

ニュートリノを捕まえろ！ ー素粒子物理学の発想と実験法ー

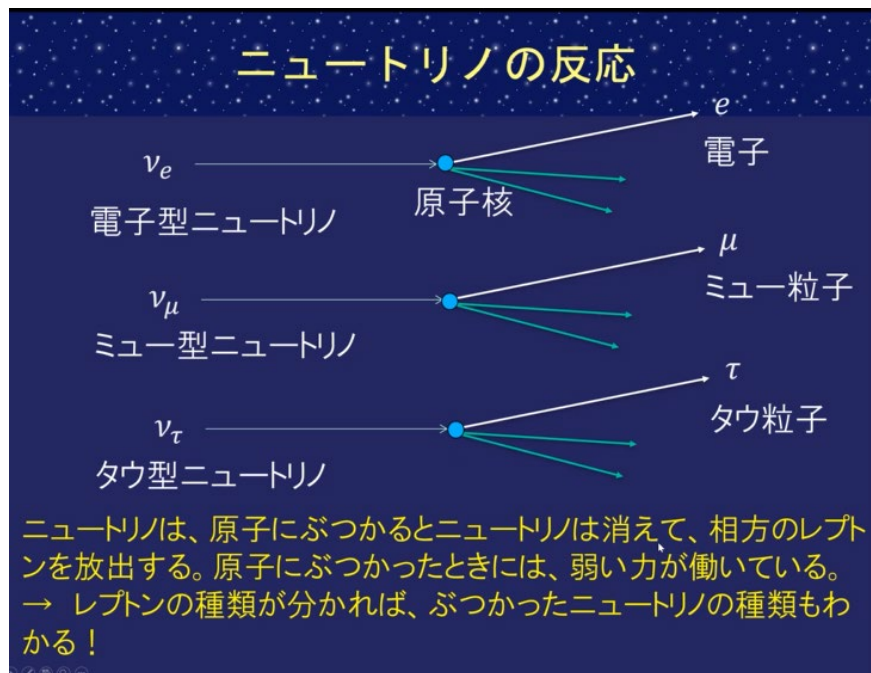
東邦大学 理学部物理学科 素粒子物理学教室教授 小川 了氏

衝突時に放出したレプトンが分かればニュートリノが分かる

ニュートリノは量子です。だから粒でもあり、波でもあるんです。ニュートリノの重い粒子が崩壊する時にレプトンが現れるのですが、ニュートリノはたまに原子核にぶつかります。原子核にぶつかるのはごくごく稀でほとんど起こらない、というのがニュートリノの性質なんです。

しかしぶつかった時には、

- 電子型ニュートリノが原子核にぶつかると電子を吐き出します。
- ミュー型ニュートリノが原子核にぶつかるとミュー粒子を吐き出します。
- タウ型ニュートリノが原子核にぶつかると、タウ粒子を吐き出します。



ニュートリノは、原子核にぶつかると自らは消えて、相方のレプトンを放出します。その時、原子核の中で弱い力が働いている。

レプトンの種類が分かれば、ぶつかったニュートリノの種類もわかります。捕まえろという話を考えると、電子だとかミュー粒子だとかタウ粒子は検出することが可能です。これらのレプトンを検出できれば、ぶつかったのがどのニュートリノだったのかがわかるということになります。

