

総合図書館LS研究紹介セミナー

シュレーディンガーの猫の手を借りて



理学研究科 物理学専攻 新見研究室 MI

「コンピュータ」とは？

Compute : 計算する
~er : ~するもの



Computer : 計算するもの

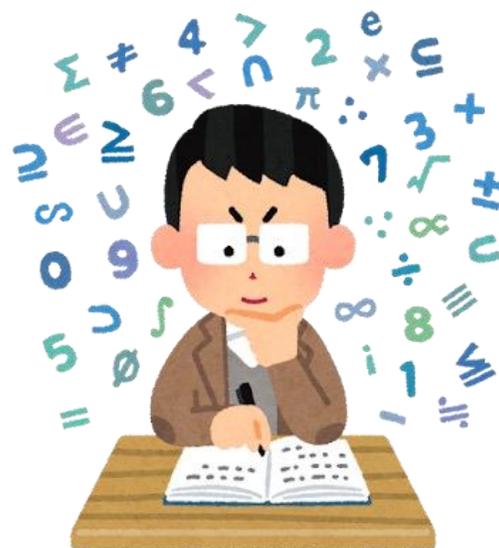


コンピュータールーム
(NACA高速飛行ステーション、1949年)

デジタルコンピュータの

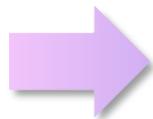
登場前：職業

登場後：計算機



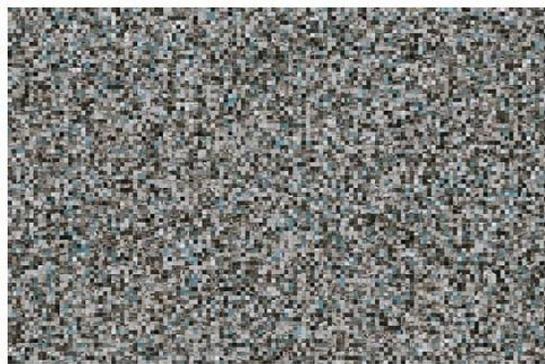
コンピュータの定義

「コンピュータ」とは何ですか？

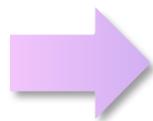


情報をコントロールする装置

情報



(a)



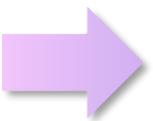
コントロール



(b)



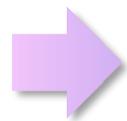
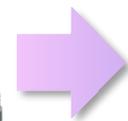
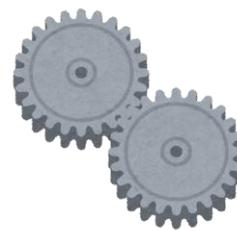
(c)



(d)

コンピュータは何の情報をコントロールするのによって分類される。

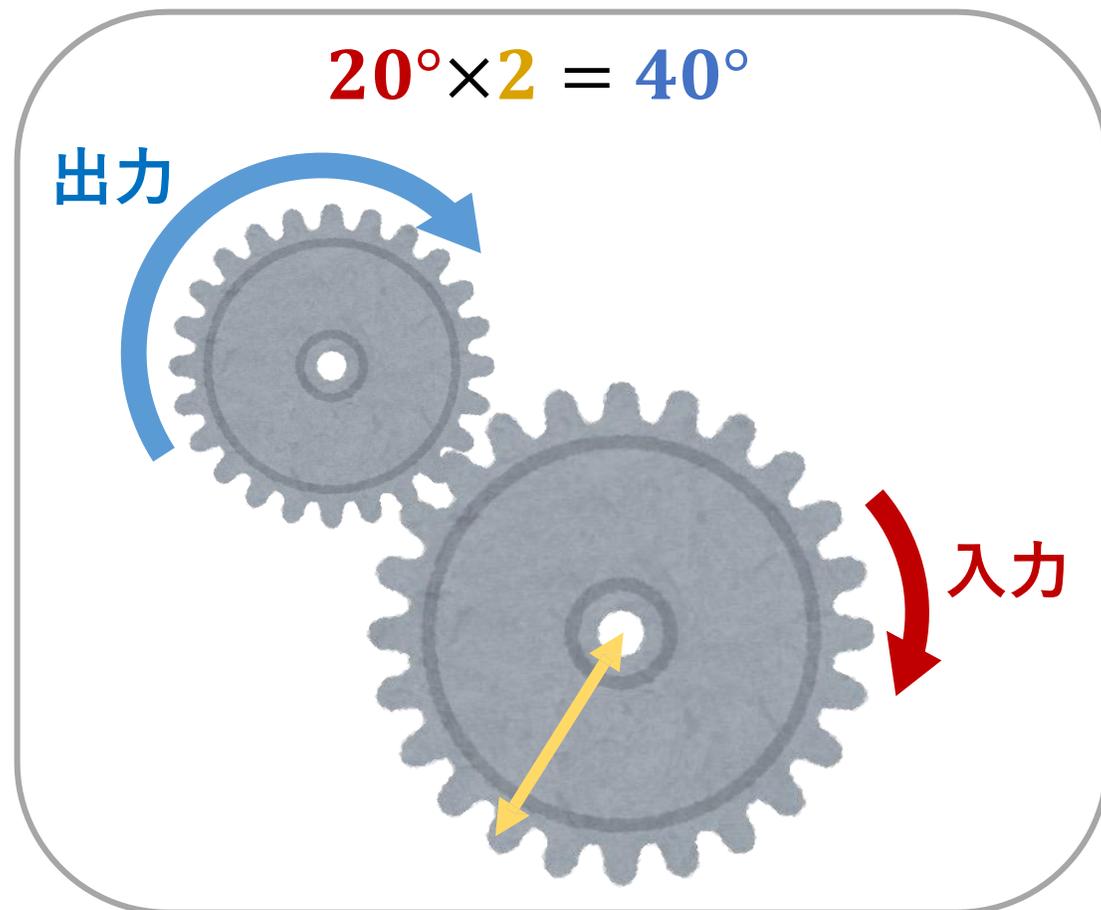
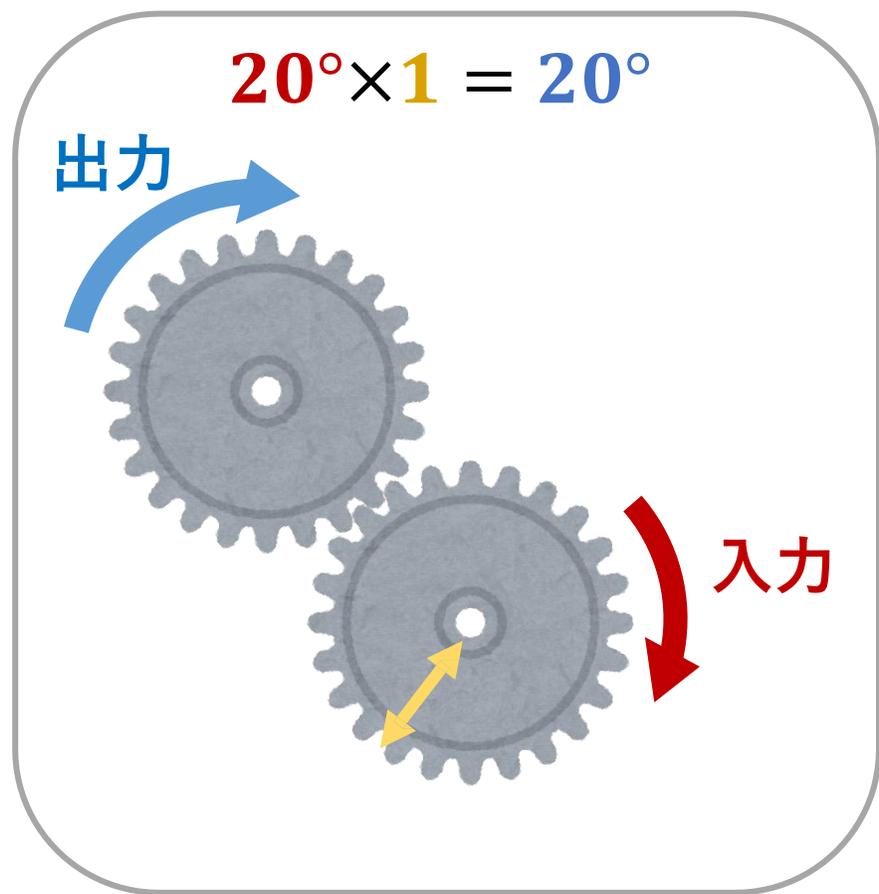
1. 初代：アナログコンピュータ
2. 現代：デジタルコンピュータ
3. 未来：量子コンピュータ



