

Title	DARK MATTER SEARCH WITH CaF ₂ SCINTILLATOR
Author(s)	裕, 隆太
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3143742
DOI	10.11501/3143742
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	はぎま 裕 りゅう た 隆 太
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 13628 号
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	DARK MATTER SEARCH WITH CaF_2 SCINTILLATOR (CaF_2 シンチレーターによるダークマター探索)
論文審査委員	(主査) 教授 岸本 忠史 (副査) 教授 長島 順清 教授 高杉 英一 助教授 阪口 篤志 教授 南園 忠則

論文内容の要旨

全宇宙質量の大半を占めダークマター(宇宙暗黒物質)の最も有力な候補とされる WIMPs(弱い相互作用をする未知中性重粒子)を探索するために、アクティブ及びパッシブルシールドで囲まれた分割型 CaF_2 検出器システム(ELEGANT VI)を開発した。ダークマターと CaF_2 結晶中の ^{19}F 核との弾性散乱により、F 原子核は反跳を受け、その核反跳の検出を行う。F 核は散乱断面積が大きく、最適な核の1つである。この反跳エネルギーは数10keVの程度であり、更に反応率は1日に数回の量なので、低バックグラウンド、低ノイズの検出器で低エネルギー領域を観測しなければならない。この数10keV領域のバックグラウンド源は数 MeV 領域の二重ベータ崩壊の探索に比べ、まだよく分かっていない。

ELEGANT VIシステムはこの低エネルギー領域でバックグラウンドを減らす3つの大きな特徴を備えている。(1)反同時計測(ベトー)のアクティブシールドを全方向(4π)に施した。ライトガイドにシンチレーター(CaF_2 (pure))を用いることにより左右の波高の違いにより中心の検出器($\text{CaF}_2(\text{Eu})$)からの信号のみを選ぶことが可能となった。光電子増倍管(PMT)からのバックグラウンド除去、特に低エネルギーでほぼ1桁の除去を達成し極めて有効であることが分かった。(2)反跳イベントは局在化したイベントであり、バックグラウンドイベントであるベータ線、ガンマ線によるイベントと空間分布に差があることを利用し、 CaF_2 結晶を45mm立方に分割化した検出器を用いた。(3)結晶間の物質量を限界まで減らし、バックグラウンド源を減少させ、そのベトー効率を低エネルギーまで向上させた。NaIと異なり潮解性のない CaF_2 、CsI結晶はこのためにも重要であった。さらに低エネルギー信号を測定するために1光子信号まで閾値を下げ左右のPMTの同時計測をとり、左右の和で有効閾値を3光子程度に設定することでバックグラウンドを減らしながら閾値を下げることを達成した。

$\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 結晶中でのCa核、F核の反跳エネルギーからシンチレーション光への変換効率を求める測定を反跳エネルギーが各々25-91keV及び53-192keVの領域で行った。その結果、各々に対し、11-20%、9-23%であることが分かった。この測定は各々のシンチレーターに対するダークマターの核反跳スペクトルを評価するためには必須である。

ダークマター探索におけるバックグラウンドの中で中性子によるイベントは除去出来ず、この低エネルギーでの寄与を調べるのが極めて重要である。このため、パッシブシールドに関しても従来の鉛、銅のみでなく、3つの中性子シールド(Cdシート、LiH入りパラフィン、 H_3BO_3 入り水タンク)が装備された。この中性子シールド及び宇宙線のバックグラウンド源のある地上で測定を行うことにより、この評価が可能となった。結果、鉛、銅での宇宙起

因のバックグラウンドの寄与が大きいことが分かった。上記の結果を踏まえ、シールドを増強した ELEGANT VI フルシステムの探索実験が地上で行われ、グランサッソ地下での DAMA(BPRS) 国際共同実験による結果と遜色ない結果を得た。

論文審査の結果の要旨

CaF₂ 結晶を用いた検出器を開発し、宇宙のダークマターの探索を行った。宇宙には未知素粒子からなるダークマターで満たされている可能性が高い。その中でも素粒子論が予言する超対称性対粒子は宇宙論だけでなく原子核論とも矛盾しない最も有力な候補者である。この粒子は非常に稀に通常の物質と散乱をおこし、低エネルギーの反跳を与える。

こういった信号を検出するために CaF₂ 結晶を超低バックグラウンド環境においた検出器システム(ELEGANT VI)を開発した。CaF₂ 結晶は鉛や銅といった遮蔽(Passive Shield)の他に、 γ 線検出器を回りにおき、外からのバックグラウンドを検出器で捕まえ反動時計数することで排除する Active Shield を有している。この Active Shield が全方向に出来るよう設計されており、現在の世界の水準を一桁近く上回るバックグラウンドの排除を達成できた。

この検出器を用いて豊中地区の理学研究科の実験室で測定を行った。海外で行われてきた探索は宇宙線等の自然環境バックグラウンドの少ない地下実験室を利用してきたが、地上で行った実験で世界の地下実験と並ぶ所まで到達した点は特筆できる。今後の地下に置ける実験を大いに期待させるものである。この論文は理学博士論文として十分価値あるものと認める。