

Kawasaki Quantum Summer Camp

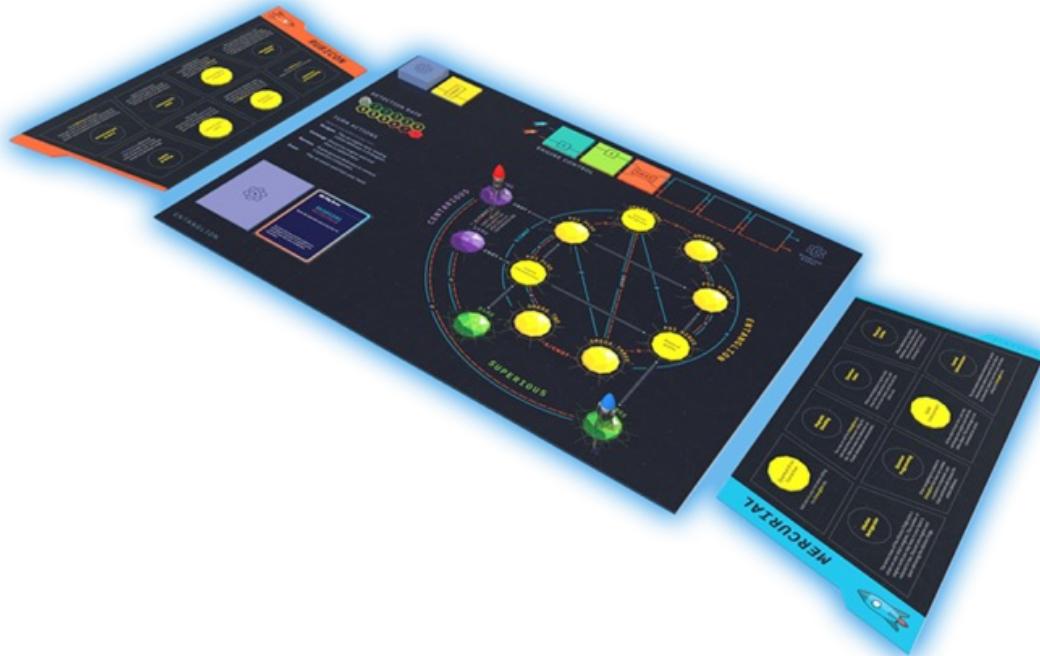
量子ゲート基礎 復習！

2023年10月28日

沼田 祢史

Kifumi Numata

IBM Quantum



いつも使っている
コンピューターのビット

0 または 1

どちらか

量子コンピューターの
量子ビット

0 と 1

両方

量子重ね合わせ

いつも使っている
コンピューターのビット

0 または 1

どちらか

コイン

表

おもて



量子コンピューターの
量子ビット

0 と 1

両方

コイン

裏

うら



いつも使っている コンピューターのビット

0 または 1

どちらか

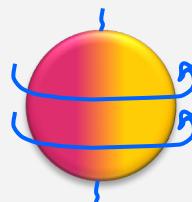


量子コンピューターの 量子ビット

0 と 1

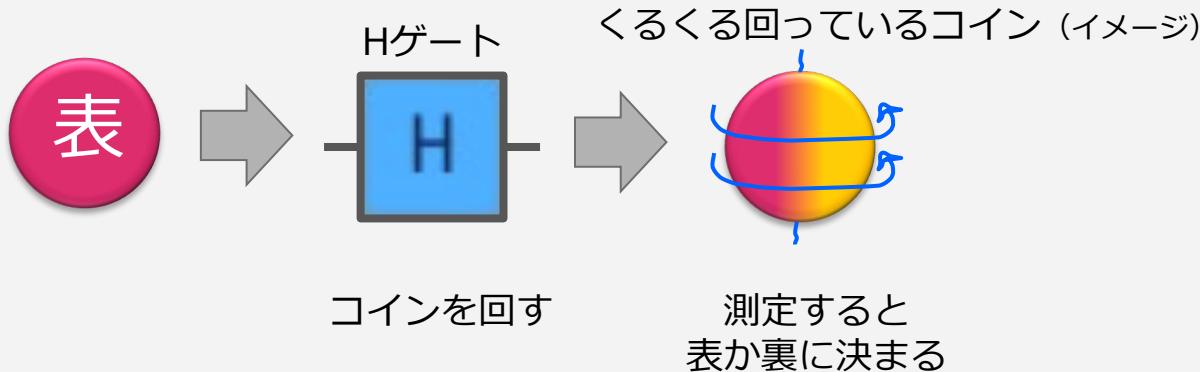
両方

くるくる回っているコイン（イメージ）

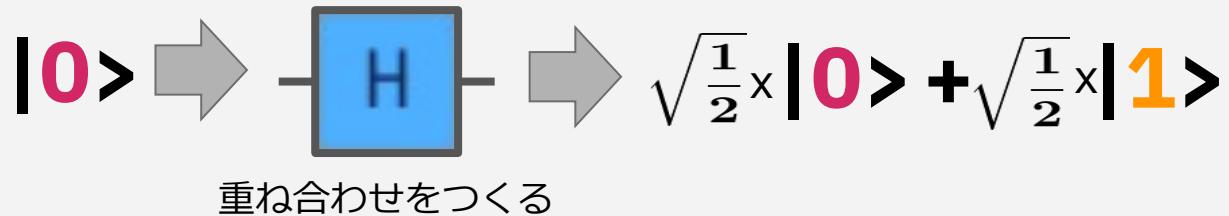


測定すると表か裏にバシッと決まる

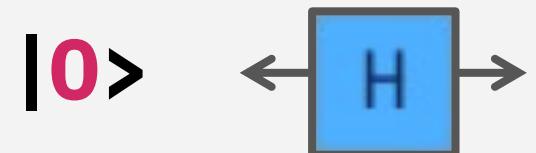
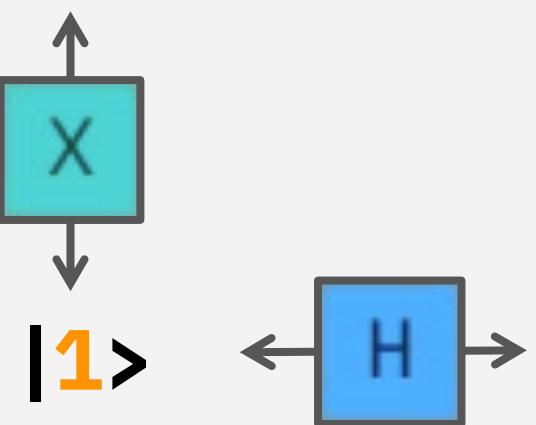
量子コンピューターの計算方法