ニュートリノの捕まえ方

捕まえ方なんですけどもなかなかぶつからないので大量のものを置く。反応で出てきたレプトンを検出してやると、そうすると反応が起こったんだ、ということがわかる。

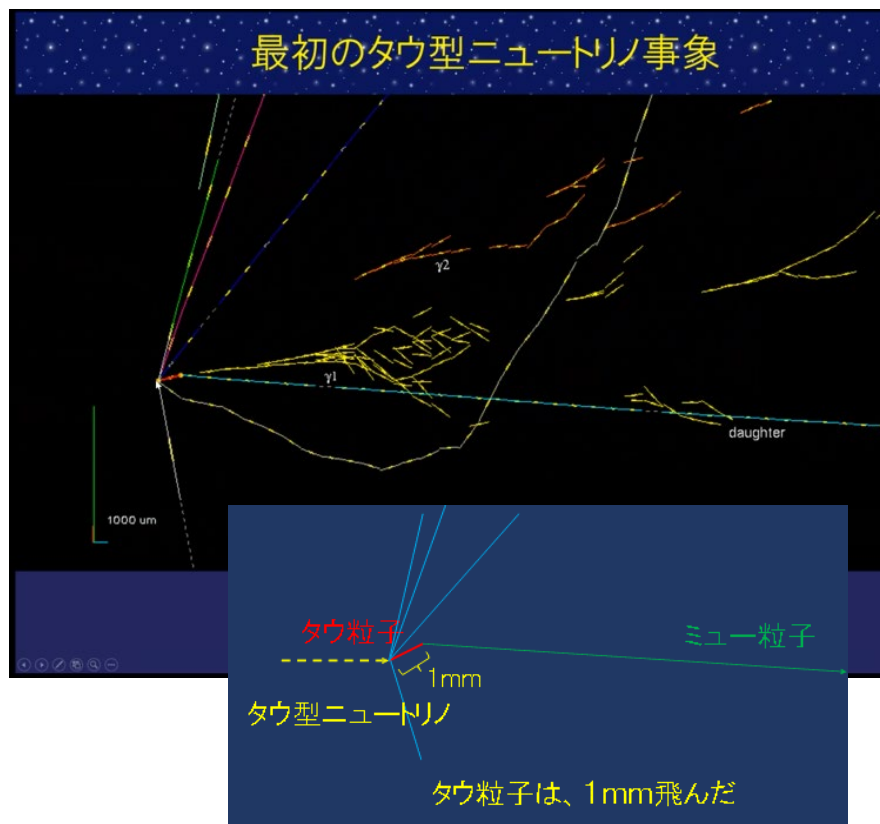
先程、物質の中で電子型ニュートリノが原子核に当たって電子が出てくると言いましたが、電子(レプトン)は物質中で光を出す等、痕跡を残すので捕まえることができる。このようにレプトンを捕まえることでニュートリノが原子核にぶつかったということがわかる。

OPERA 実験—タウ型ニュートリノを捕まえた！

私たちは OPERA 実験でタウ型ニュートリノが原子核にぶつかった時に放出するレプトンであるタウ粒子を検出することに挑みました。

これが最初に見つかったタウ型ニュートリノの事象です。この黄色いところが、実際に顕微鏡の上で写真映像から測定された座標になります。

縦の線が一枚に映った座標になります。次の縦の線が2枚目。それをコンピューター上で並べてやると、飛跡が再構成できました。



そしてニュートリノの反応が見つかって、この場合には、特に横に伸びている緑の線を探してるのですが、赤から緑の線に変わるこのへ字になった曲がった飛跡、これがタウの振動なのですが、タウ粒子をつかまえたという最初の事象になります。この絵でも赤い線で示してある部分がタウ粒子の飛跡になります。

1 ミリぐらい飛んでミュー粒子を放出して崩壊しています。タウ粒子の手前に何も映ってないのでニュートリノがぶつかったということが分かります。

このタウ粒子と思われるものが放出されていることでぶつかったのはタウ型のニュートリノだと判断されたということです。この場合には生まれてきたタウ粒子は1ミリ飛んだということです。

こう見ると簡単に出てきそうな話なんですけども、実際には OPERA 実験では毎日だいたい10個から20個のニュートリノ反応が起こります。

そうすると、シンチレーション検出器によって、ニュートリノがぶつかった ECC の場所が分かったとロボットがそれを取り出してくれます。

取り出してきた ECC を解体してそれぞれの ECC から 57 枚の原子核乾板が出てくるので、全てを顕微鏡ステージに乗付けて現像した後に全自動の顕微鏡で飛跡の検出を行います。

飛跡のデータをコンピューター上で ECC の元の形に並べ直してニュートリノ反応を探すということになります。

これを繰り返す。1 日に 10 個から 20 個出てきたものをばらして現像して顕微鏡ステージにかけてコンピューター上で解析する、ということを繰り返します。

実はニュートリノが原子核にぶつかったことを捕らえた画像が示しているのは 99% がミュー型のニュートリノの反応なんです。

1 年間同じ作業を繰り返した後にはやっと見つかったのが今お見せしたタウ型のニュートリノになります。

OPERA で見つかったタウ型のニュートリノの数がスーパーカミオカンデの大気ニュートリノの観測で予測されたニュートリノ振動で期待される数と一致しました。これによりスーパーカミオカンデの大気ニュートリノの欠損はミュー型ニュートリノがタウ型ニュートリノに変身したことによるということが確定したことになります。これが OPERA 実験の成果です。5 年間で 15 個まで増えましたが、そういう気が遠くなるほどの根気によって所期の目標に達した実験でした。

