

量子ゲート



$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

量子系と量子系は量子系

量子ビット１

$|0\rangle_1$と$|1\rangle_1$

量子ビット２

$|0\rangle_2$と$|1\rangle_2$

量子ビット１＆量子ビット２

$|0\rangle_1|0\rangle_2$

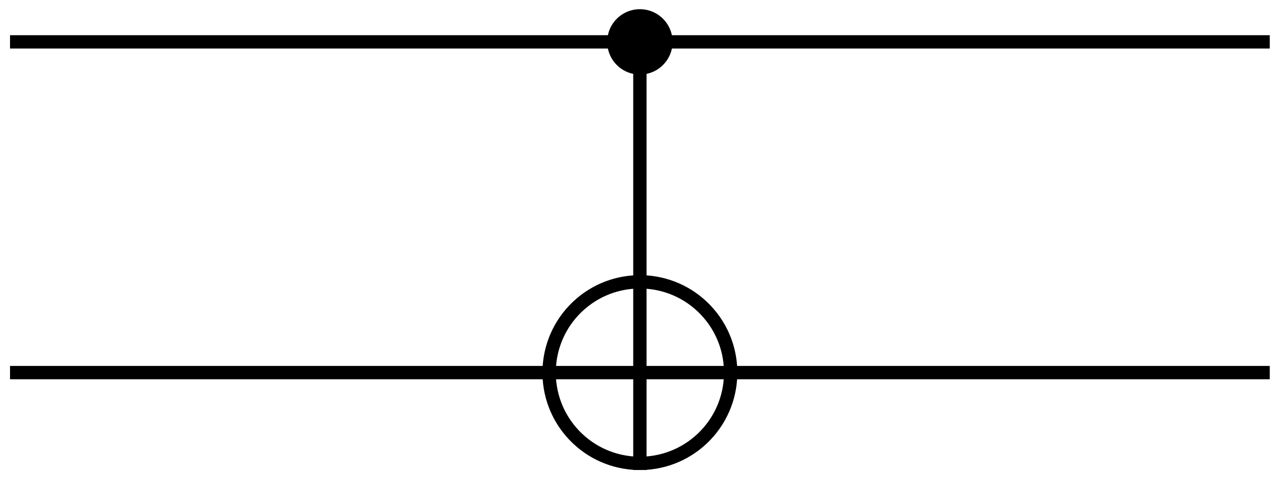
$|0\rangle_1|1\rangle_2$

$|1\rangle_1|0\rangle_2$

$|1\rangle_1|1\rangle_2$

$$\Downarrow$$

$$\alpha|0\rangle_1|0\rangle_2+\beta|0\rangle_1|1\rangle_2+\gamma|1\rangle_1|0\rangle_2+\delta|1\rangle_1|1\rangle_2$$



$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$2^n$$

$$2^1 = 2$$

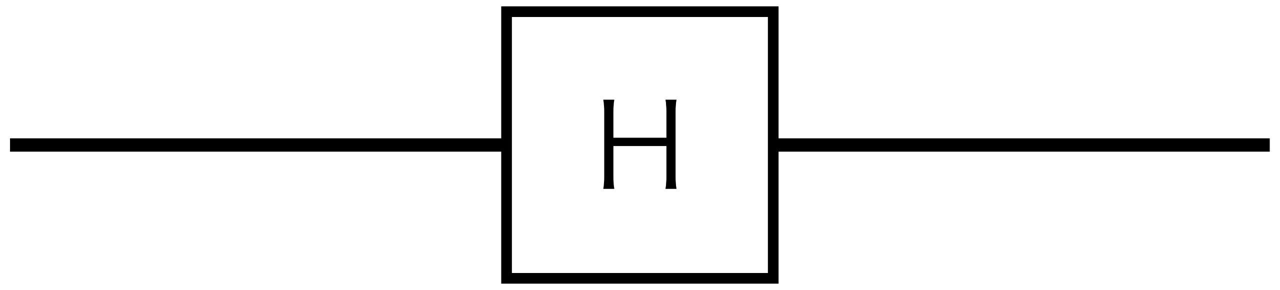
$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