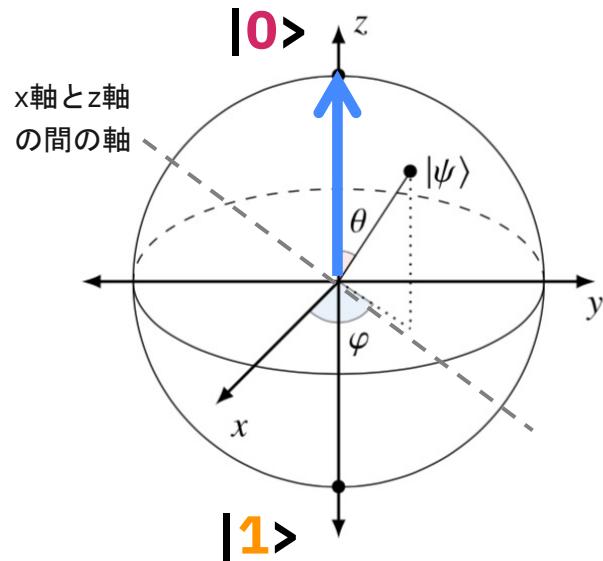
量子コンピューターの計算方法



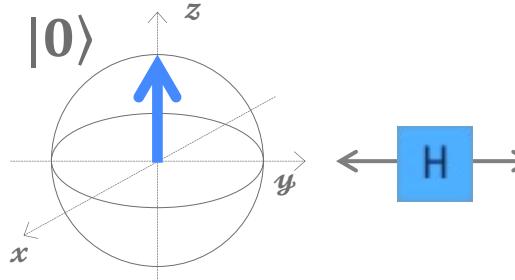
量子コンピューターの計算方法 まとめ

$$|0\rangle \xrightarrow{\text{H}} \sqrt{\frac{1}{2}}|0\rangle + \sqrt{\frac{1}{2}}|1\rangle = |+\rangle$$

$$|1\rangle \xrightarrow{\text{X}} \xrightarrow{\text{H}} \sqrt{\frac{1}{2}}|0\rangle - \sqrt{\frac{1}{2}}|1\rangle = |-\rangle$$


ブロツ木球



北極 : 0の確率が100%

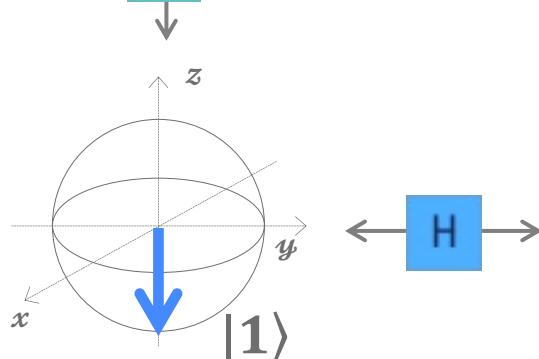


赤道 : 0と1が50%ずつの
重ね合わせ状態

A Bloch sphere diagram for the Equator state $|+\rangle$. The vertical axis is labeled $|+\rangle$ with a blue arrow pointing upwards. The equation $\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle = |+\rangle$ is shown below the diagram.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle = |+\rangle$$

南極 : 1の確率が100%

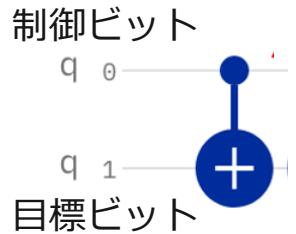


A Bloch sphere diagram for the South Pole state $|-\rangle$. The vertical axis is labeled $|-\rangle$ with a blue arrow pointing downwards. The equation $\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle = |-\rangle$ is shown below the diagram.

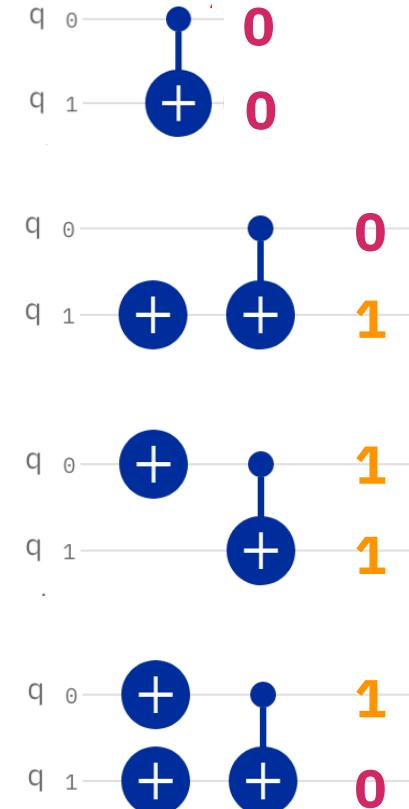
$$\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle = |-\rangle$$

CNOTゲート(制御Xゲート)

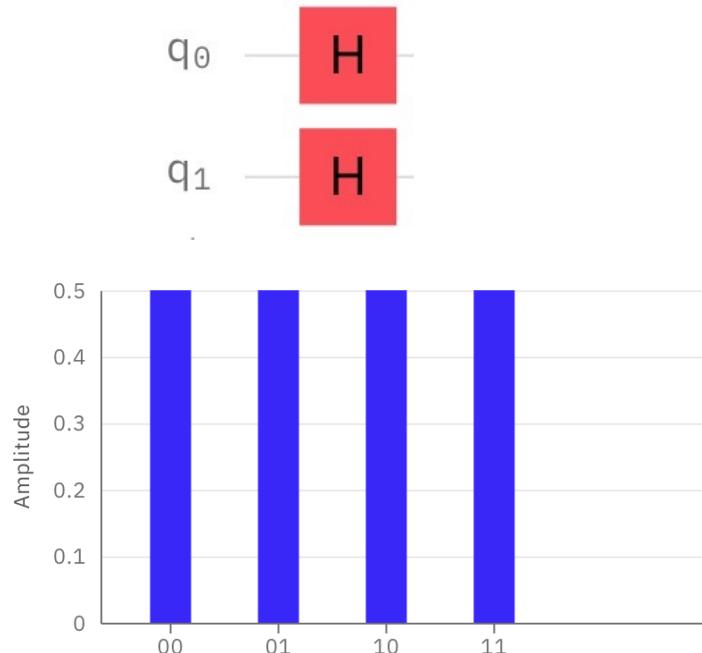
制御ビットが $|1\rangle$ のときのみ、目標ビットを反転（NOT）するゲートです。



