

機関番号：12601
 研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20840009
 研究課題名（和文）暗黒物質探索実験における液体キセノンの散乱長、吸収長のモニタシステムの開発
 研究課題名（英文）Development of scattering and absorption length monitor system in liquid xenon in dark matter experiment
 研究代表者
 小林 兼好（KOBAYASHI KAZUYOSHI）
 東京大学・宇宙線研究所・特任助教
 研究者番号：80466861

研究成果の概要（和文）：近年の暗黒物質探索実験において液体キセノンが用いられている。暗黒物質探索実験で液体キセノン中での真空紫外シンチレーション光を用いるため、液体キセノン中でのその光特性が重要になる。本研究では液体キセノン中での散乱長、吸収長をモニタするシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In recent dark matter search experiments, liquid Xenon is being used. Because scintillation vacuum ultra violet light is used in the dark matter experiments, property of the light in the liquid xenon is getting important. In this research, monitoring system of scattering and absorption length in liquid xenon was developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,320,000	396,000	1,716,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度			
年度			
年度			
総計	2,520,000	756,000	3,276,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

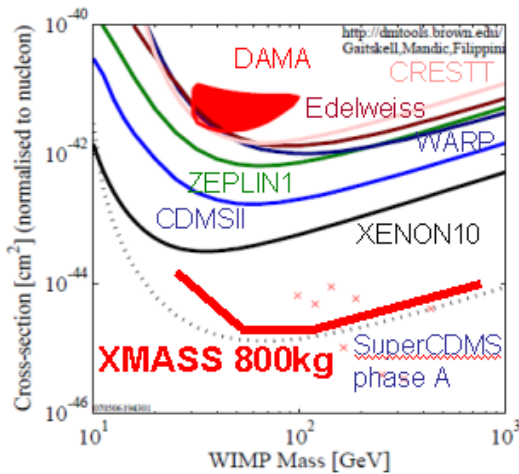
キーワード：暗黒物質、キセノン

1. 研究開始当初の背景

宇宙の構成要素の90%以上は未だ解明されていない。未解明部分の約4分の1を占めるのが暗黒物質だと考えられており、その存在は近年の宇宙観測によって非常に明白となっている。この暗黒物質は質量があることはわかっているものの、その構成物、組成については長年の謎である。構成物として挙げられている候補のうち有力視されているのが

最も軽い超対称性粒子であるニュートラリーノである。これまでもXENON10実験、CDMS実験やDAMA実験など多くの暗黒物質ニュートラリーノ探索実験が行われてきたが、発見に至っていなかった。東京大学宇宙線研究所の神岡地下施設で準備が進めていたXMASS実験では当時の世界最高感度からさらに2桁感度が高い領域をカバーし、理論的に予測される領域を広く探索する。下図は横軸が暗黒

物質の質量、縦軸が暗黒物質と核子の断面積を示すが、XMASS 実験がカバーする領域には赤の点で示された理論から予想される典型

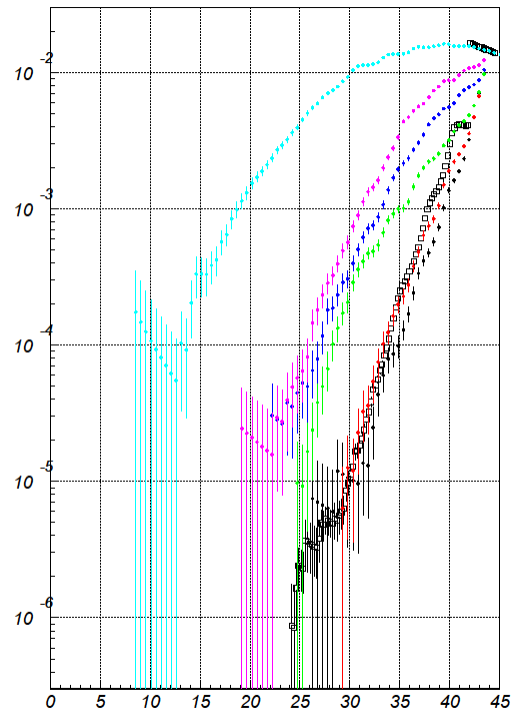


的なニュートラリーノの質量と核子の断面積が多く含まれる。ニュートラリーノの発見は、暗黒物質問題を説明することにより宇宙物理学に貢献し、かつ素粒子の標準模型を超えた粒子の発見という形で素粒子物理学にも大きな発展をもたらすため、おおいに期待される。