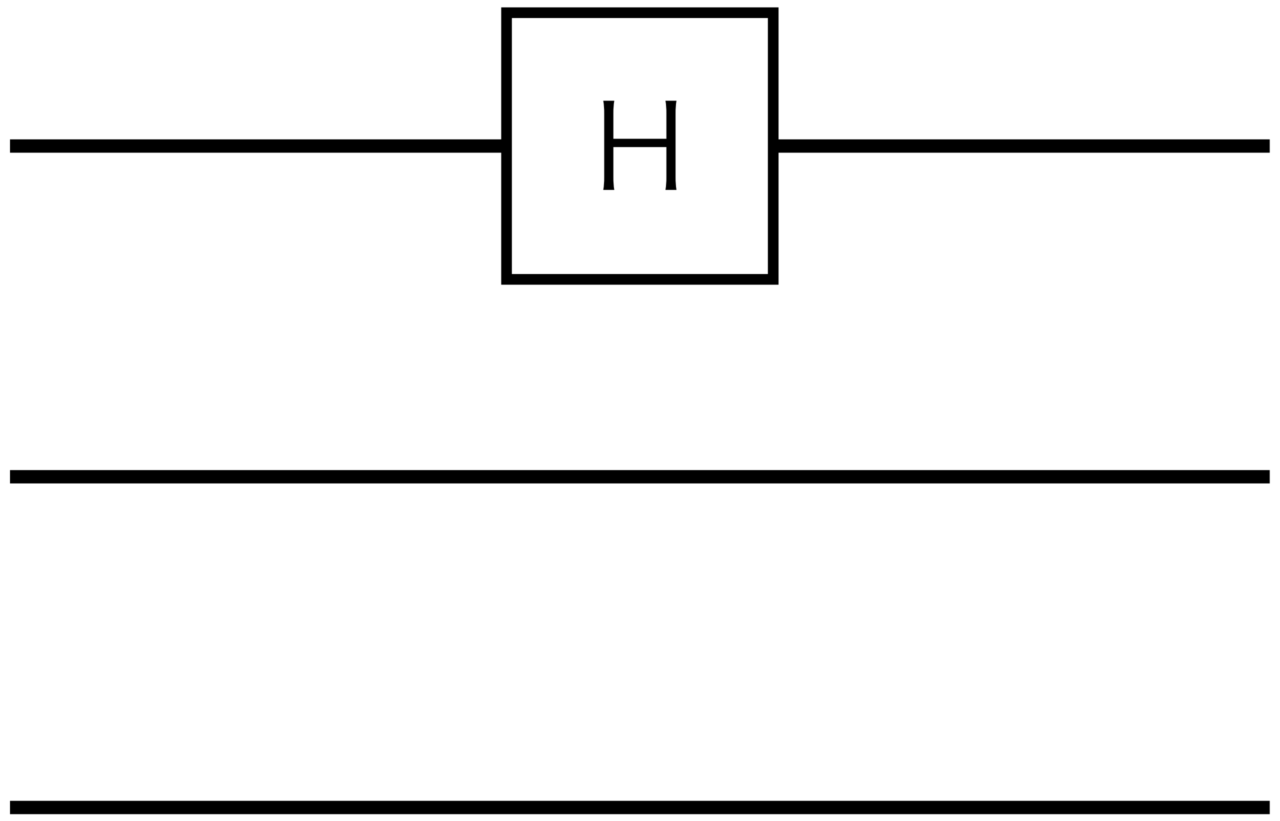
$$2^4 = 16$$

$$2^{10} = 1024$$

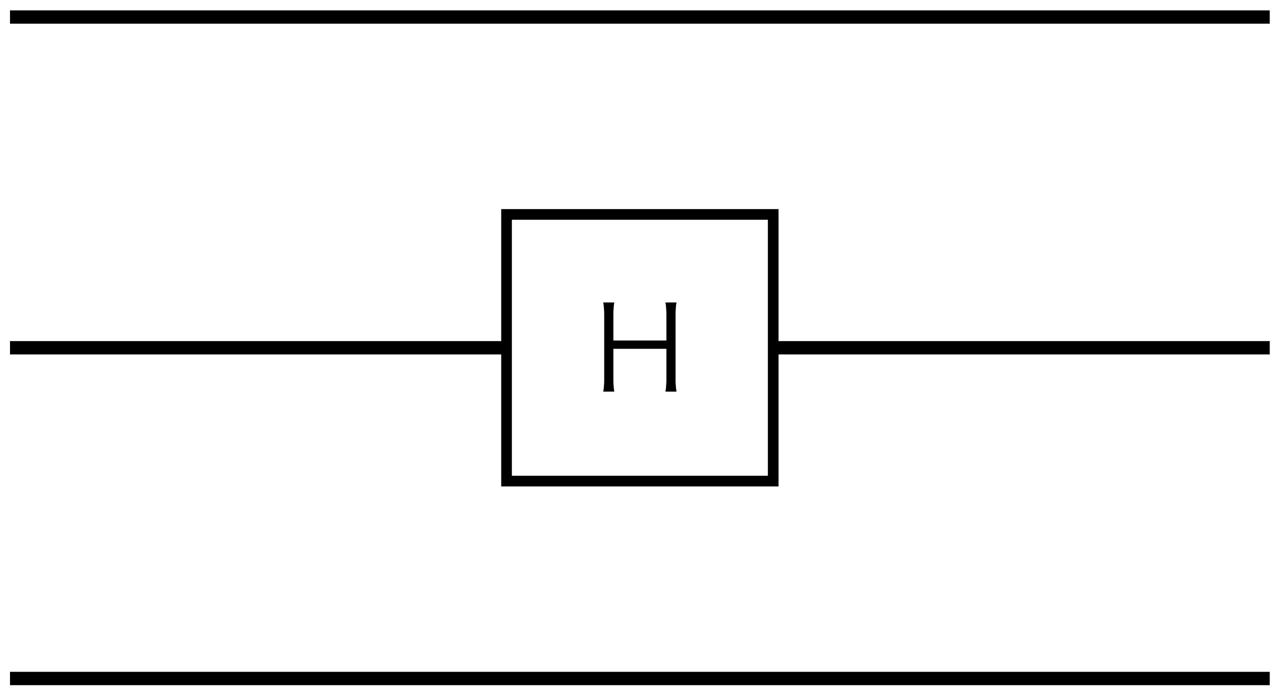
$$2^{20} = 1,048,576$$



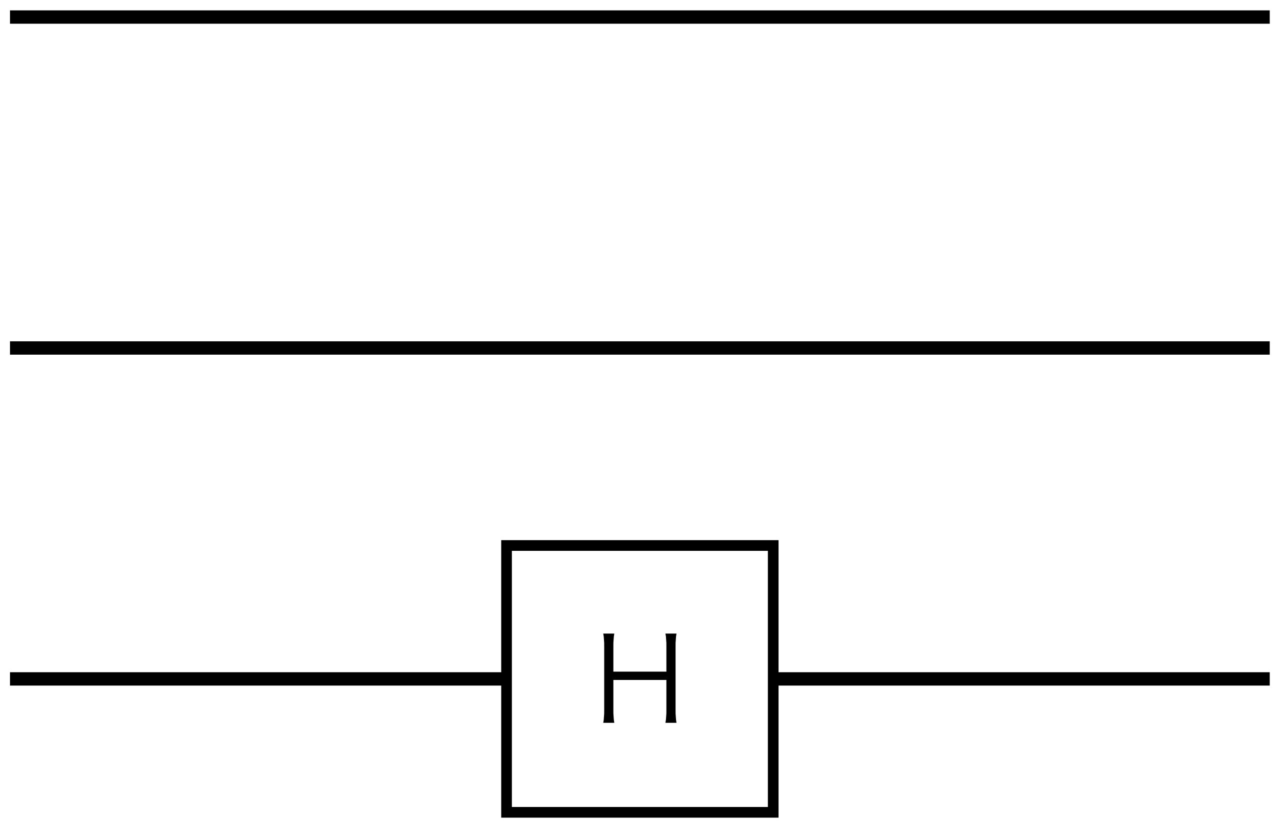
$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$



$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$



$$= \begin{pmatrix}
\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\
0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}}
\end{pmatrix}$$



$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

量子回路モデル

・量子ビット

・量子ゲート

・量子ビット測定

実現できたら

- 因数分解
- 量子シミュレーション
- 他

因数分解

$$21 \longrightarrow 3 \times 7$$

$$143 \longrightarrow 13 \times 11$$

$$22{,}601 \longrightarrow ? \times ?$$

理想と現実

- 量子アルゴリズムは繊細
- 操作ミス
- 外界からの影響

量子コンピュータ（仮）とは・・・

量子回路モデルを高い精度で実現するコンピュータ

もっと知りたい

- 量子コンピュータが本当にわかる!

  第一線開発者がやさしく明かすしくみと可能性

  武田 俊太郎 (著)

- 量子コンピュータの頭の中

  計算しながら理解する量子アルゴリズムの世界

  東野 仁政 (著)