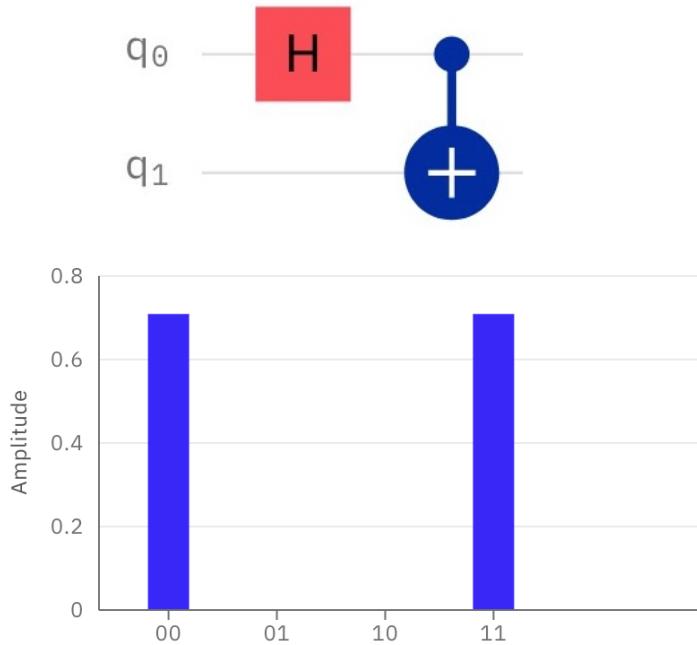
入力		出力	
制御ビット	目標ビット	制御ビット	目標ビット
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0



量子重ね合わせ

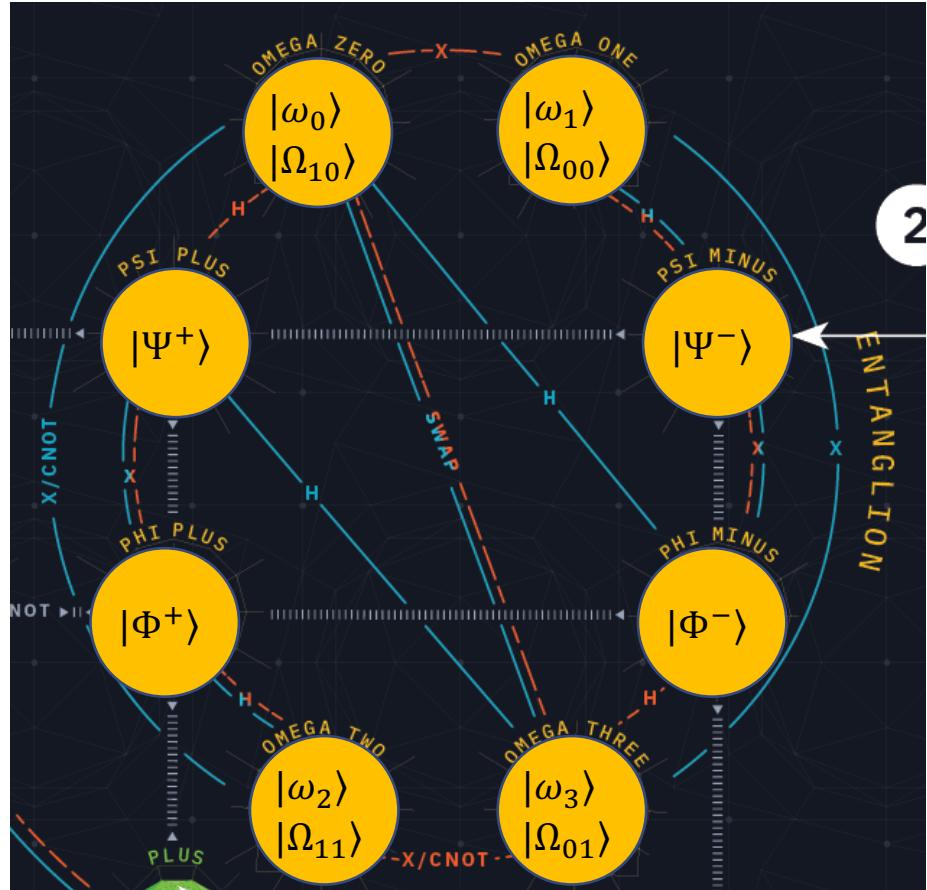


量子もつれ (エンタングルメント)



CNOTゲートは、
エンタングルメントを作ります。

Entanglion エンタングリオン



$$\text{PHI} \quad |\Phi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle \pm |11\rangle)$$

$$\text{PSI} \quad |\Psi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle \pm |10\rangle)$$

$$\text{OMEGA} \quad |\omega_0\rangle = |\Omega_{10}\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle - |10\rangle + |11\rangle)$$

$$\text{OMEGA} \quad |\omega_1\rangle = |\Omega_{00}\rangle = \frac{1}{2}(-|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)$$

$$\text{OMEGA} \quad |\omega_2\rangle = |\Omega_{11}\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle - |11\rangle)$$

$$\text{OMEGA} \quad |\omega_3\rangle = |\Omega_{01}\rangle = \frac{1}{2}(|00\rangle - |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)$$

エンタングリオンに入る

- ・エンタングリオンに入るには、片方の宇宙船がセンタリアスに、もう片方がスペリアスにいる必要があります。センタリアスにいる宇宙船のみが、エンタングリオンに入るための「CNOT」カードを使用できます。エンタングリオンへの航路は、ゲーム盤上に灰色の線で示されています。灰色の線の交点に両宇宙船を移動させてください
- ・エンタングリオンの外では、船は独立して動きます。
- ・エンタングリオンの中では、どちらのプレイヤーが「エンジンカード」を実行しても船は常に一緒に動きます。

