状態が入れ替わる最短の時間は、エネルギーの大きさではなく、基底から測った平均で決まる

— 0 と 1 eV を等しく重ねた二準位は限界にちょうど届くが、エネルギーの原点を 10 eV 下げると式は 9.846828×10^{-17} 秒を返し、実際の時間は変わらない — 分離子は、エネルギーを基底状態から測るか、勝手な原点から測るか — [論文772]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

量子の状態が別の状態に移るには時間がかかり、エネルギーが大きいほど速く移れる、と言われる。その最短の時間を、限界の式と二準位の計算で数え、式に入るエネルギーをどこから測るかを確かめる。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、限界は小さなエネルギーでも短い——平均 1 eV で 1.033917×10^{-15} 秒（第2節）。 第二に、質量をすべてエネルギーにすると、演算の上限が出る——1 kg で 1 秒あたり 5.425570×10^{50}（第2節）。 第三に、二準位は限界にちょうど届く——重なりが消えるのは 2.067710×10^{-15} 秒、限界は 2.067834×10^{-15} 秒（第3節）。 第四に、これが本稿の芯である。式に入るエネルギーは、基底から測らなければならない——原点を 10 eV 下げると式は 9.846828×10^{-17} 秒を返すが、実際に消える時間は変わらない（第3節）。 第五に、原点のずらしは限界を桁で狂わせる——式の値が 0.047619 倍になる（第3節）。 第六に、分離子は、エネルギーを基底状態から測るか、勝手な原点から測るかである——「エネルギーが大きいほど速く変わる」は、どこから測ったエネルギーかを言うまで真偽が決まらない（第4節）。 キーワード：マルゴラス＝レヴィチン限界、量子速度限界、直交する状態、平均エネルギー、エネルギーの原点、計算の速さの上限。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——マルゴラス＝レヴィチン限界、二準位でその限界に届くこと、質量のエネルギーから計算の速さの上限を出すことは、いずれも既知である（マルゴラス＆レヴィチン 1998、ロイド 2000）。もう一つの限界を扱わない——エネルギーの広がりで決まるマンデルシュタム＝タムの限界は名前を挙げるにとどめる。上限は理想である——1 kg の計算機は、質量をすべて使えるとした理想の上限で、作れるとは言わない。実在の機械を主張しない——実在の計算機や量子計算機の速さは扱わない。二準位で確かめる——限界に届くことは、0 と 1 eV を等しく重ねた二準位の重なりを時間の格子で追って確かめた。格子の刻みの分だけ時間はずれる。既刊との関係：論文131 は、$k_B T \ln 2$ のうち物理は T だけであることを示した——そこでは消去の値段の限界を、規約と事実に仕分けた。ここでは入れ替わりの速さの限界で、式に入るエネルギーを基底から測るという約束を外すと、式が物理を失うことを数える。どちらも、限界の数が何を測るかの約束を含む。加えたのは、1 eV・1 kg・300 K の $kT\ln 2$ の三つで限界を出したこと、二準位が限界に届くことを格子で確かめたこと、原点を 10 eV ずらすと式が 0.047619 倍の値を返すことを示したこと、分離子を「どこから測ったエネルギーか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：基底状態から測った平均エネルギーを $\langle E \rangle$ とする。状態が直交する状態に移る最短の時間と、1 秒あたりの演算の上限は次になる。0 と E を等しく重ねた二準位では、重なりの大きさが時間とともに次のように変わる。

$$\tau \geq \frac{\pi\hbar}{2\langle E\rangle}, \qquad \nu_{\max} = \frac{2\langle E\rangle}{\pi\hbar}, \qquad \left|\langle \psi(0) \mid \psi(t)\rangle\right| = \left|\cos\frac{Et}{2\hbar}\right|$$

二準位では $\langle E\rangle = E/2$ で、重なりが初めて 0 になるのは $t = \pi\hbar/E$ である。

問い：状態が入れ替わる速さを決めるエネルギーは、どこから測ったエネルギーなのか。

2. 限界の値

計算 2.1：限界の式で、三つの場合の最短の時間と演算の上限を出した。

場合	値
平均 1 eV の最短の時間	1.033917×10^{-15} 秒
1 kg を全部エネルギーにしたときの演算の上限	5.425570×10^{50} 回/秒
300 K の $kT\ln 2$	2.870979×10^{-21} J（0.017919 eV）
そのエネルギーでの最短の時間	5.769870×10^{-14} 秒

> **観察 2.2**
>
> 限界は、小さなエネルギーでも短い。1 eV で 1.033917×10^{-15} 秒、室温の熱のエネルギーほどの 0.017919 eV でも 5.769870×10^{-14} 秒である——速さの上限を決めているのは $\hbar$ で、消去の値段を決める kT とは別の定数である。

