

論文審査の結果の要旨

氏名 上島 考太

この論文は、神岡鉱山地下実験室に設置された液体キセノン1トンを使用する暗黒物質探索装置 XMASS のための信号のパルス波形識別および低バックグラウンド技術に関する研究の結果をまとめたものである。

論文は全7章からなり、第1章では、導入として暗黒物質について概説している。第2章では、暗黒物質の有力候補である WIMPs の探索実験の方法とこれまでの経緯について記している。第3章では、暗黒物質検出の観点による液体キセノンの性質と有用性、特にシンチレーション光に関する性質について述べられている。第4章で、XMASS 検出器について詳述した後に、新たに工夫した低バックグラウンド技術の開発の結果が記されている。また、第5章ではもうひとつの重要なバックグラウンド排除の技法である、パルス波形識別の研究についての結果が述べられており、第6章でこのパルス波形識別の XMASS 実験への適用について議論を行なっている。最後の第7章で結論を導いている。

様々な宇宙観測および宇宙論によると、宇宙における大量の暗黒物質の存在はもはや確定的であると考えられているが、その有力候補である WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) を直接的に観測しようという実験が世界各地で行われている。

暗黒物質の直接探索で高感度を得るには、検出器質量の大型化が必須であるがそれとともにバックグラウンドの低減化を行わなくてはならない。暗黒物質事象が検出器に記録すると予想される信号は数 keV 程度と低エネルギーであることと、エネルギースペクトルが指数関数的な単調減少関数であることなどからバックグラウンド事象との区別が困難である。そこで、バックグラウンドを排除することや、何らかの方法で暗黒物質信号との違いを識別することが必要となる。

XMASS は日本における最大規模の暗黒物質の直接探索実験装置である。XMASS は、液体キセノン自身による外部放射線の自己遮蔽機能により高いバックグラウンド耐性を持つとされているが、それだけでは暗黒物質発見には不十分であるので、さらに残留バックグラウンドを排除するためのさまざまな研究の成果をまとめているのが本論文である。

論文提出者がまずやったことは、主たるバックグラウンド源である光電子増倍管の低バックグラウンド化である。光電子増倍管の製造に使われるすべての材料を高感度ゲルマニウムガンマ線検出器で選別し、世界で一番放射線バックグラウンドの少ない光電子増倍管を作った。

つぎに、検出器本体を構成するキセノン中に含まれる放射性同位元素クリプトン-85を取り除くための分溜装置を開発、残留クリプトンの量を激減させることに成功した。

暗黒物質検出時の原子核反跳による液体キセノンのシンチレーション光と、ガンマ線起源のバックグラウンドによるシンチレーション光とでは、そのパルス波形に違いがある。論文提出者は、さらに残るガンマ線起源のバックグラウンドを識別して排除するために、このパルス波形識別法に関して初めて系統的に研究した。

論文提出者は、以上の様々なバックグラウンド対策を行うことにより、XMASS 実験によりこれまでのどの探索実験よりも高感度の暗黒物質探索ができることを数値的に示した。

以上に述べたように、この論文において論文提出者は XMASS 検出器が世界最高の感度を持つために必須であるバックグラウンド排除の方法を確立した。これにより、来春より本格稼働する XMASS 暗黒物質探索実験に大きく貢献した。

この論文は、学問的に大変有用なものであり、また論文提出者の独創性も十分であると認められる。また、この論文は XMASS 実験グループの他の共同研究者との共同研究に基づくものであるので、論文提出者がどのような主導的な寄与があったのか審査委員会において念入りに審査した。その結果、この研究は、論文提出者が中心となり行なったものであることが明らかであることから論文提出者の主導性が十分であると判断した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。