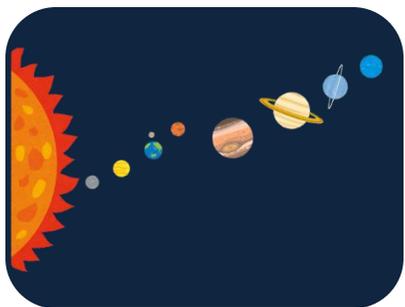
初代のコンピュータ：アナログ（機械式）

情報：連続的な情報（例：歯車の回転）

計算：回転速度(角度)は半径に比例することを利用



初代コンピュータの例



太陽系の惑星の位置を計算

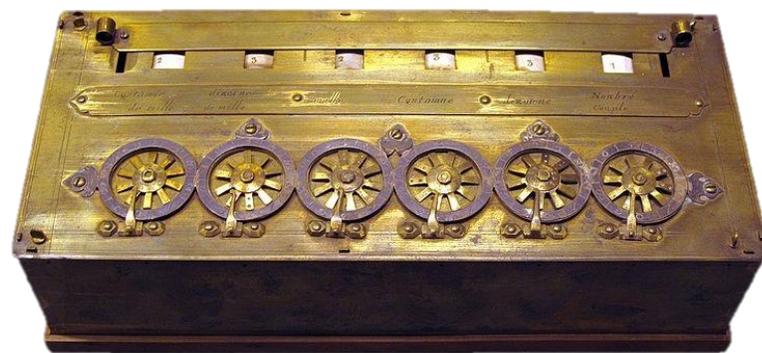


[3]

アンティキティラ島の機械
(ギリシア、紀元前2000年)

$$\begin{array}{ll} 8 + 6 = & 6 - 2 = \\ 4 - 3 = & 5 + 5 = \\ 7 + 2 = & 7 - 2 = \\ 3 + 5 = & 2 + 2 = \end{array}$$

最大8桁数の足し算・引き算を計算



[4]

Pascalの計算機
Blaise Pascal (フランス、1642年)



天気を予測する関数を計算



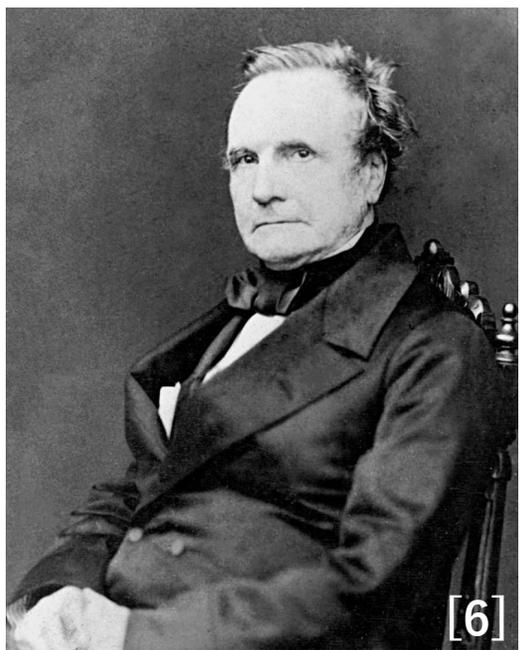
[5]

微分解析機
James Thomson (イギリス、1886年)

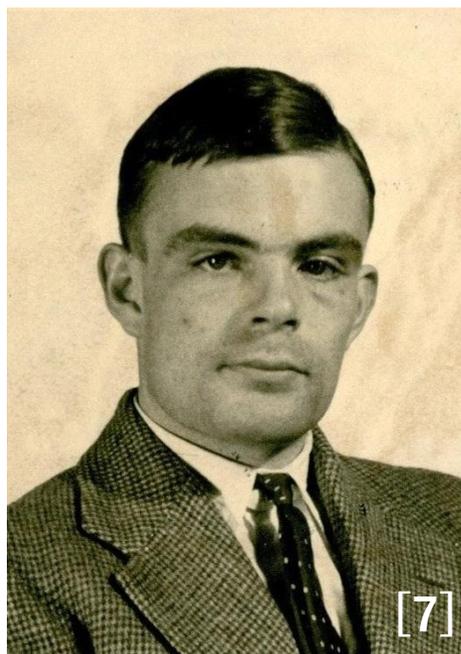
現代のコンピュータ：デジタルコンピュータ

情報：Bit 電流が **流れる時 (1)**
流れてない時 (0)

計算：論理回路でスイッチを操作

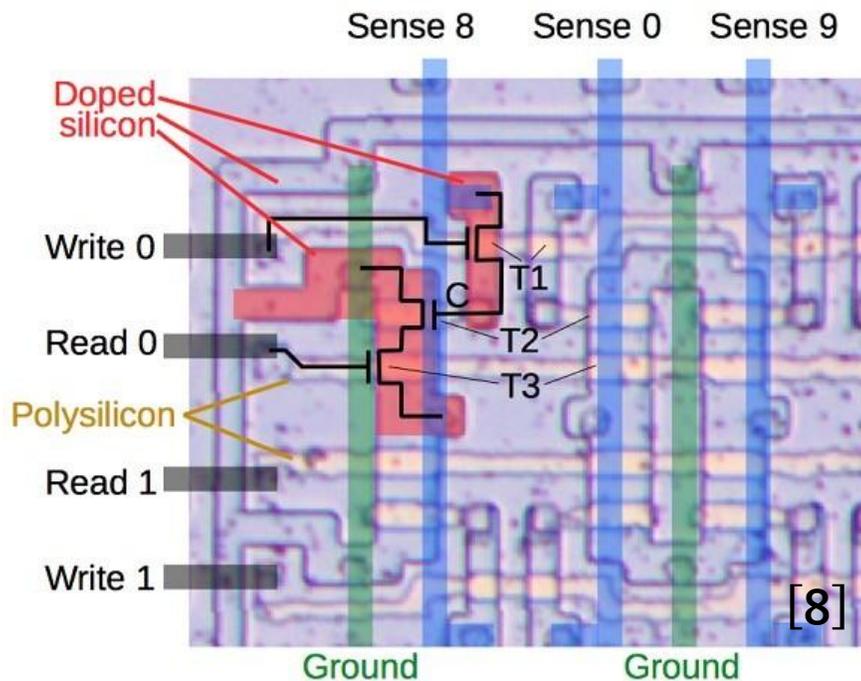


Charles Babbage
1791-1871

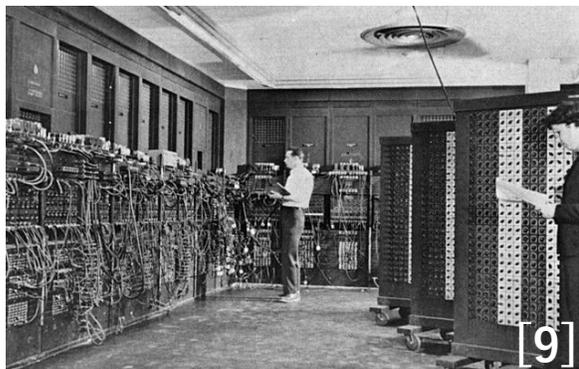


Alan Turing
1912-1954

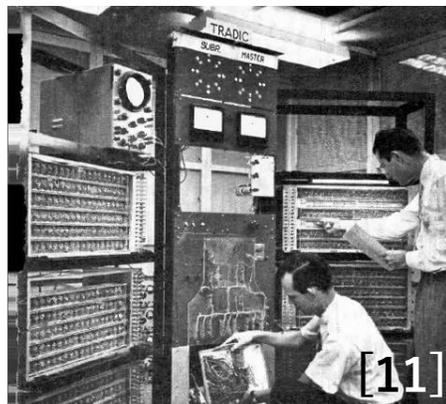
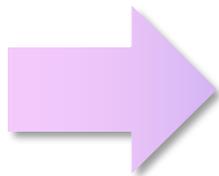
Charlesが初めて考案、Alan Turingが改善



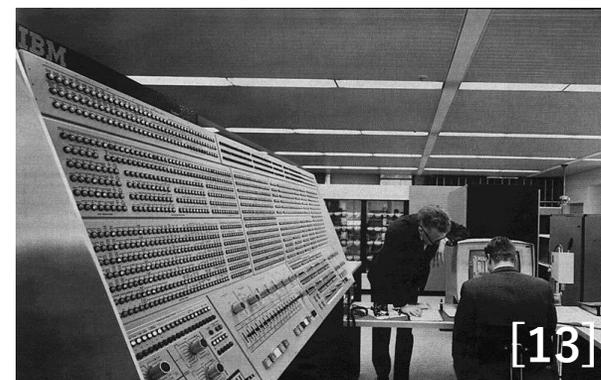
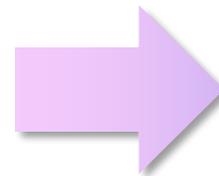
現代コンピュータの例



