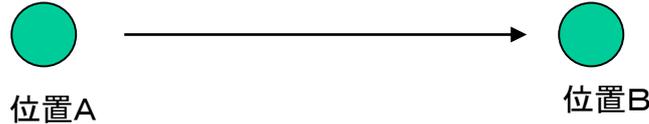


# 素粒子の振る舞い

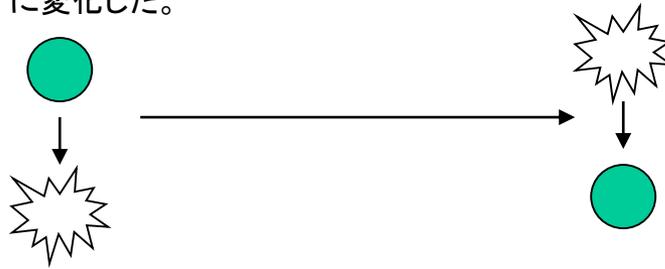
以下の二つのことは、同じことを表している

1. 素粒子が位置Aから位置Bへ移動した。



量子力学では、粒子は波の性質も持ち、波は粒子としても表せる。左記の空間を粒子が移動するというパターンは、素粒子の「粒子性」を表しています。

2. 位置Aでは、素粒子が存在している状態から何も無い状態に変化し同時に、位置Bでは、何も無い状態から素粒子が存在している状態に変化した。



この空間の状態の変化は、何かが移動してるわけではないため、上とは逆に「波動性」(波としての性質)を表しています。

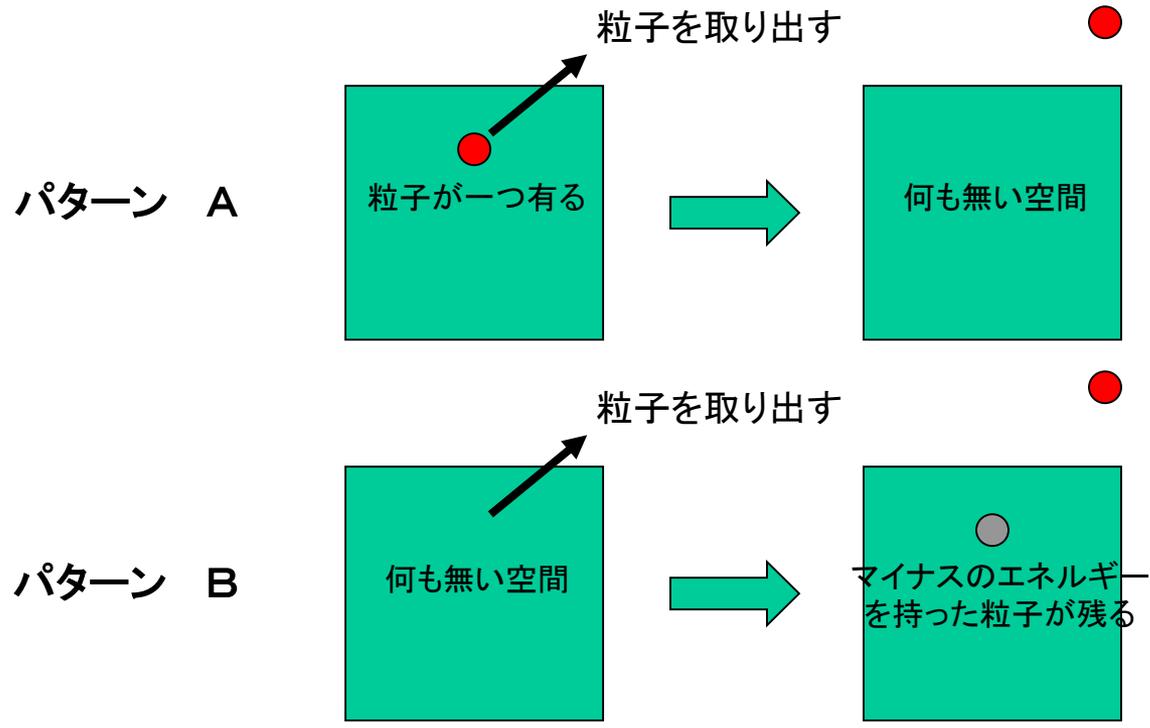
素粒子は非常に小さいため顕微鏡などによって直接観測することは不可能である。素粒子の姿をモデル化したもので概念的なことを理解するのみである。原理的に上記2つのモデルの内いずれが正しいのかを判定することができない。従って(実験に反しない限り)上記2つのモデルのいずれも正しい。つまり同じことを言っているのである。素粒子科学では、我々が理解しやすいように素粒子をさまざまにモデル化するが、モデルの種類は多数(注1)あってもいずれも物理的には同等とみなされる。ただしそこから導かれる予測が実験結果に反するものは修正を迫られることになる。