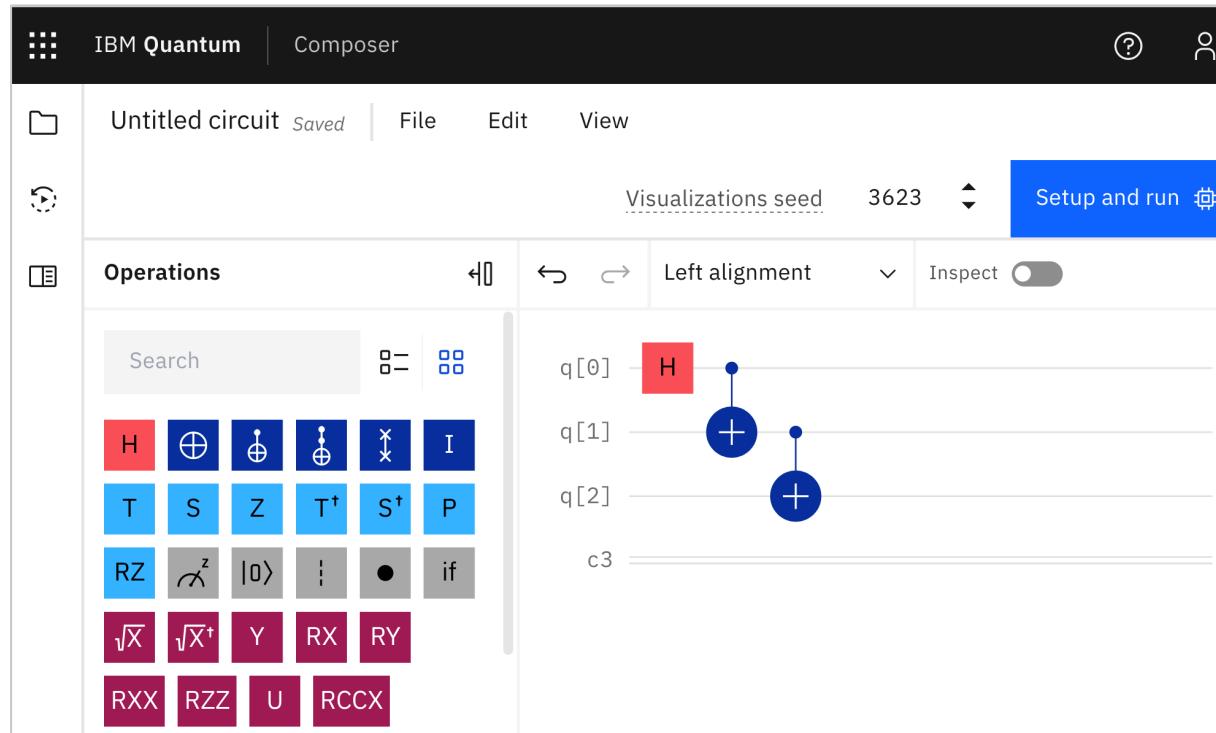
宇宙船 (CNOTする側)	別の宇宙船	目的地
ZERO	PLUS	PHI PLUS
ZERO	MINUS	PHI MINUS
ONE	PLUS	PSI PLUS
ONE	MINUS	PSI MINUS

$$|\Phi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle \pm |11\rangle)$$

$$|\Psi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle \pm |10\rangle)$$

IBM Quantum Composer で計算してみよう！

URL: <https://quantum-computing.ibm.com/composer>



ENTANGLION



日本語 簡易版ルール
<http://bit.ly/ent-simple-ja>



IBM Quantum System One

の見学はいかがでしたか？



クラウド型量子コンピューター

1
From the composer / QISKit the job is sent to the cloud where it is queued and then sent to a control/measurement computer

2
Microwave electronics mix signal down to a frequency that can be digitized

室温機器

皆さんのお手元

9
Results are sent back to you over the cloud

8
Mixed-down signals are digitized by a classical computer and the result is classified as 0 or 1

6
Amplifiers at 4K

7
Microwave electronics mix signal down to a frequency that can be digitized

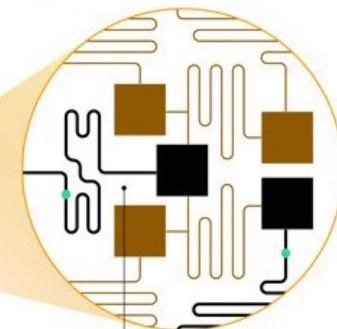
3
Measurement pulses go down same coax after the control pulses

量子チップ

低温機器

4
Measurement pulses interact with qubits via readout resonators and are reflected back

5
Measurement pulses are routed by circulators, and isolators prevent noise from getting to the qubits



Kawasaki Quantum Summer Camp 2023

の振り返り

基礎の基礎なんんですけど、量子ってなんですか？

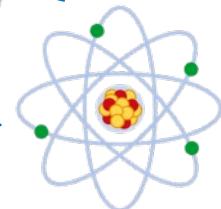
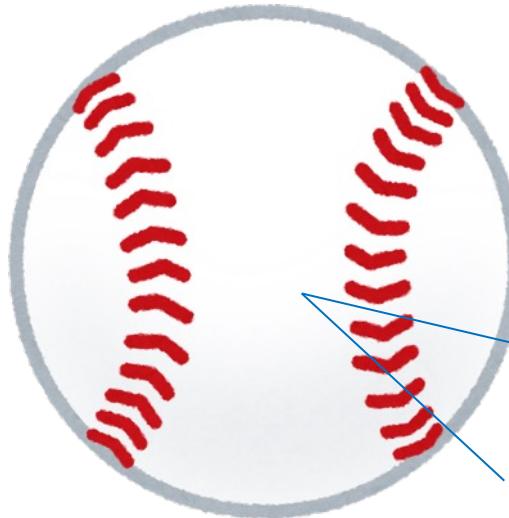
他の仕組みの量子コンピュータについて