XMASS 実験の最大の特徴は、ターゲットとして液体キセノンを用いることである。液体キセノンを使用する理由として、1) キセノンの質量数が多いことから自己遮蔽効果があり、外部から入ってくるガンマ線をターゲット自身で遮蔽できること、2) シンチレーション光の発光量が大きく、ニュートラリーノ事象検出に重要なエネルギー閾値を低くすることができること、3) 密度が大きいため検出器をコンパクトにできることなどが挙げられる。XMASS 実験において最重要課題はバックグラウンドの除去である。バックグラウンドには、光センサである光電子増倍管などの液体キセノンの外部から飛来するものと液体キセノン内部から発生するものがある。外部からのバックグラウンドは液体キセノンの自己遮蔽により減らすことができる。これは特性の3番目にあげた密度が大きいに由来する。この自己遮蔽をさせるにはバックグラウンド事象がおきたときに事象の再構成を行い反応点が壁側にある事象を除くことを行う。事象の再構成には液体キセノン中でのシンチレーション光の伝播を理解しないとうまくいかない。重要なのは、液体キセノンのシンチレーション光のエネルギー領域である真空紫外光での吸収長、散乱長である。

2. 研究の目的

液体キセノンの光学的特性は液体キセノン中に微量に溶けた物質によることが分かっている。特に水の含有量は大きく影響する。そのため XMASS 検出器では、液体キセノンを検出器に入れる前にベイキングを行い、検出器表面に付着した水分子を除去した後で、液体キセノンの導入を行う。また液体キセノンは導入前にゲッターを通し、液体キセノン中に含有している水も除去する。本研究では残存する水などの不純物含有量により変化する液体キセノン中の光学パラメータ、吸収長、散乱長をモニタする装置を開発することを目的とする。



下図は、モンテカルロシミュレーションによる予測図で、横軸が XMASS 実験での検出器中心からの距離 (cm)、縦軸はバックグラウンドが入ってくる確率を示している。色の違いは散乱長が 30 cm から 500 cm、吸収長が 100 cm から 500 cm に変化した時の差を表すシミュレーションの結果である。この図から吸収長、散乱長の違いを理解しないとバックグラウンドの大きさが異なってしまうことがわかる。これらのパラメータを理解することは検出器の検出効率、バックグラウンド量を見積もる上で非常に重要である。

検出器中にガンマ線源を置き、エネルギーキャリブレーションを行うことにより間接的な測定に散乱長、吸収長を推測することは可能であるが、検出器内のその他のさまざまなパラメータに依存してしまうので、独立のモニタ装置により常時モニタできれば系統誤差を小さくして吸収長、散乱長を決定することができる。また、実験中常時モニタできれば、リアルタイムでその値を事象の再構成に反映させることができることから有用である。

3. 研究の方法

これまでも液体キセノンの吸収長、散乱長を測定する実験は行われてきた[Nucl. Inst. Meth. A326 (1993) 325] [Nucl. Inst. Meth. A384 (1997) 380]。これらの測定では、真空紫外光を発生する光源を用いず、放射線源を使った2次元的な観測だったが、本研究ではエキシマランプを用い直接測定を行う方法を用いる。

液体キセノン容器はマイナス 100 度で液体になるため、約マイナス 100 度に保つ必要がでてくる。容器を真空断熱の2重構造にし、内側の真空容器の中に液体キセノンを入れる。容器には可能な限り小さくしたので、エキシマランプは外側に設置する。真空紫外光はスプリッタにより2つに分けられ、片方は光量を常にモニタし、もう一方が液体キセノンへと入射する。

XMASS 検出器の中の液体キセノンは直径約 80 cm の球体であることから、散乱長、吸収長がこれ以上大きいときには影響が小さくなる。そのため、本検出器の長さは約 1 m のスケールで測定できるように設計した。

