

2.2 粒子検出器

素粒子の崩壊・生成反応過程の再構築のためには、その過程における粒子の種類、エネルギー、運動量、生成・崩壊点、時間などの情報が必要である。

初期の観測機器

・霧箱

水蒸気が過飽和状態になった空気中を荷電粒子が通過すると水滴の飛跡を残す。

・泡箱

水の代わりに液体水素を使う。

・原子核乾板

厚い写真乾板。荷電粒子の飛跡の銀粒子が感光して黒くなる。

これらは荷電粒子の検出に使われた。磁場中に検出器を置き、軌跡の螺旋軌道の曲率から運動量が、軌跡の銀粒子や水滴の密度から質量が分かる(質量が大きいほど落とすエネルギーが大きい)。

2.2.1 光による検出機器

A. シンチレータ

荷電粒子が原子中の電子を励起、基底状態に戻る際に光を放出する。励起に必要なエネルギーと放出されるエネルギーの差により(励起に必要なエネルギーの方が大きい)放出される光に関して透明である。

・プラスチックシンチレータ

プラスチックに蛍光物質を混ぜたもの。プラスチックが光を吸収し、そのエネルギーを蛍光物質に受け渡し、発光する。時間分解能が良いが、エネルギー分解能が劣る。

・無機結晶シンチレータ

結晶のエネルギー準位間の遷移による。比重が大きく、エネルギー分解能が良い。

・液体シンチレータ

有機シンチレータの一種。大容量の検出器を作る際に扱いやすい。

B. Cherenkov カウンター

荷電粒子が媒質中の光速を超えると Cherenkov 放射が起こる。粒子の速度は質量に依存するので、Cherenkov 光が観測されたかどうかで粒子識別が可能(閾値型の検出器)。検出したい粒子によって適切な屈折率を持った媒質を選ぶ。

Cherenkov 角を測定し、粒子識別を行うタイプもある。

C. 光検出器

主に光電子増倍管が挙げられる。入射光が光電効果により生成した光電子を、電圧をかけたダイノードにより増幅する。光が入射する光電面には、光電効果の効率を上げるためアルカリ金属が用いられる。増幅率は 10^6 程度。

磁場中では電子が曲げられてうまく増幅できないので、電子が直線に進み、増幅されるタイプのもも存在する。

フォトダイオードと呼ばれる検出器は、ダイオード内に入射した光によって生じた光電子

を、電流として観測するものである。小型で安価、量子効率も良いが、大型化が難しい。高い電圧を掛けることによってダイオード内で電子増幅を行うタイプも存在する。

2.2.2 電離相互作用による検出

A. ガス検出器

電場を掛けたガス中に荷電粒子が入射すると、粒子が加速されることによりガスを電離し二次電子が発生する。これを繰り返して起こることで（電子なだれ）電子を増幅し、電流として読み出す。

・スパークチェンバー

2枚の電極板の間をガスで満たす。粒子が入射した直後に強い電場を掛け、増幅した電流を読み取る。粒子が通過した近傍でのみ電子増幅が起こるため、粒子の位置が分かる。複数枚重ねることで飛跡を見ることができる。

・比例係数モードによる多線チェンバー

ガス中にワイヤーを張り、電圧をかけると電場の強さが r^{-1} に比例する。よって、ワイヤーが十分細ければ、ワイヤー付近で電場が急激に強くなり電子なだれが起きる。電圧を調整して、入射荷電粒子のエネルギー損失と電気信号の大きさが比例するような領域を取る。このワイヤーを並べることで粒子の飛跡が観測できる。

・ドリフトチェンバー

ワイヤー間の幅を広くすると、荷電粒子の移動速度が観測できる。

ガス検出器には主にアルゴンが使われる。希ガスを使うのは、生じた光電子を吸収しないようにするためである。また、入射荷電粒子が電離でなく原子の励起を起こした場合に、基底状態に遷移する際に放出される光子がガス分子の電子を電離させる可能性がある。これを防ぐため、少量のメタンや二酸化炭素を混合して使用する。

B. 半導体検出器

ダイオードに逆バイアスの電圧をかけ、荷電粒子が空乏層を通ると電子・正孔ができる。これを電気信号として観測するものである。エネルギー分解能に優れる。

・シリコンストリップ

電極を幅の小さいストリップにして、各ストリップから電気信号を読む。その重心を取ることで粒子の位置が分かる。

C. 液体電離検出器

希ガスの液体を用いてガス検出器と同様に検出を行う。液体では比重が大きいため、電離効率が良くなる。ただし、希ガスを液体にするには極低温が必要。