活動時間のを長くすることが難しい場合は、その説明に関する、記事や動画があるサイトのURL等を教えて頂ければ、家で振り返ることが出来ると思いました。

ゲートのプロッホ球の話を、もっとベクトルも使って理解してみたかった。

量子とは？

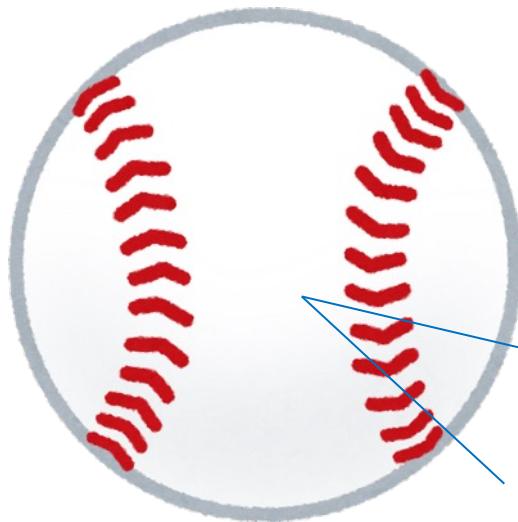
あらゆるものは、「原子」からできています。



原子

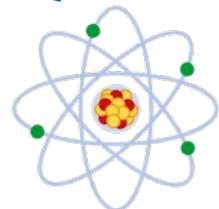
量子とは？

あらゆるものは、「原子」からできています。



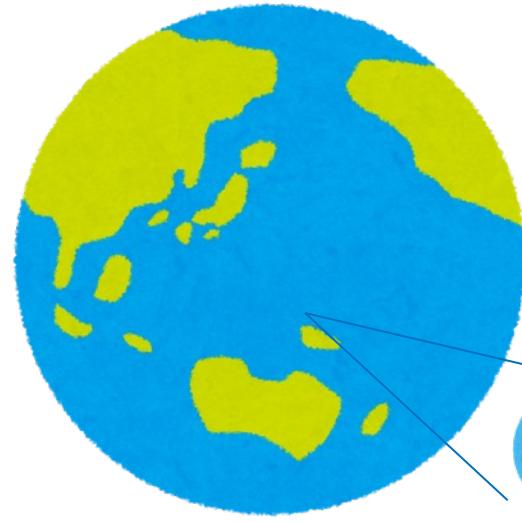
直径7cm

同じ比率



原子

直径0.1nm
ナノメートル



直径1万3000km

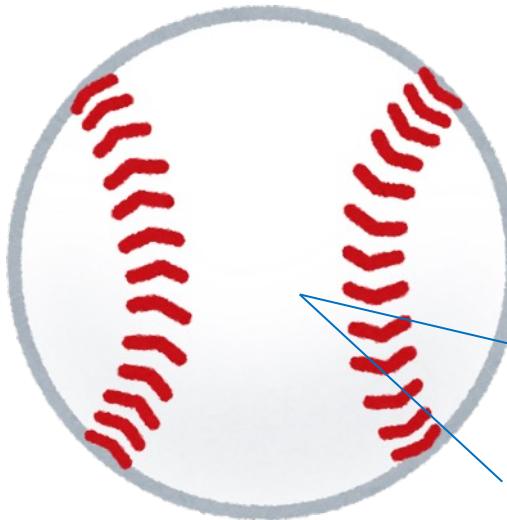


直径1cm

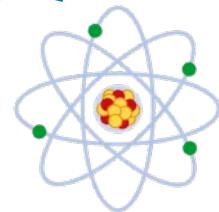
ビー玉

量子とは？

あらゆるものは、「原子」からできています。



直径7cm

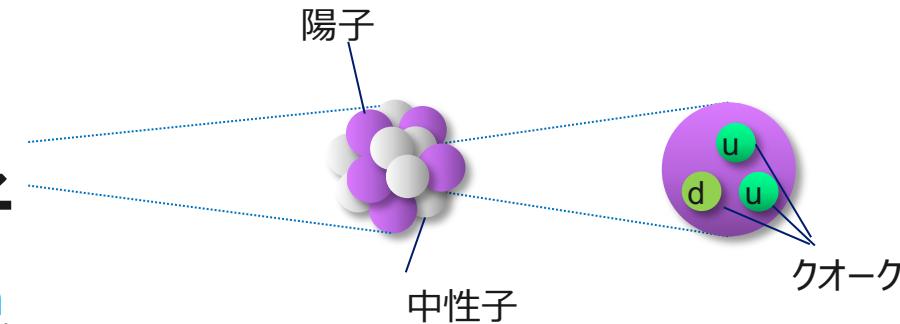


原子

直径0.1nm
ナノメートル

ミクロな世界

原子や原子より小さい物質を量子と呼びます。
このミクロな物質は、私たちの常識では説明できない、不思議なふるまいをします。



クオーク

量子の不思議な現象：量子重ね合わせ

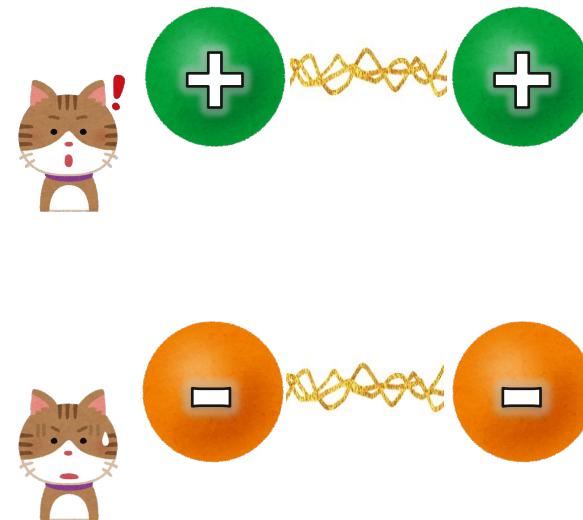
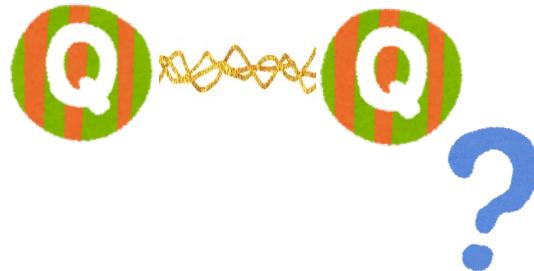
量子は1つしかなくても、たくさんの状態を同時にとることができます。



例えば、+と-の2つの状態が共存していて、観測するとどちらかの状態に決まります。
(分らなくて大丈夫です！量子とは直感では理解できないものです！)