ENIAC
(アメリカ、1946年)
真空管使用



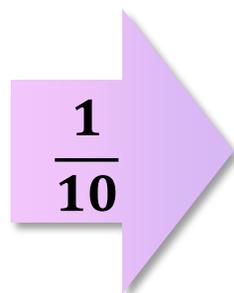
TRADIC
(アメリカ、1954年)
初トランジスタ使用



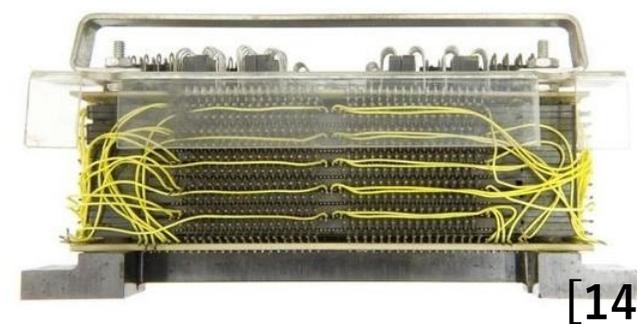
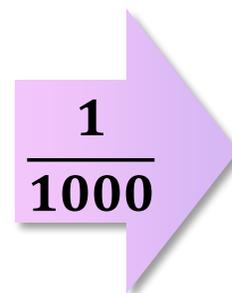
IBM System/360 Model 91
(アメリカ、1964年)
ICチップ使用



真空管：~10cm

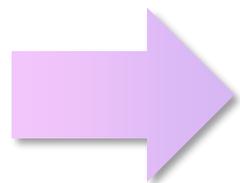


トランジスタ：~1cm

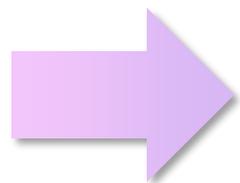


集積回路：~20 μ m

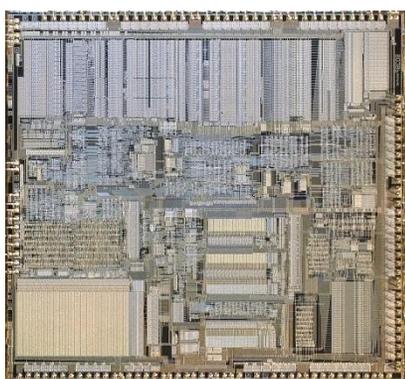
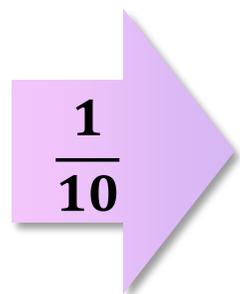
現代コンピュータの例



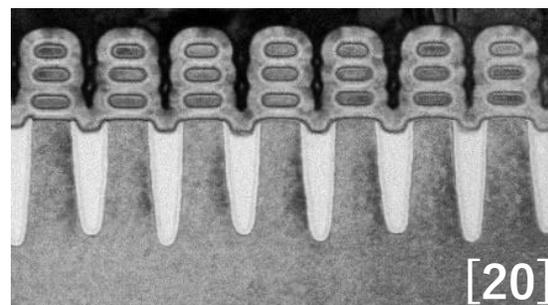
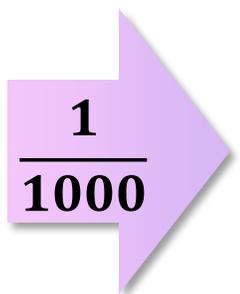
Intel 80386
(アメリカ、1985年)
x86アーキテクチャ



様々なコンピュータ
(全世界、現在)