(注1)モデルは多数考えられるが、大きく分けて、素粒子の「粒子性」に起因するものと「波動性」に起因するものに大別される。クォークなどもそれを単体で取り出して観測できない(注2)以上、モデルの一つに過ぎない。ただしクォークの存在を仮定すると多くの事象が説明できるだけでなく、その存在を仮定することによって予言される事象が実験によって確かめられれば、その信ぴょう性はますます高まるであろう。

(注2)クォーク間に働く「強い力」があまりにも強いために、クォークを引き離すことができない。

# 真空とは？

一般的にそこに何か“有る”のと、何も“無い”のでは大きな違いがあると解釈される。しかし「素粒子の振る舞い」で示した通り、物理的には、ある空間に物質が存在するのとなしなのは、単にその空間の状態が異なるだけで、空間という点について、本質は全く同じであると解釈される。では、何も無い空間(これを一般には“真空”という)とはどのようなものか？



左のパターンAはごく当たり前のこと。パターンBは普通は有り得ない。何も無い空間からは、何も取り出せない。しかし、空間が単なる状態なら、パターンBも起こり得る。ただし、マイナスのエネルギーは観測されないため、プラスのエネルギーを補うことによって、直ちに埋め合わせなければならない。

量子力学の「不確定性原理」よれば、エネルギーの不確定さ $\Delta E$ と時間の不確定さ $\Delta t$ との関係は、

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \text{ となる。}$$

※ $h$ はプランク定数

つまり極短い時間なら、マイナスのエネルギーも考えられる。

理論的には、何も無い空間からいくらでもエネルギーを取り出せる。ただし極短時間のうちに、取り出したエネルギーを返還しなければならない。

不確定性原理( $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ )によれば、取り出したエネルギーが大きければ大きいほど、短時間のうちに返還する必要がある。これはローン返済で、借金の額が大きいほど、返済期限が短いことに相当する。