量子の不思議な現象：量子もつれ

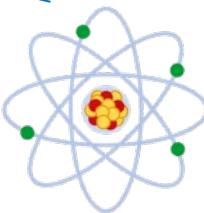
「量子もつれ」という特別な関係のふたごの量子は、
片方の状態を測定すると、もう片方の状態が瞬時に分かります。
(片方しか測定していないのに！)



力学 (古典力学)



直径7cm

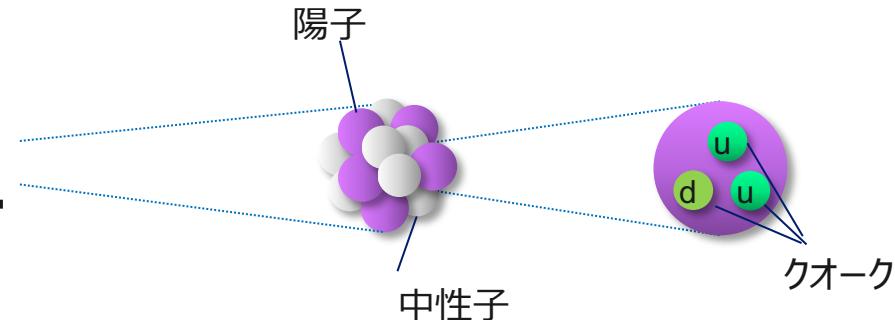


原子

直径0.1nm
ナノメートル

量子力学

量子力学は、ミクロの世界を表現する物理法則。
「重ね合わせ」「エンタングルメント」「干渉」
などの量子現象が挙げられます。



陽子

中性子

クオーク

量子コンピューターは、この量子力学の法則を利用したもの。

「色」という物理現象を制御してカラーカメラができた！



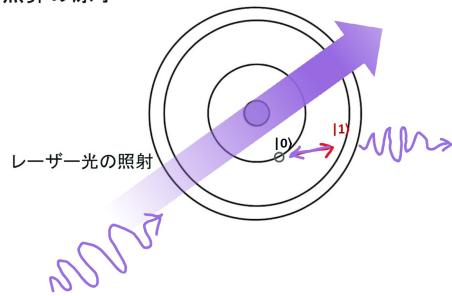
「重ね合わせ」「エンタングルメント」「干渉」という、これまでずっと世の中に存在していたものを制御できるようになってきて、量子コンピューターが登場した！

原子をそのまま使うのではなく 電気回路で人工の原子を作る

要件 1
2 準位系 ($|0\rangle$ と $|1\rangle$) の状態) を用意する

どうやって用意する?

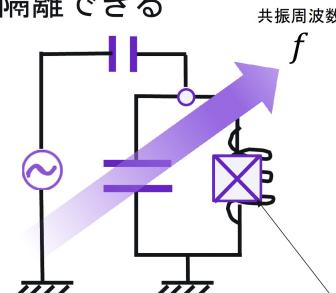
ヒント: 自然界の原子



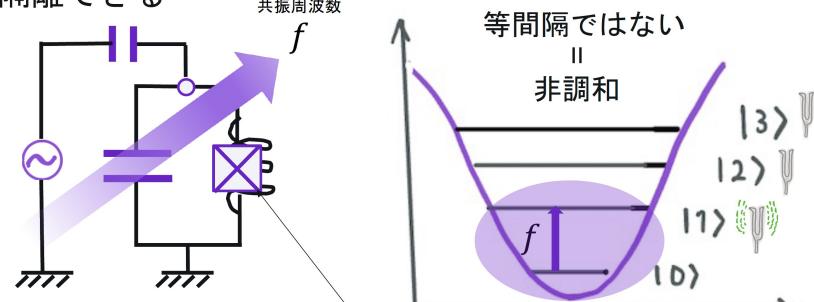
電気回路でつくる人工の原子



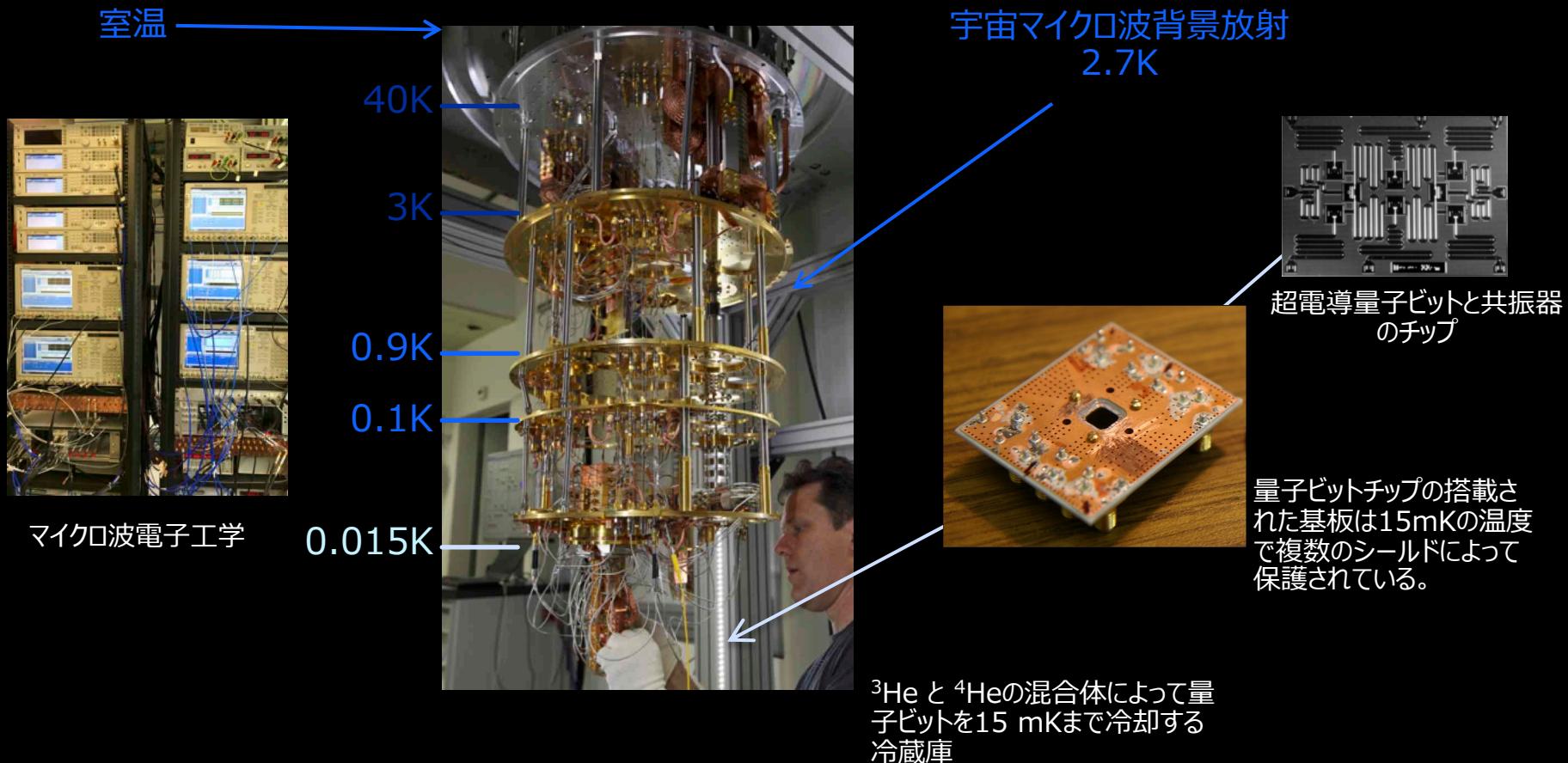
エネルギーレベルの間隔が同じにならないよう周波数をばらけさせることで $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ の世界を隔離できる



