

2025年ノーベル物理学賞

トンネル効果

テニスの練習で壁打ちをしていたとします。ボールがコンクリートの壁を通り抜けて向こう側にいったら仰天するでしょう。そんなこと起こるはずがありません。でも対物ライフルの弾丸ならコンクリートを貫くことが可能です。テニスボールと弾丸の違いは持っているエネルギーです。

壁を構成しコンクリートがくついている力(ポテンシャルと呼びましょう)に打ち勝つだけのエネルギーがなければ、壁を通り抜けることができない、というのが物理の教えです。少しかっこいい言い方をすれば「ポテンシャルを越えるエネルギーがなければ向こうには行けない」ということあります。

ところがミクロの世界ではトンネル効果といってエネルギーがポテンシャルより低くても通り抜けることがあります。

そしてそんな現象を利用した実験を90年以上前にやった装置が科学館にはあります。4階のコッククロフト・ウォルトン型加速器です。



図1 2025年のノーベル物理学賞を受賞した3人。左からジョン・クラーク、ミシェル・デボレ、ジョン・マルティニス。今回のノーベル物理学賞は「電気回路における巨視的な量子力学的トンネル効果とエネルギーの量子化の発見」に対して授与されました。

ノーベル財団のホームページ <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/> より

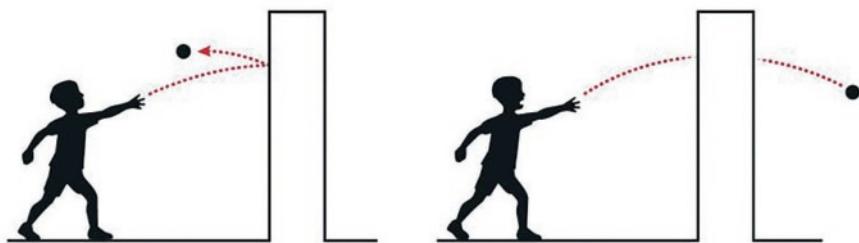


図2 トンネル効果の説明

壁に向かって投げたボールは左側のように、必ず跳ね返ってくる。しかしミクロの世界では、右側のように壁を通り抜けてしまうことがある。

ノーベル財団のホームページ

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2025/popular-information/> より

人工核反応

電子をはぎ取った2つの原子核を低エネルギーでぶつけるとお互いに持つ正の電気ポテンシャルで弾かれてしまいます。原子核の弾性散乱といって核反応は起いません。

また核分裂する原子核は寿命を持っていますが、いつ壊れるのかは誰にもわからず、確率的にしか分かりません。つまり、ある時間経過したときその原子核が壊れているのはパーセンテージでしか言えないので。この確率的というのはミクロの世界を支配する量子力学の特徴です。

α 崩壊する原子核の寿命をトンネル効果を使って説明したのは、ビッグバン理論を提唱したことでも有名



写真1 コッククロフト・ウォルトン型加速器

1934(昭和9)年、菊池正士らが大阪大学に設置した国内初の加速器。60万ボルトの高圧を発生させ、加速管内で陽子や重陽子を加速しました。中央の横倒しになった筒が加速管。

なガモフで彼の1928年の仕事です。原子核どうしがくついたり離れたりするのは量子力学が支配するミクロの世界の現象であり、このときトンネル効果が大きな役割を果たします。

さて90年前の加速器は非力で、そのエネルギーはポテンシャルよりも低いものでした。これではリチウム(壁)に加速したプロトン(ボール)をぶつけてもリチウムを壊す人工核反応を起こせないだろうと思われました。

バンデグラフと言う人はポテンシャルの壁を乗り越える、あるいは破壊する、貫くためにひたすらボールのエネルギーを高くする(=もっと高い電圧を発生させる)ことに注力し、ボールを加速する加速管を用意しました。

ところがコッククロフトらは、クーロン力のポテンシャルよりも低い彼らの非力な加速器に加速管を取り付けボールを壁にぶつけ原子核破壊実験に成功します。その2年後にはんとうにそんなことができる事を日本(大阪)でもやってみたのが、4階に展示されている装置です。

ノーベル物理学賞

このときの壁はひとつの小さな原子核が作るポテンシャルで、ボールはプロトン1個でした。

日本でトンネル効果と言えば、1973年にノーベル賞を受賞した江崎玲於奈の仕事(論文は1958年)ですが、このときポテンシャルを通り抜けたボールは、ひとつひとつの1個の電子でした。いずれもミクロの世界です。

ところが今年のクラーク、デボレ、マルティニスのボールは超低温で2個の電子が対になったクーパー対が数十億個だったと言われています(1984~85年に行われた実験)。

壁も超伝導体と超伝導体で挟まれた絶縁体(ジョセフソン素子)でした。マクロ(巨視的)な世界です。

物理学の基本法則はミクロな世界の量子力学だとされています。ところがそこで起る現象は我々から見るとしばしば直感に反しています。それは我々の住むマクロ世界では量子効果はさまざまな理由で見えなくなっているからです。ミクロでしか起こらない奇妙な現象に見えてしまいます。

トンネル効果をはじめとする量子効果は日常生活のレベルで利用することはできないだろうと思われていました。このミクロにしか起こらないトンネル効果がマクロの世界である超伝導の回路でも起こることがあるのを実証したというのが、クラーク、デボレ、マルティニスの3人のすごいところ。いろんな可能性がありますが、現在発展の著しい量子コンピュータ、量子通信、量子センサーなどの量子技術を支える基礎になる研究でした。

大倉 宏(日曜物理学、元科学館学芸員)