“真空”とは、無限にエネルギーが詰まった空間。そこからいくらでも粒子を取り出せることが可能。ただし不確定性原理に従う。

# マイナスのエネルギーとは？

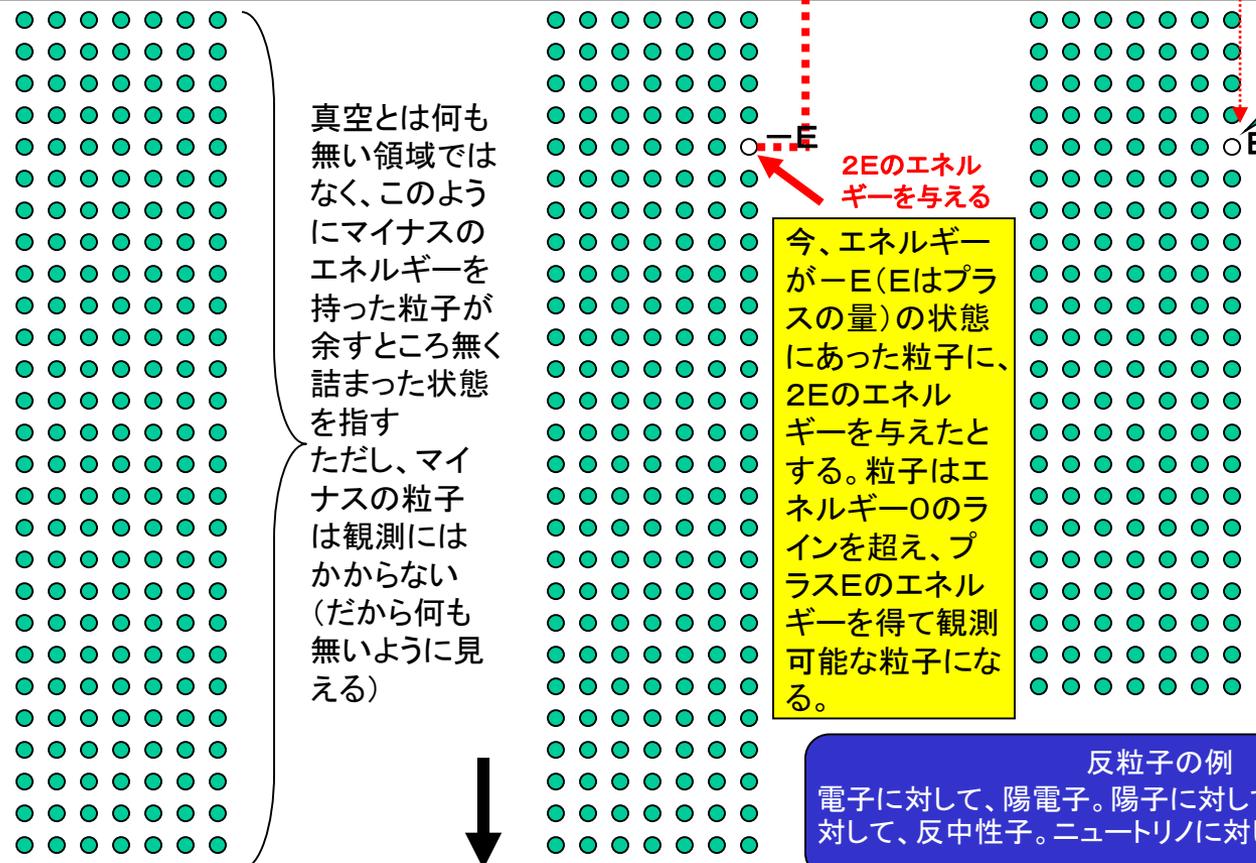
エネルギープラスの領域

真空とはそこに何も無いのだから、エネルギーはゼロと解釈される

エネルギー0のライン

エネルギーマイナスの領域

$-\infty$



真空とは何も無い領域ではなく、このようにマイナスのエネルギーを持った粒子が余すところ無く詰まった状態を指す  
ただし、マイナスの粒子は観測にはかからない(だから何も無いように見える)

ここでエネルギーEの粒子しか現れなかったら、最初に与えたエネルギー2Eのうち、Eが消えてしまうことになる。

エネルギー0の状態から、 $-E$ を取り出すため  $0 - (-E) = E$  つまりプラスEのエネルギーが残る。

今、エネルギーが $-E$ (Eはプラスの量)の状態にあった粒子に、 $2E$ のエネルギーを与えたとする。粒子はエネルギー0のラインを超え、プラスEのエネルギーを得て観測可能な粒子になる。

この粒子の抜けた孔は、プラスのエネルギーを得て、観測可能な粒子として振舞う。ただし、プラスの領域に上がった元の粒子とは性質(電荷や進む方向)が反対になる。このような粒子を“反粒子”という。

反粒子の例  
電子に対して、陽電子。陽子に対して反陽子。中性子に対して、反中性子。ニュートリノに対して、反ニュートリノ

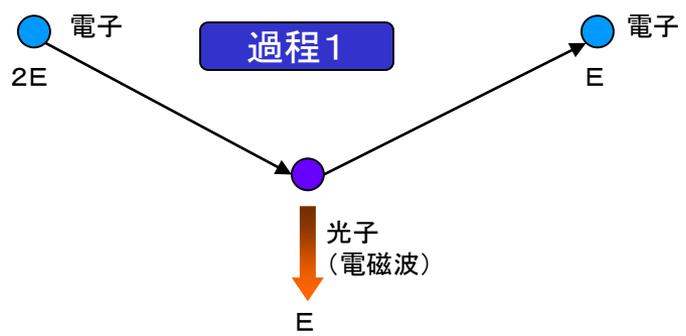
解説  
この真空の考え方は、量子力学に相対性理論を考慮したディラック(注)理論(空孔理論)から生み出されたものである。それによると粒子には反対の性質を持った反粒子が存在する。すなわち我々の身体を含めた物質には反対の“反物質”が存在することを示している。  
注: 1902~1984イギリスの物理学者、相対性理論を考慮したディラック方程式が有名