IBM Quantum



量子コンピューティングの構造



おすすめ学習コンテンツ

Qiskitテキストブック

https://quantum-tokyo.github.io/introduction/qiskit_textbook_ja.html



The screenshot shows the homepage of the Qiskit Textbook Japanese version. It features a large blue circular logo with the letters 'Qt' in white. Below the logo, the text 'Quantum Tokyo へようこそ' is displayed. To the right of the logo, there is a search bar and a navigation menu. The main content area has a title 'Qiskit テキストブック 日本語版' and a subtitle 'Qiskit を使った量子計算の学習'. Below these, a table of contents lists chapters and sub-chapters:

- 0. 前提条件
 - 0.1 [Qiskitテキストブックで作業するための環境設定ガイド](#)
 - 0.2 [Python 及び Jupyter notebook 入門](#)
- 1. 量子状態と量子ビット
 - 1.1 [はじめに](#)
 - 1.2 [計算の原子](#)
 - 1.3 [量子ビット状態を表現する](#)
 - 1.4 [単一量子ビットゲート](#)
 - 1.5 [量子コンピューターの場合](#)
- 2. 複数量子ビットともつれ状態
 - 2.1 [はじめに](#)
 - 2.2 [複数量子ビットともつれ状態](#)
 - 2.3 [位相キックバック](#)
 - 2.4 [基本的な回路の等価性](#)
 - 2.5 [普遍性の証明](#)
 - 2.6 [量子コンピューター上の古典計算](#)
- 3. 量子プロトコルと量子アルゴリズム
 - 3.1 [量子回路](#)
 - 3.2 [ドイチ-ジョサのアルゴリズム](#)
 - 3.3 [ペルンシュタイン・ヴァジラニ アルゴリズム](#)



Quantum Tokyoは
日本の量子コンピューター勉強会です！



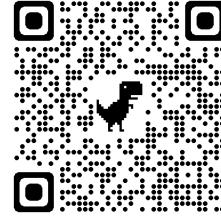
The screenshot shows the homepage of Quantum Tokyo. It features a search bar and a navigation menu. The main content area has a title 'Quantum Tokyo へようこそ' and a sub-section 'Quantum Tokyo は、日本国内のQiskit勉強会です。'. Below this, there are sections for 'イベント案内' (Event Information) and 'YouTubeチャンネル' (YouTube Channel). A sidebar on the right lists various resources:

- [Qiskitテキストブック 日本語版](#)
- [新版 Qiskitテキストブック 日本語版 \(Qiskitコース\)](#)
- [Qiskit ドキュメント・チュートリアル 日本語版リンク集](#)
- [IBM Quantum Challenge 一覧](#)
- [Qiskit 夏の学校 資料 日本語版](#)
- [Quantum Tokyo 過去イベント 資料](#)
- [Qiskitコミュニティー関連イベント案内](#)
- [その他： IBM Quantum の便利なツール](#)

<https://www.youtube.com/@QuantumTokyoo>

Quantum Tokyoは 日本の量子コンピューター勉強会です！

<https://www.youtube.com/c/QuantumTokyoo>



Qiskit チュートリアルシリーズ(2021)

Qiskit チュートリアル Nature編-1-(c) 量子機械学習編-2 班動機	Emi Adachi 基礎状態ソリューション 31:09	Qiskit チュートリアル Nature編-1-(c) 量子機械学習編-2 Shun Shirakawa 基礎状態ソリューション 22:55	Qiskit チュートリアル Optimization編-1 量子機械学習編-3 Shun Shirakawa 基礎状態ソリューション 59:32	Qiskit チュートリアル Nature編-1-(i) 量子機械学習編-2 Takehiko Amano 電子構造 38:00	Qiskit チュートリアル Nature編-1-(i) 量子機械学習編-2 Kazumasa Umezawa パルス編 21:37	Qiskit チュートリアル Nature編-1-(i) 量子機械学習編-2 Daiki Murata Qiskit Pulse 49:14
Qiskit チュートリアル勉強会 Nature編-1-(2) 109 回視聴・3 週間開		Qiskit チュートリアル勉強会 Nature編-1-(3) 96 回視聴・1 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 Optimization編-1 Nature編-2 105 回視聴・1 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 Nature編-1-(1) Nature編-2 99 回視聴・1 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 Nature編-1-(1) パルス編 215 回視聴・2 か月前	
Qiskit チュートリアル量子機械学習編-2 Yuma Nakamura QAOA qGANを使った機械学習ネットワーク 47:34	Yuma Nakamura QAOA qGANを使った機械学習ネットワーク 47:12	Qiskit チュートリアルアルゴリズム編-3 Shota Nakasui 量子機械学習編-3 QAOA qGANを使った機械学習ネットワーク 19:36	Qiskit チュートリアルアルゴリズム編-2 Daiki Murata 量子機械学習編-1 Groverのアルゴリズム 35:59	Qiskit チュートリアルアルゴリズム編-1 Takehiko Amano 量子機械学習編-1 Groverのアルゴリズム 35:59	Qiskit チュートリアルアルゴリズム編-1 Kifumi Numata 量子回路編 49:20	Qiskit チュートリアルアルゴリズム編-1 Ryoko 量子回路編 49:31
Qiskit チュートリアル勉強会 量子機械学習編-2 306 回視聴・4 か月前		Qiskit チュートリアル勉強会 アルゴリズム編-3 409 回視聴・4 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 量子機械学習編-1 434 回視聴・5 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 アルゴリズム編-2 Grover 202 回視聴・5 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 アルゴリズム編-1 VQE 391 回視聴・6 か月前	Qiskit チュートリアル勉強会 量子回路編 436 回視聴・7 か月前
Qiskit チュートリアル 金融編-3 Kenji Tanaka QAE(量子經典演算とコローナンス・アルゴリズム) 33:10		Qiskit チュートリアル 金融編-2 Yuma Nakamura qGANを使ったオプティマイゼーション 35:49	Qiskit チュートリアル 金融編-1 Daiki Murata AIによる機械学習の基礎 ボラティリティの計算 55:12	Qiskit チュートリアル 金融編-1 Qiskit チュートリアル勉強会 金融編-1 445 回視聴・8 か月前		