マイクロプロセッサ： $\sim 8\mu m$



$\sim 3nm$

現代のトランジスタは
原子30個くらいのサイズ

量子コンピュータに関する誤解

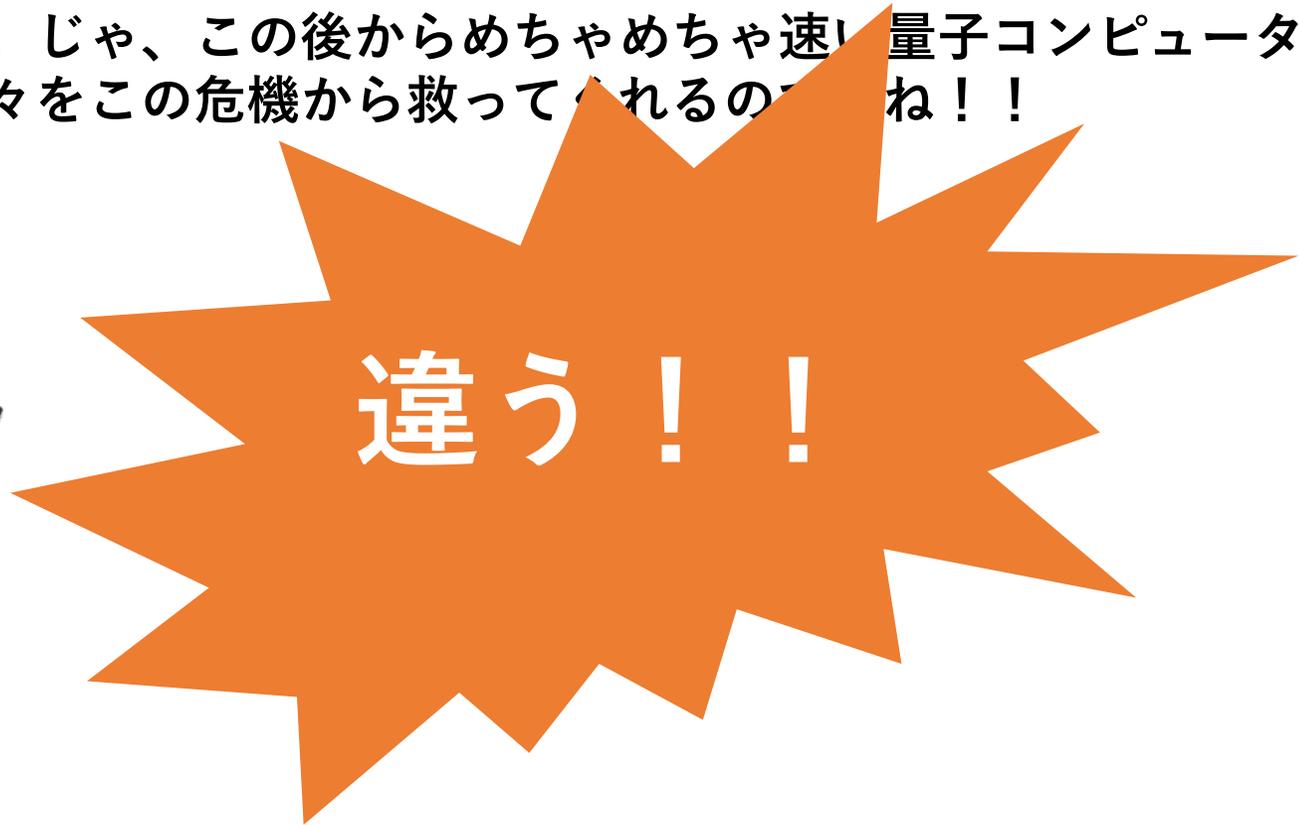


なるほど。じゃ、この後からめっちゃめっちゃ速い量子コンピュータが出て我々をこの危機から救ってくれるのですね！！

量子コンピュータに関する誤解

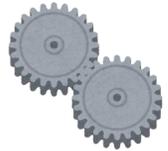


なるほど。じゃ、この後からめちゃめちゃ速い量子コンピュータが出て我々をこの危機から救ってくれるのですね！！



量子コンピュータに関する誤解

量子コンピュータはデジタルコンピュータの早いバージョンではない！



アナログコンピュータ



デジタルコンピュータ



量子コンピュータ

アナログコンピュータと
デジタルコンピュータの
作動方法が違うように

デジタルコンピュータと
量子コンピュータの
作動方法も違う

量子力学：シュレーディンガーの猫

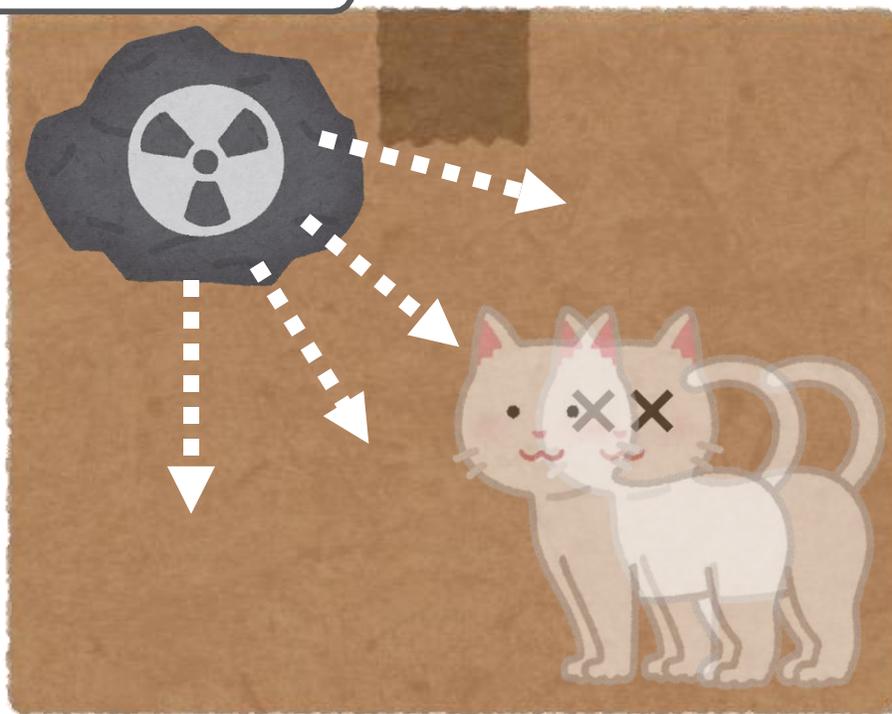
シュレーディンガーの猫：箱の中にある猫は生と死の重なり状態
箱を開ける瞬間、猫の生死が確率的に決まる



[22]

Erwin Schrödinger
1887-1961

そんなわけねーだろ



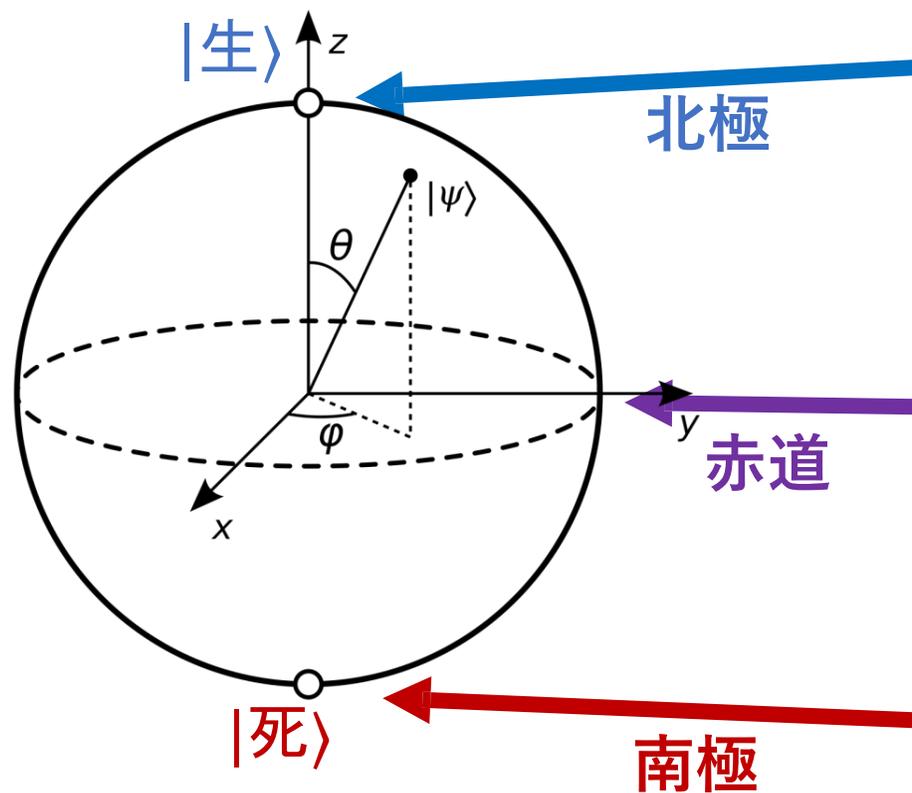
量子コンピュータ：Qubit

Qubit : Benjamin Schumacherが1992年に提案
Bloch球で状態を表現



[23]

Benjamin Schumacher
1955-



生 : 100%
死 : 0%



生 : 50%
死 : 50%



生 : 0%
死 : 100%

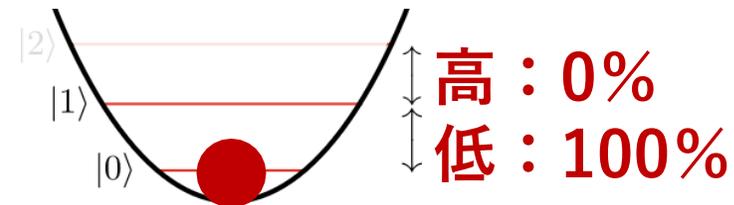
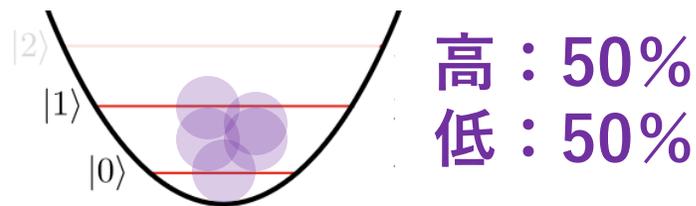
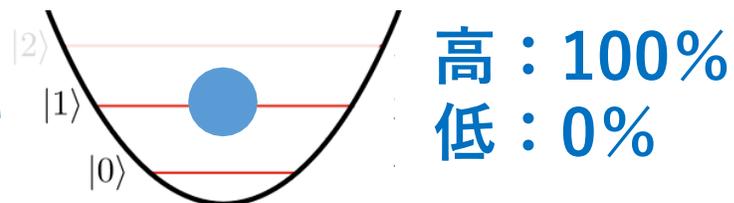
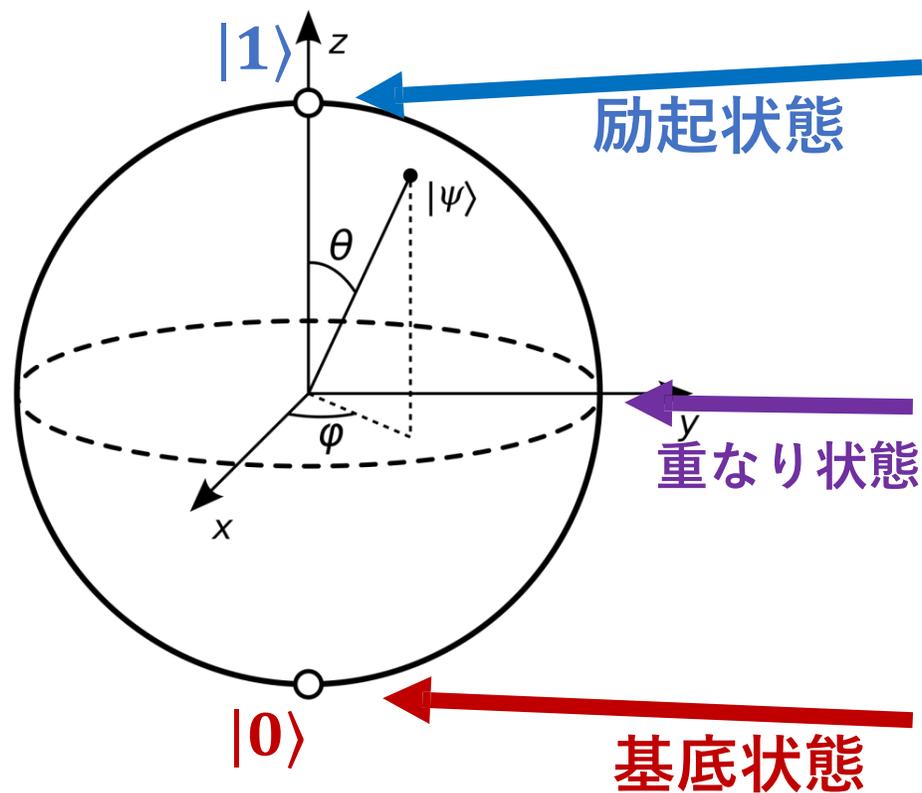
量子コンピュータ：Qubit

