

ニュートリノはマヨラナ性をもっているか

Revealing the Majorana Nature of Neutrinos

量子科学技術研究開発機構(QST) 小原脩平

「ニュートリノ振動発見によるノーベル物理学賞受賞」があったのは2015年の秋だった。ニュートリノとは、この世界のものをどんどん小さく分割していったときの一番小さな構成要素—素粒子—の1種であり、その性質はいくつか謎に包まれたままである。上述のノーベル賞受賞理由は、このうちニュートリノが質量を持つことを明らかにしたものだ。ただし、質量自体は測ることは未だできておらず、他の素粒子に比べてものすごく軽いことしかわかっていない。なぜここまで軽いのかも謎である。さらに言えば、素粒子は電荷がプラスマイナス逆の“反粒子”が必ずあるが(例えば電子 e^- の反対は陽電子 e^+)、ニュートリノの場合は自分自身と等しく見分けがつかないかもしれない(マヨラナ性)。

さてこのマヨラナ性を解明し、質量が軽い理由を説明し、さらに質量の範囲を絞ることができる実験が、「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索」である。特殊な原子核(今回はキセノン-136)を用意してじっと待つと2個の電子と2個のニュートリノが放出される。このときにニュートリノが出てこずに“2個の電子のみ”が出てくることが予想されており、これを観測できるとニュートリノのマヨラナ性の直接証明になる。さらに質量の範囲も絞っていくことができる。東北大学率いる「KamLAND-Zen 実験」がこの探索において世界をリードしており、まだ発見には至っていないが、最も高感度で探索を続けている。

岐阜県神岡鉱山地下 1000 m にある球形上の KamLAND 検出器では、「液体シンチレータ」という放射線や素粒子に対して光る“油”を用いて観測を続けている。本当にごくまれにしかおきかないようなニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊を探索するために、物質中に自然に含まれている放射性元素(ウラン、トリウム、カリウムなど)が信号探索の上で邪魔になる。液体シンチレータ自身は蒸留作業を繰り返すことできれいにできるが、これを入れる容器自体は液体ではないのでそこまできれいにできない。本研究では、この容器自身も放射線に対して光るようにすることで、容器自身に含まれる放射線があった場合は自己申告してくれるようにする(発光性バルーン)。

まず KamLAND 検出器の形状から、傘のように折りたたみが可能でかつ薄いフィルム形状の容器(バルーン)であることが求められる。内部で起きた発光を見るために透明性が重要で、強度も十分でなければならない。さらに KamLAND の液体シンチレータは腐食性が強いために、通常の固体プラスチックシンチレータなどをフィルム加工しただけでは全て溶けてなくなってしまふ。今回目をつけたのは「ポリエチレンナフタレート」で、これを用いて液体シンチレータ用の極低背景事象容器を作ることを目的とした。さらにこの容器の発光と液体シンチレータの発光を区別するための方法についても検討し、発光波形の違いを利用できることを示した。

【参考文献】

- ・丸藤祐仁、井上邦雄 「KamLAND-Zen 実験」 高エネルギーニュース 2011 年 10 月 (<http://www.jahep.org/hepnews/2011/11CKamLAND-Zen-04final.pdf>)
- ・QST プレスリリース「産学官連携により、革新的な放射線蛍光プラスチック(商標名『シンチレックス』申請中)の開発に成功」2018 年 12 月 (<https://www.qst.go.jp/site/qms/1711.html>)