Qiskit テキストブックシリーズ(2020)

Qiskit Textbook 日本語解説 9.2章 46 回視聴・1 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 7.3章 61 回視聴・1 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 7.2章 55 回視聴・2 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 7.1章 29 回視聴・2 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 6.4章 245 回視聴・2 か月前
Qiskit Textbook 日本語解説 6.3章 67 回視聴・2 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 5.1, 5.2, 5.3章 113 回視聴・3 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 4.1.4章 4.1.5章 91 回視聴・5 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 3.11章 110 回視聴・5 か月前	Qiskit Textbook 日本語解説 4.1.1章 4.1.2章 112 回視聴・5 か月前
Qiskit Textbook 日本語解説 3.12章 112 回視聴	Qiskit Textbook 日本語解説 3.7章 3.8章 41:33	Qiskit Textbook 日本語解説 3.5章 22:18	Qiskit Textbook 日本語解説 2.1章 2.2章 104 回視聴	Qiskit Textbook 日本語解説 1.3章 1.4章 170 回視聴

自分のペースで学習できる 『Quantum Explorers 2023』

量子コンピューターの自習用プログラムで、入門的な内容から応用まで幅広いトピックを扱っています。

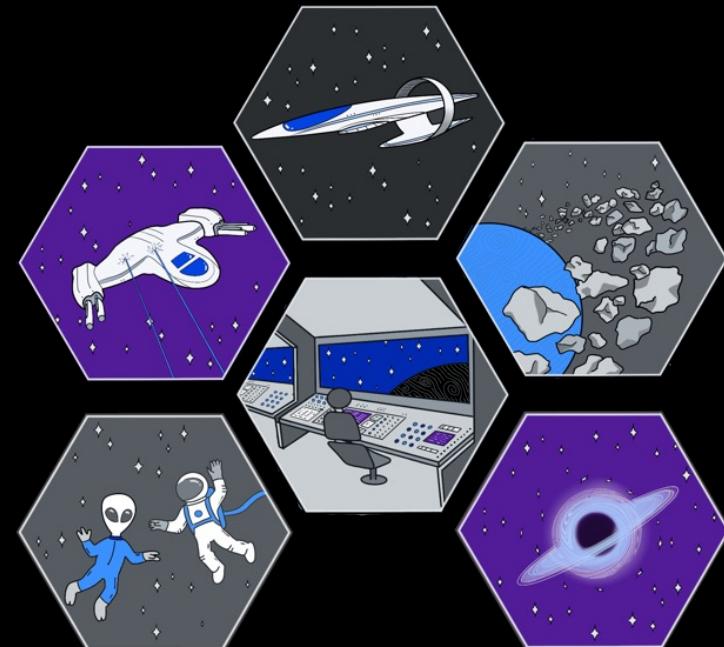
それぞれのトピックのモジュールの最後のクイズを完了することでバッヂがもらえるゲーム要素もあります。

期間：2023年7月から2024年2月



<https://ibm.biz/qexp23ja>

<https://challenges.quantum-computing.ibm.com/quantum-explorers-23>



Qiskitコミュニティー主催のオンラインイベント(予定)

- 5月頃 「**IBM Quantum Challenge**」
初心者から参加できる量子プログラミングコンテスト
- 7月頃 「**Qiskit Global Summer School**」
Qiskit 夏の学校
- 8月～2月頃 「**Quantum Explorers**」
毎月テーマがある自学習プログラム

- 10月 夏のインターンシップの募集開始

<https://research.ibm.com/blog/2024-quantum-internships>

Qiskit Slackの #japan チャネルもご活用ください！

<https://qisk.it/join-slack> の中の #japan では日本語で会話しています！



誰でも127量子ビットの量子コンピューターが無料で使えるようになりました！（10分/1ヶ月）

<https://quantum-computing.ibm.com/>

IBM Quantum Platform Dashboard Compute resources Jobs

Compute resources

Access IBM Quantum systems and simulators via our available access plans.

Your resources All systems All simulators

You have access to the following systems with your IBM Quantum account.

Card Table

Search by system or simulator name	Your systems & simulators (9)	Filter		
ibm_brisbane System status: Online Processor type: Eagle r3 Qubits: 127	ibm_perth System status: Online Processor type: Falcon r5.11H Qubits: 7 QV: 32 CLOPS: 2.9K	ibm_lagos System status: Online Processor type: Falcon r5.11H Qubits: 7 QV: 32 CLOPS: 2.7K	ibm_nairobi System status: Online Processor type: Falcon r5.11H Qubits: 7 QV: 32 CLOPS: 2.6K	simulator_stabilizer Simulator status: Online Simulator type: Clifford simulator Qubits: 5000
simulator_mps Simulator status: Online Simulator type: Matrix Product State Qubits: 100	simulator_extended_stabilizer Simulator status: Online Simulator type: Extended Clifford (e.g. Clifford+T) Qubits: 63	ibmq_qasm_simulator Simulator status: Online Simulator type: General, context-aware Qubits: 32	simulator_statevector Simulator status: Online Simulator type: Schrödinger wavefunction Qubits: 32	

今日の資料：

ibm.biz/kwskgit