Qubit : Benjamin Schumacherが1992年に提案
Bloch球で状態を表現



[23]

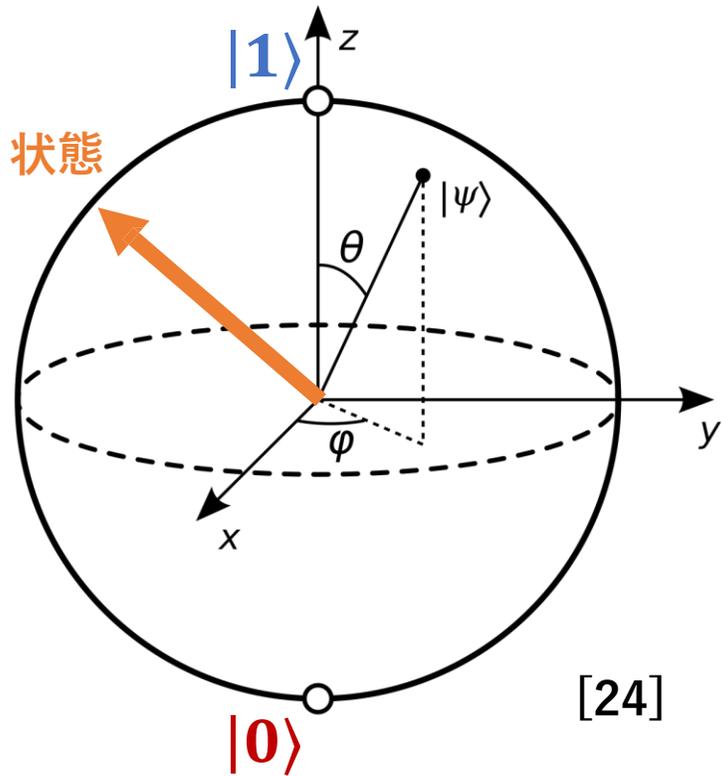
Benjamin Schumacher
1955-



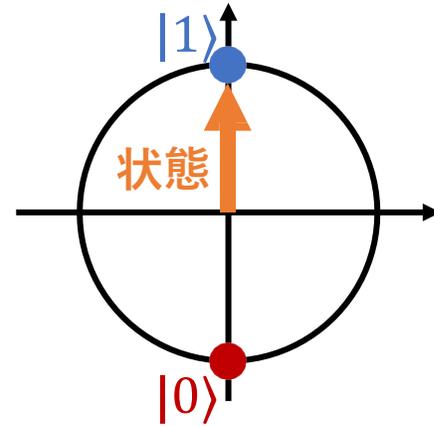
未来のコンピュータ：量子コンピュータ

情報：Qubit = 0 と 1 の状態を同時に持つことができる粒子の状態

計算：2個以上のQubitを総合作用

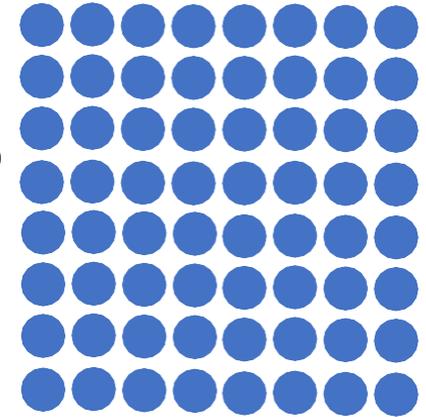


状態をBloch球で表れた図

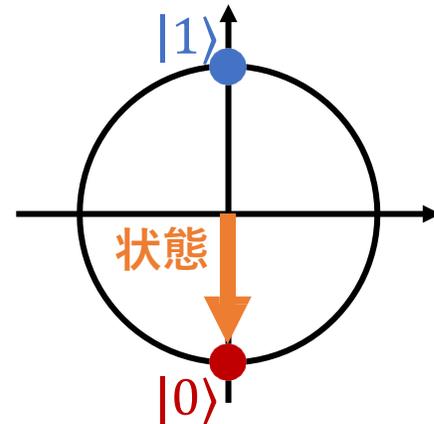


$|1\rangle$ 状態：100%
 $|0\rangle$ 状態：0%

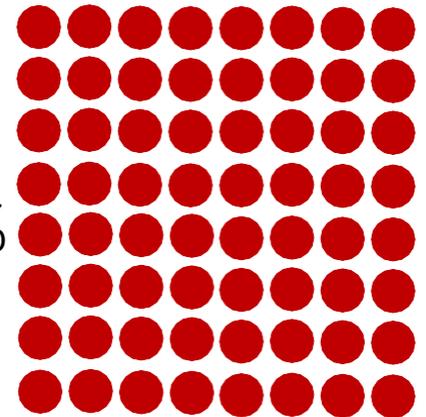
100回測定



$|1\rangle$ 100回
 $|0\rangle$ 0回



$|1\rangle$ 状態：0%
 $|0\rangle$ 状態：100%

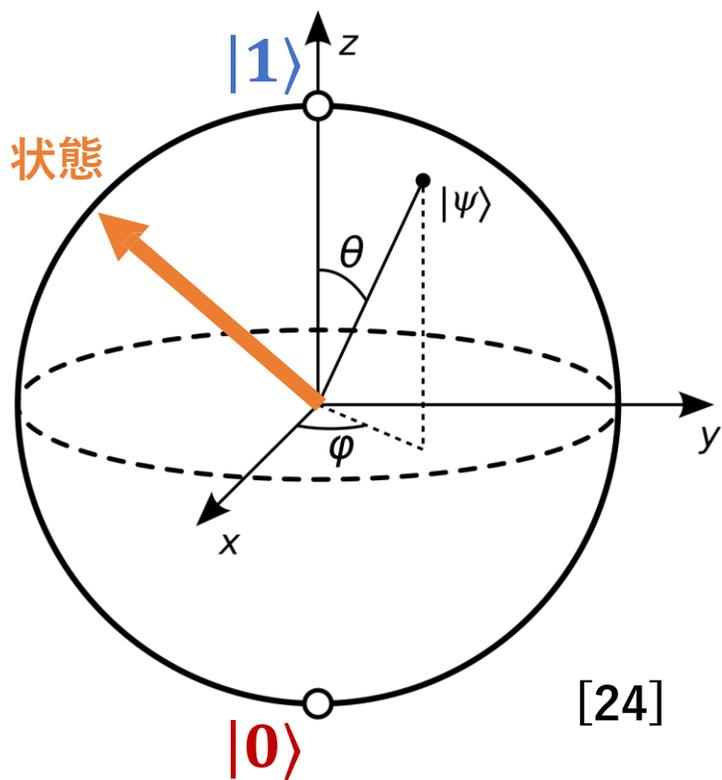


$|1\rangle$ 0回
 $|0\rangle$ 100回

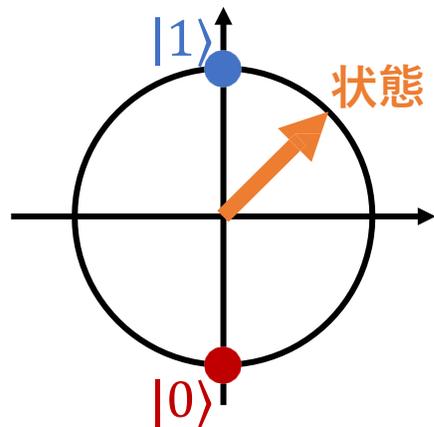
未来のコンピュータ：量子コンピュータ