# 反粒子とは？

素粒子がエネルギーを放出して、その分エネルギーを失う過程

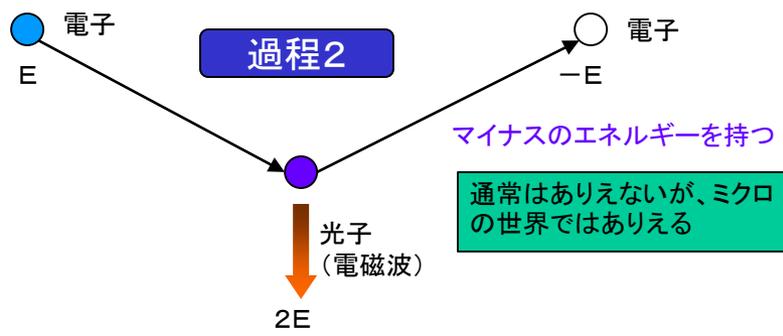
2Eのエネルギーを持っていた電子がエネルギーEの光子を放出し、その結果、エネルギーEを持つことになった。

$2E - E = E$



仮にもし、最初にEしかエネルギーを持っていなかった電子が、エネルギー2Eの光子を放出したら、その結果、エネルギーは-Eになってしまう。

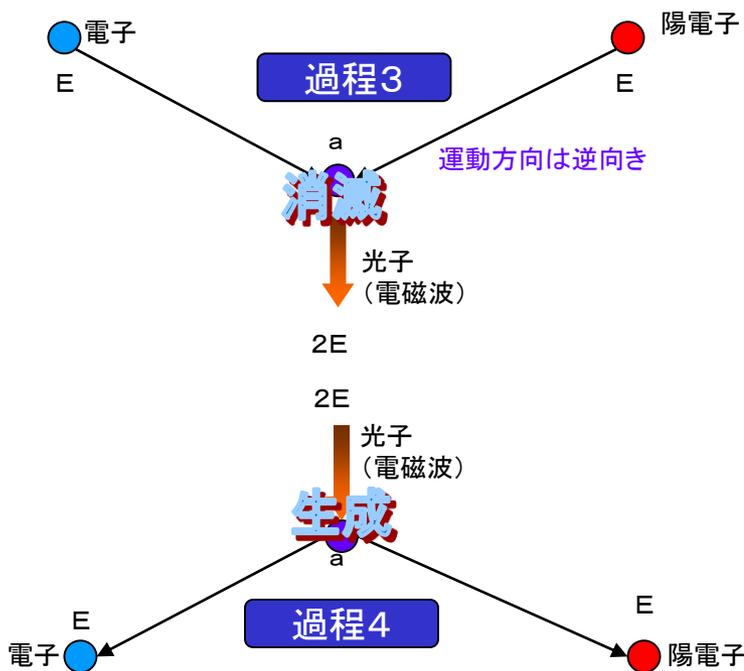
$E - 2E = -E$



過程2をこう考え直す。エネルギーEの電子と同じくエネルギーEをもつ陽電子がa地点で衝突した。その結果、エネルギー2Eを持つ光子に変わった。

$E + E = 2E$

マイナスのエネルギーを持つ電子とプラスのエネルギーを持つ陽電子は、電荷の符号がマイナス、プラスで反対。運動方向も反対(よって運動量はプラスマイナスゼロ)



粒子と反粒子が出会うと電磁エネルギー(光子になって、両方とも消滅する。これを対消滅という)

過程3とは逆に、光子(エネルギー)から、粒子と反粒子が生まれる。これを対生成という