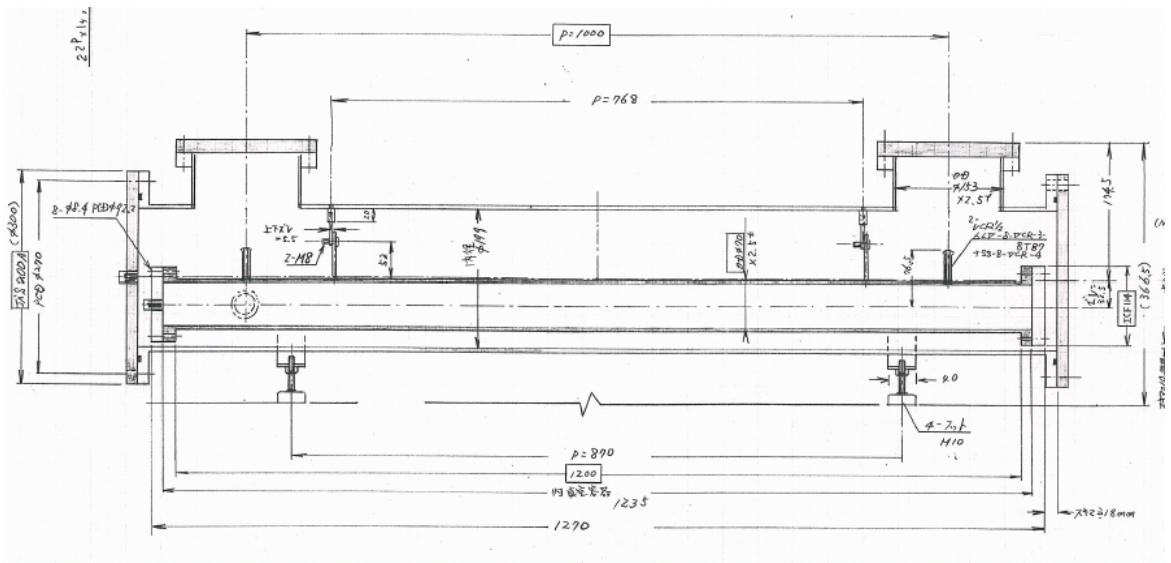
真空紫外光領域では、ステンレスが反射率ほぼ 0% であるためステンレスのフランジを測定容器として用いることで吸収長が測定できる。また壁の内側には取り外し可能なテフロンを装着できるように設計した。テフロンの反射率は 90% と高く、装着時には散乱光と直接光の両方が PMT に入ってくる。テフロン装着時と脱着時（ステンレス壁）の測定と比較することで散乱長の量を見積もることができる。

4. 研究成果

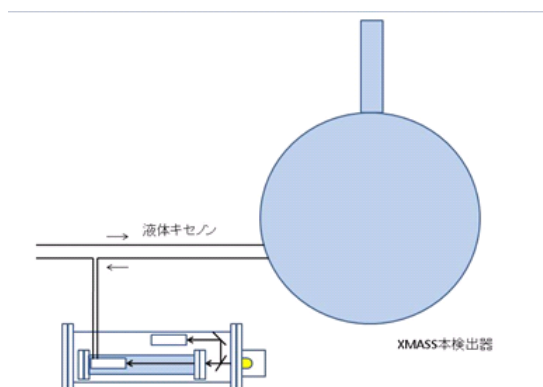
下図に開発した液体キセノン散乱長、吸収長モニタ装置の図面を示した。本装置によりリアルタイムで散乱長、吸収長を測定することが可能となる。また、本装置内の圧力、温度も含めモニタ結果を web 上で見ることができ CGI プログラムを作成し結果を共同研究者が簡単に確認できるシステムを製作した。本システムは XMASS 本実験でも使用されている。

今後は次ページ図のように本装置を XMASS 実験の液体キセノン循環系に取り付け、リアルタイムでの散乱長、吸収長をモニタする予定である。本装置を用い XMASS 本実験での散乱長、吸収長の系統誤差を小さくし、バックグラウンド事象を理解し、除去していきたい。

リアルタイムでのモニタがうまくいけば、さらに検出器の前後に本検出器と同じ構造のものを置き、同時に観測すれば、検出器内部での不純物の増加が液体キセノンの散乱長、吸収長に与える影響をみる測定も可能である。現在では水に関しては露点計を用い、水の含有量をモニタしているが、その他の物質も含めトータルでの散乱長、吸収長への影響



はわかっていない。本装置を新たに1つ製作し、設置すればそのモニタも可能になる。



今後 XMASS 実験も含め液体キセノンを使用したさらに大きな検出器をつかった実験が世界各地で検討されている。今後検出器が大きくなればさらに散乱、吸収の効果はデータを解析する上で重要になり、モニタシステムが必要になる。本装置をもとに発展できることが予想される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 兼好 (KOBAYAH I KAZUYOSHI)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：80466861