情報：Qubit = 0 と 1 の状態を同時に持つことができる粒子の状態

計算：2個以上のQubitを総合作用

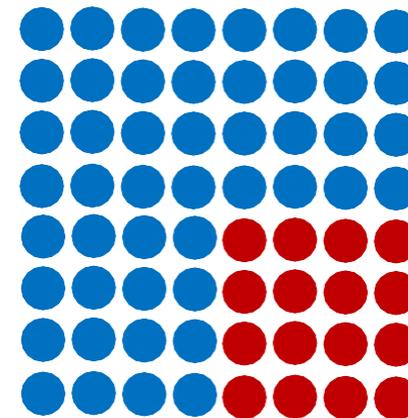


状態をBloch球で表れた図

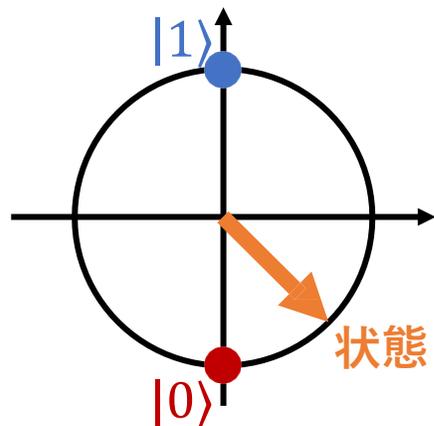


$|1\rangle$ 状態 : 75%
 $|0\rangle$ 状態 : 25%

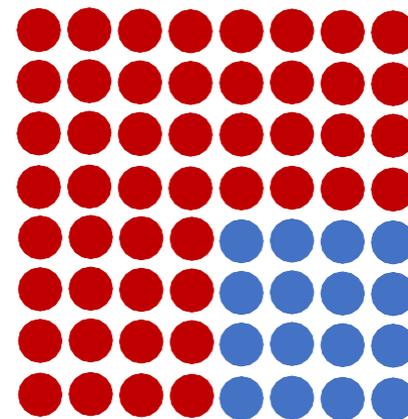
100回測定



$|1\rangle$ 75回
 $|0\rangle$ 25回



$|1\rangle$ 状態 : 25%
 $|0\rangle$ 状態 : 75%

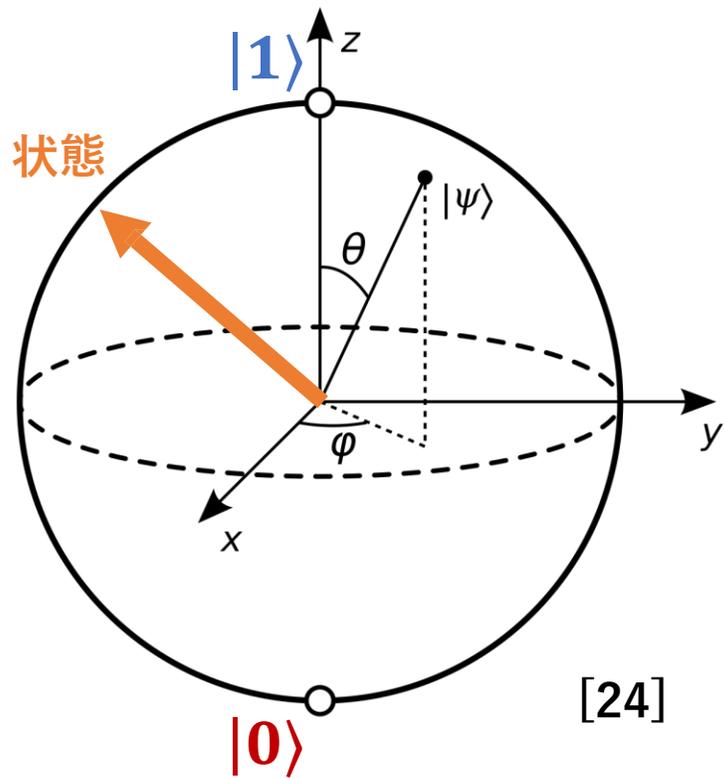


$|1\rangle$ 25回
 $|0\rangle$ 75回

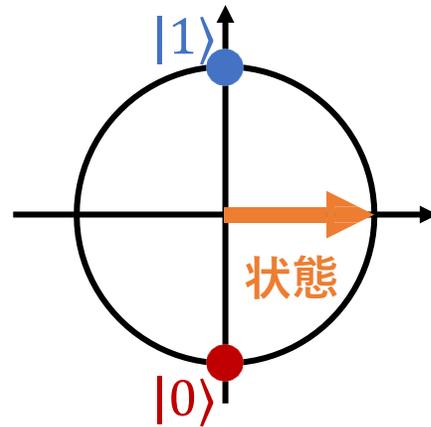
未来のコンピュータ：量子コンピュータ

情報：Qubit = 0 と 1 の状態を同時に持つことができる粒子の状態

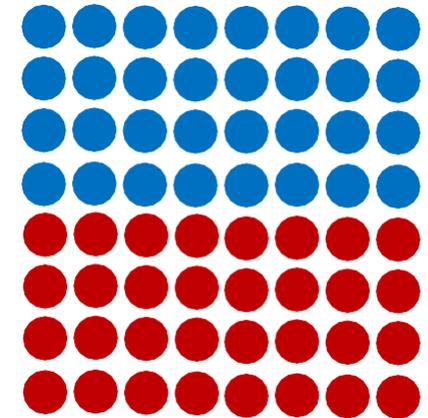
計算：2個以上のQubitを総合作用



状態をBloch球で表れた図

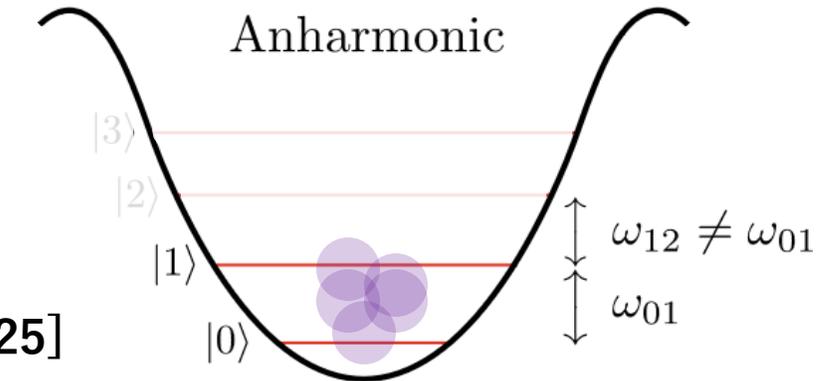
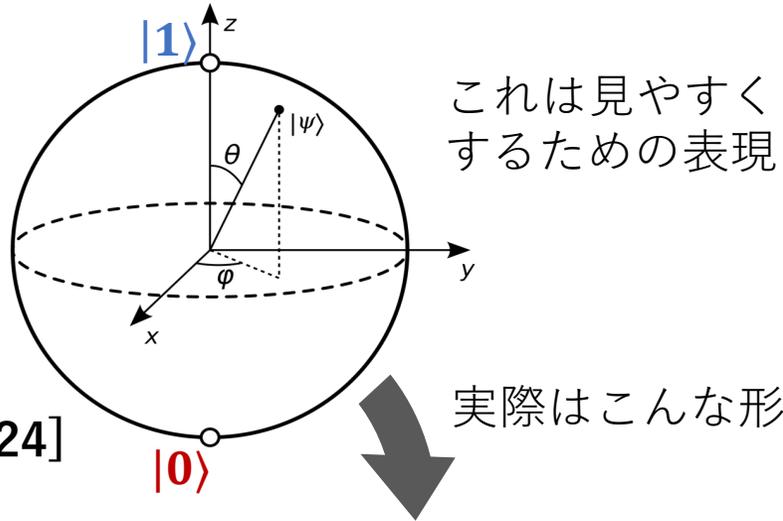