3. 二準位は届き、原点は効く

計算 3.1：0 と 1 eV を等しく重ねた二準位の重なりを時間の格子で追い、消える時間を限界と比べた。次に、同じ状態のエネルギーを原点を 10 eV 下げて測り直し、限界の式に入れた。

量	値
重なりが消える時間（格子）	2.067710×10^{-15} 秒
式 $\pi\hbar/E$	2.067834×10^{-15} 秒
平均 0.5 eV での限界	2.067834×10^{-15} 秒
原点を 10 eV 下げたときの式の値	9.846828×10^{-17} 秒
その倍率	0.047619

> **観察 3.2**
>
> 二準位は、限界にちょうど届く。格子で見た消える時間と限界の相対差は 6.000×10^{-5} で、格子の刻みの大きさである——限界は届かない目安ではなく、届く壁である。

> **観察 3.3**
>
> これが本稿の芯である。式に入るエネルギーは、基底から測らなければならない。原点を 10 eV 下げて測ると、式は 9.846828×10^{-17} 秒を返すが、重なりが消える実際の時間は 2.067834×10^{-15} 秒のまま変わらない——エネルギーの原点は物理を変えないのに、式の値を 0.047619 倍に変えてしまう。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、エネルギーを基底状態から測るか、勝手な原点から測るかである。基底から測れば限界は二準位で届く壁になり、勝手な原点から測れば、実際より短い意味のない値を返す——「エネルギーが大きいほど速く変わる」は、どこから測ったエネルギーかを言うまで真偽が決まらない。

> **観察 4.2**
>
> 論文131 と並べる。131 は、$k_B T \ln 2$ のうち物理は T だけで、ほかは規約であることを示した——ここでは速さの限界で、エネルギーを測る原点という約束が式の意味を握っている。消去の値段と入れ替わりの速さの、どちらの限界も、何を測るかの約束を含む。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。エネルギーの広がりで決まるもう一つの限界も、実在の計算機の速さも扱わず、1 kg の計算機は理想の上限である——示したのは、限界が届く壁であることと、その式のエネルギーの原点が決まっていることである。

5. 点呼と結び

1. 1 eV で 1.033917×10^{-15} 秒（計算 2.1）：最短の時間。
2. 1 kg で 5.425570×10^{50} 回/秒（計算 2.1）：演算の上限。
3. $kT \ln 2 = 0.017919$ eV（計算 2.1）：室温の熱。
4. そこで 5.769870×10^{-14} 秒（観察 2.2）：それでも短い。
5. 消える時間 2.067710×10^{-15} 秒（計算 3.1）：二準位。
6. 限界 2.067834×10^{-15} 秒（観察 3.2）：ちょうど届く。
7. 原点をずらすと 9.846828×10^{-17} 秒（観察 3.3）：本稿の芯。
8. 倍率 0.047619（観察 3.3）：意味のない値。
9. $\hbar$ と kT（観察 2.2）：速さと値段の別の定数。
10. どこから測ったエネルギーか（観察 4.1）：分離子・論文131。

結び：状態が入れ替わる最短の時間は、エネルギーの大きさではなく、基底から測った平均で決まる。マルゴラス＝レヴィチン限界で、平均 $1\ \mathrm{eV}$ なら最短の時間は 1.033917×10^{-15} 秒、$1\ \mathrm{kg}$ を全部エネルギーにすれば 1 秒あたり 5.425570×10^{50} 演算が上限になり、室温の $kT\ln 2$ ほどの $0.017919\ \mathrm{eV}$ でも 5.769870×10^{-14} 秒である——速さを決めているのは $\hbar$ である。0 と $1\ \mathrm{eV}$ を等しく重ねた二準位は、重なりが 2.067710×10^{-15} 秒で消え、平均 $0.5\ \mathrm{eV}$ の限界 2.067834×10^{-15} 秒にちょうど届くが、エネルギーの原点を $10\ \mathrm{eV}$ 下げて測ると、式は 9.846828×10^{-17} 秒——0.047619 倍——を返し、実際の時間は変わらない——式のエネルギーは、基底から測るという約束の上でだけ物理になる。分離子は、エネルギーを基底状態から測るか、勝手な原点から測るかである。既刊との位置——論文131 は消去の値段の限界を規約と事実に仕分けた。ここは入れ替わりの速さの限界で、測る原点という約束を数えた。正直に言えば——もう一つの限界も実在の計算機も扱わず、$1\ \mathrm{kg}$ の計算機は理想の上限である。

参考文献

1. Lloyd, S. (2000). Ultimate physical limits to computation. *Nature*.
2. Margolus, N., & Levitin, L. B. (1998). The maximum speed of dynamical evolution. *Physica D*.
3. 山岸勇輝 (2026).『$k_B T \ln 2$ のうち、物理は T だけである』[論文131]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22080240

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)