100回測定

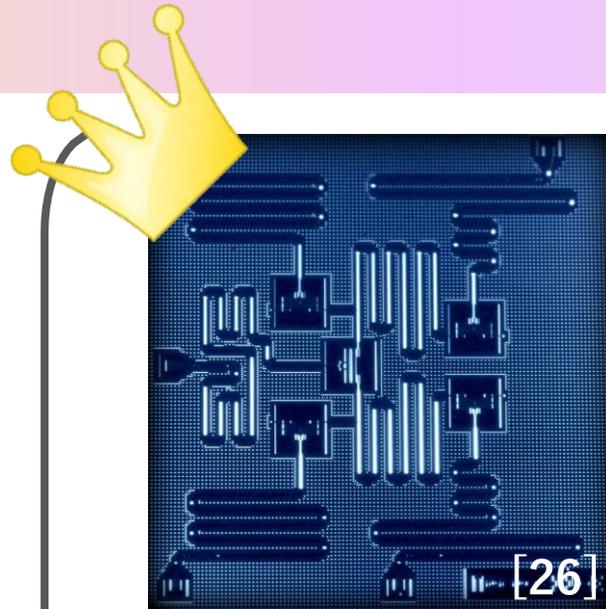


[1] 50回
[0] 50回

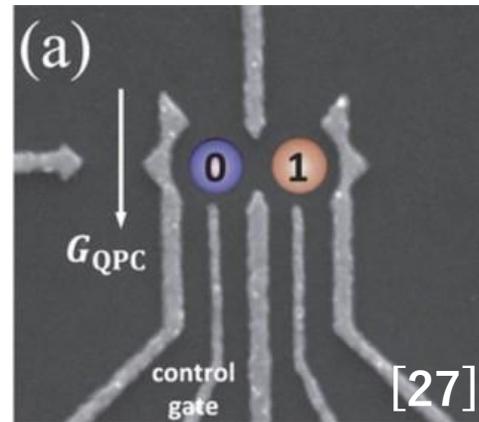
様々なQubit



この状態を満たす物理的環境はいくつかある。



超伝導Qubit



半導体Qubit

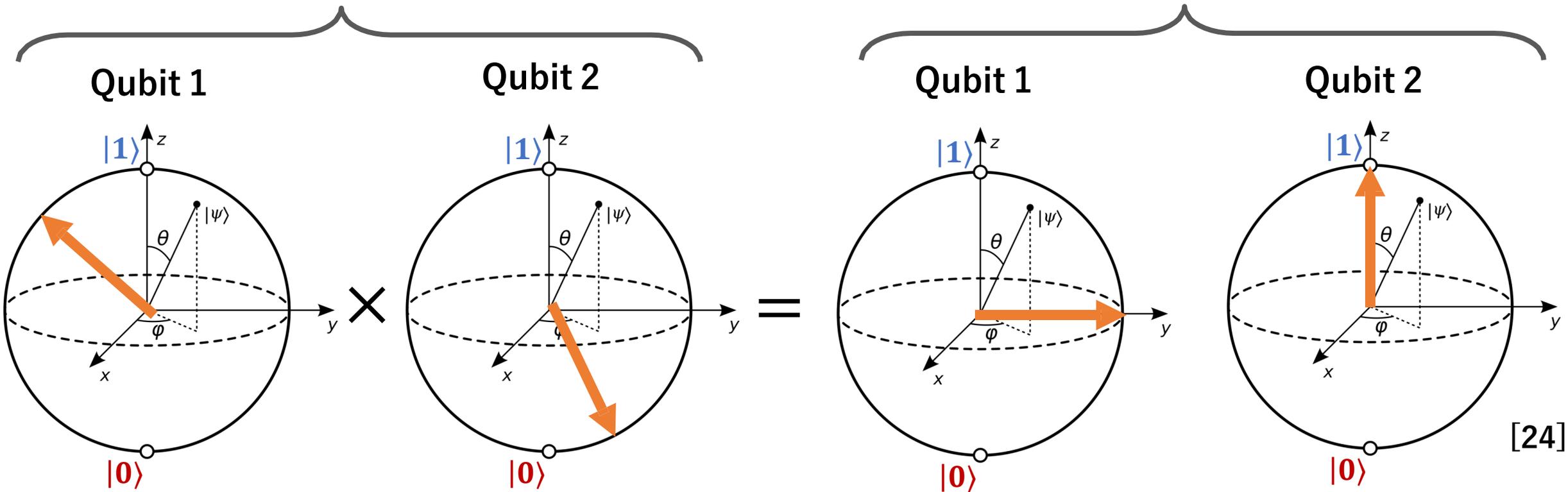


量子計算

二つのQubitが相互作用することによってQubitの状態が変化する
→ うまくコントロールすれば、これで計算できるのでは？

相互作用前

相互作用後



量子コンピュータは万能？



デジタルコンピュータ



量子コンピュータ

デジタルコンピュータと
量子コンピュータは
作動方法が原理的に違う

ので、デジタルコンピュータより
得意な計算も、苦手な計算もある！

量子コンピュータは膨大な条件の中で解を探すのが得意

デジタル VS 量子



デジタルコンピュータ

1+1=2 10-3=7
3X8=24 30/5=6

パスワード忘れた？
私も分らん！
作り直し！

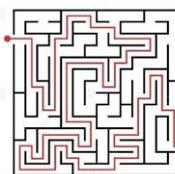


小さなスケールの演算

膨大なスケールの演算



量子コンピュータ



迷路？
楽勝。



あれ？



膨大なスケールの演算

小さなスケールの演算

デジタル VS 量子



デジタルコンピュータ

$1+1=2$ $10-3=7$
 $3\times 8=24$ $30/5=6$

パスワード忘れた?
私も分からん!
作り直し!

これがすごい

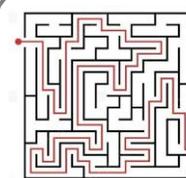


小さなスケールの演算

膨大なスケールの演算



量子コンピュータ



迷路?
楽勝。



あれ?



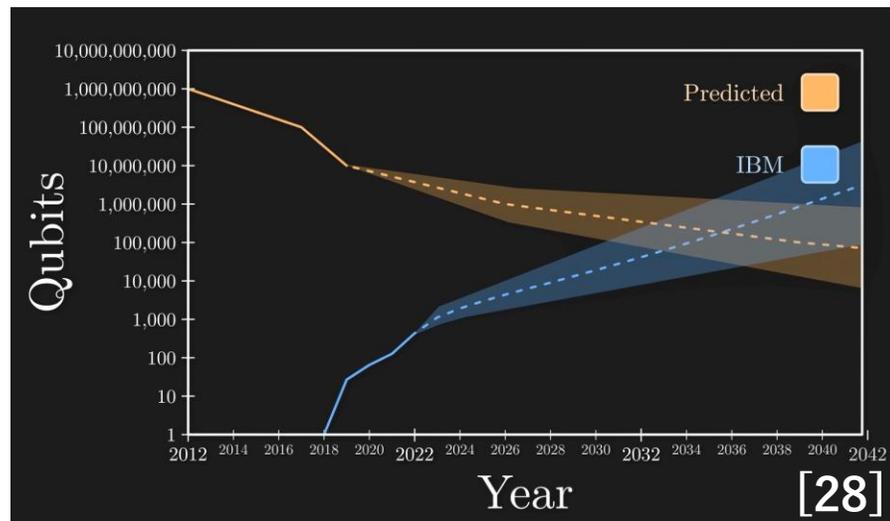
膨大なスケールの演算



小さなスケールの演算

量子コンピュータの応用

暗号解読



現在のRSA暗号アルゴリズムは
2030年~2040年の間に無用になる

AI学習

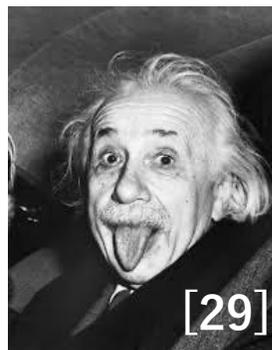
学習前



量子機械学習



学習後



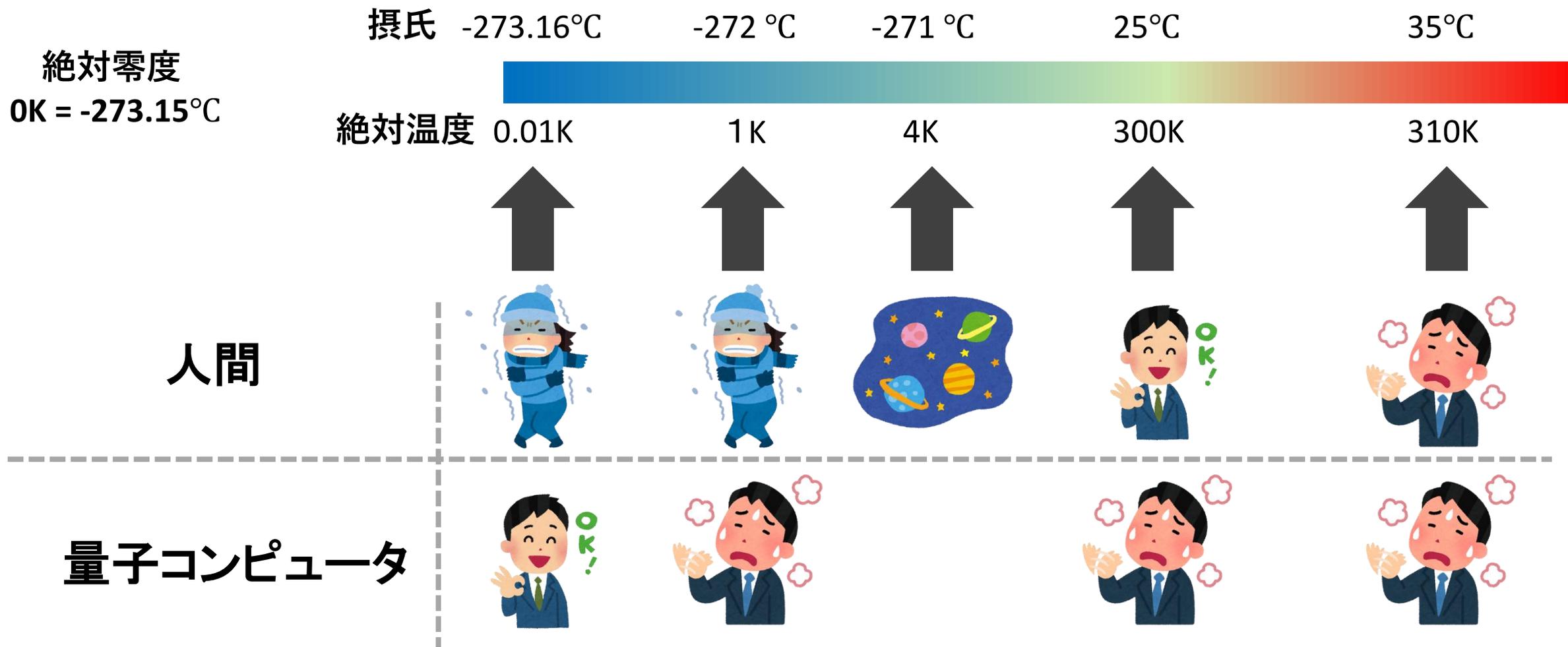
膨大なデータを学習するAI学習にピ
ッタリ！ エネルギー節約にもなる



[29]

宇宙より冷たい量子コンピュータ

量子コンピュータは低温でしか動かない



宇宙より冷たい量子コンピュータ

摂氏 -273.16°C -272 °C

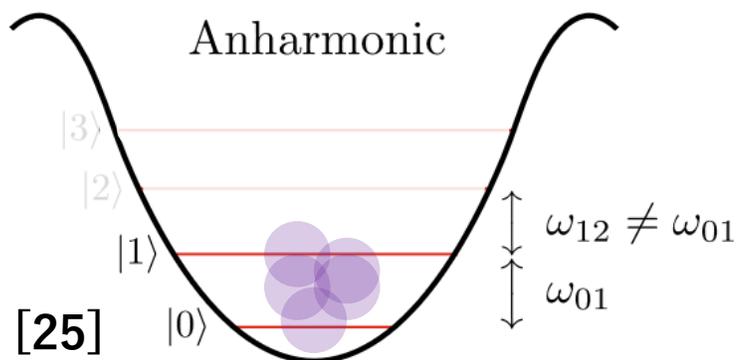
絶対温度 0.01K 1K

量子現象は温度にすごく敏感

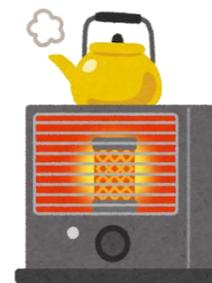
0.01K



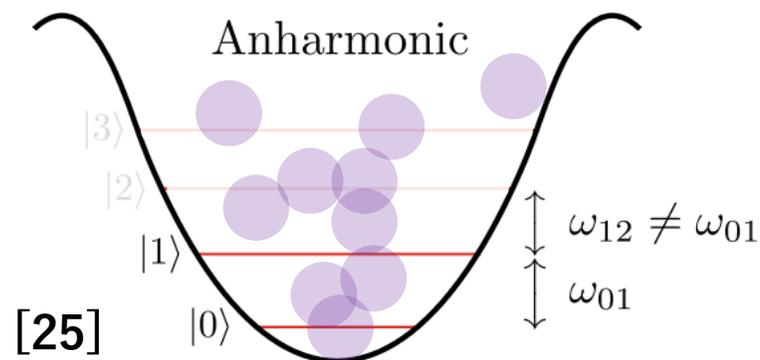
Anharmonic



1K



Anharmonic



宇宙より冷たい量子コンピュータ



大阪大学 新見研究室

冷凍機

量子コンピュータ

実験用デバイス



IBM Quantum One

[30]

まとめ

1. 量子コンピュータは今のパソコンとは原理が違う



アナログコンピュータ



デジタルコンピュータ

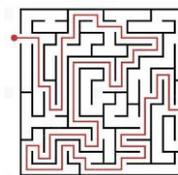
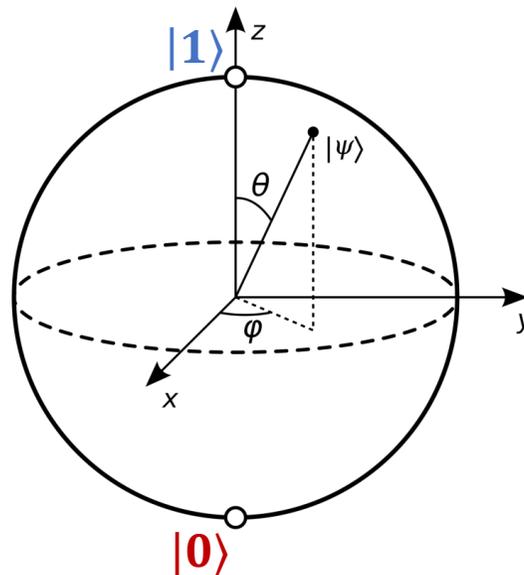


量子コンピュータ

2. 格率的な演算は膨大なデータを操るのに適切

Qubit

(状態の格率を表す)



迷路?
楽勝!



膨大なスケールの演算

Reference

- [1] <https://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/Places/Small/E49-54.jpg>
- [2] Sholomon, Dror & David, Eli & Netanyahu, Nathan. (2016). An Automatic Solver for Very Large Jigsaw Puzzles Using Genetic Algorithms. Genetic Programming and Evolvable Machines. 17. 10.1007/s10710-015-9258-0.
- [3] "NAMA Machine d'Anticythère 1", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
- [4] David.Monnaux (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg),
- [5] Andy Dingley (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Harmonic_analyser_disc_and_sphere.jpg)
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Charles_Babbage_-_1860.jpg
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing#/media/File:Alan_Turing_\(1912-1954\)_in_1936_at_Princeton_University.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing#/media/File:Alan_Turing_(1912-1954)_in_1936_at_Princeton_University.jpg)
- [8] <https://www.rightho.com/2017/03/analyzing-vintage-8008-processor-from.html>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC#/media/File:Glen_Beck_and_Betty_Snyder_program_the_ENIAC_in_building_328_at_the_Ballistic_Research_Laboratory.jpg
- [10] <https://www.tec-sol.com/products/?mode=detail&article=16>
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/TRADIC#/media/File:TRADIC_computer.jpg
- [12] <https://www.amazon.co.jp/Semiconductor-%E3%83%88%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%82%B9%E3%82%BF-150mA-3-Pin-KSC1815YTA/dp/B08WQ2P39X>
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_System/360_Model_91#/media/File:360-91-panel.jpg
- [14] <https://www.computerhistory.org/revolution/mainframe-computers/7/164/655?position=0>
- [15] Pdesousa359 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_A80386DX-20_CPU_Die_Image.jpg)
- [16] A80386DX-20 CPU Die Image", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
- [17] <https://www.r-ccs.riken.jp/outreach/photos/>
- [18] <https://www.apple.com/shop/buy-iphone/iphone-13>
- [19] <https://store.shopping.yahoo.co.jp/b-surprisep/2009133265476.html>
- [20] *Nanosheet transistors fabricated using IBM's new 2-nanometer process. Image Credit: IBM*
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law#/media/File:Moore's_Law_Transistor_Count_1970-2020.png
- [22] [https://en.wikipedia.org/wiki/Erwin_Schr%C3%B6dinger#/media/File:Erwin_Schr%C3%B6dinger_\(1933\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Erwin_Schr%C3%B6dinger#/media/File:Erwin_Schr%C3%B6dinger_(1933).jpg)
- [23] <https://www.kenyon.edu/directory/benjamin-schumacher/>
- [24] Smite-Meister (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bloch_sphere.svg), "Bloch sphere", edited by [編集した人の名前], <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
- [25] Frisk Kockum, Anton & Nori, Franco. (2019). Quantum Bits with Josephson Junctions. 10.1007/978-3-030-20726-7_17.
- [26] <https://www.top500.org/news/scientists-create-quantum-life-on-five-qubit-ibm-computer/>
- [27] https://www.researchgate.net/publication/315921069_Radio-frequency_measurement_in_semiconductor_quantum_computation
- [28] <https://youtu.be/-UrdExQW0cs?si=ebGPipd8ze5FSmhP>
- [29] May 5, 1958-Princeton, New Jersey: Albert Einstein gives the "Razz".
- [30] <https://newsroom.ibm.com/media-quantum-innovation?keywords=quantum&l=100>