

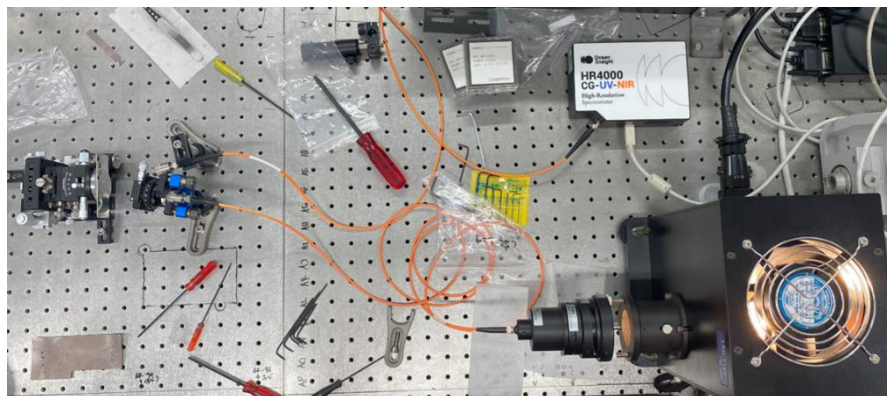
動的カシミール効果の実証実験に向けた定常波表面プラズモンポラリトン励起実験

氏名:田中 希宙 (素粒子物理学教室)

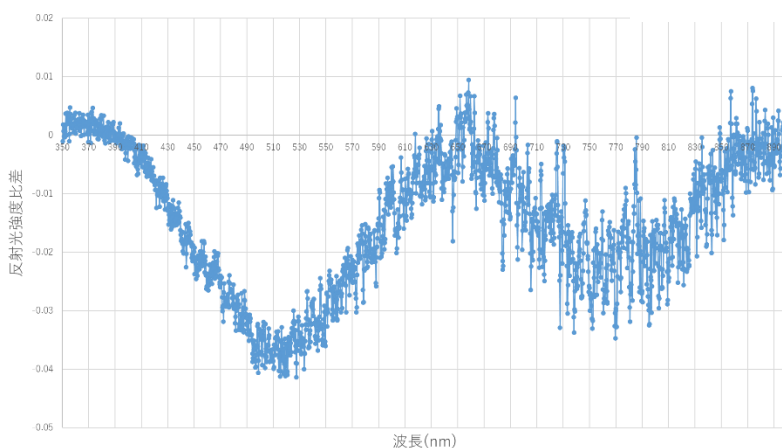
要旨

この世界は粒子の形として存在することのできないエネルギーに満ちているとされ、このエネルギーは、零点エネルギー(量子ゆらぎ)と呼ばれている。この零点エネルギーは式で表すと $\frac{1}{2}\hbar\omega$ と書き表され、各振動に対応した零点エネルギーが存在している。通常、量子ゆらぎは直接観測することのできない定常波だが、この量子ゆらぎによって二枚の金属板の間に引力が発生する静的カシミール効果はすでに何度か実証されており、工業応用の段階に進んでいる。しかし仮想的に二枚の金属板を光速に近い速度で振動させることにより粒子が発生する動的カシミール効果の実証例は一例しかなく、実証時エネルギースケールも限定的であるため、異なる実験系での実証例が求められている。本研究の最終目的はこの動的カシミール効果を先行研究とは違う系を用いて実証することである。

実証実験の際は、表面プラズモンポラリトンと呼ばれる金属電子の振動を利用することで、動的カシミール効果によって生成される光子を増強し、その光子を観測することで動的カシミール効果を実証しようと計画している。本論文ではまず表面プラズモンポラリトンを発生させることのできるクレッチマン配置を作成し、実際に表面プラズモンポラリトンが発生できているかの確認実験を、反射光強度の減少を観測する ATR 法を用いて行った。その後、実質的に金属板に挟まれた系として、凹部の長さが 1 μm の金属グレーティングを作成し、凹部に定常波が発生されたかを判断する基準として、p、s 偏光それぞれの場合で、白色光を金属グレーティングに照射した時の反射光と、銀薄膜を成膜したサンプルの反射光の強度比を見ることで実験的に検証を行った。



反射白色光強度測定時の実験の様子



実験の結果、金属グレーティング試料に p 偏光状態で白色光を照射したときの白色光強度比の方が、s 偏光の状態でも、波長 510nm 帯と波長 770nm 帯において顕著に弱くなっていることが確認できた。

金属グレーティング試料に、p 偏光、s 偏光状態で白色光照射時の反射白色光強度比差

A Study of Tracking Low Energy Protons using the Super Fine-Grained Nuclear Emulsion for searching MeV Scale Dark Matter

ダウディ 由莉香 (素粒子物理学教室)

The existence of a mysterious substance in the universe, the so-called Dark Matter is suggested by many astrophysical observations. Detecting Dark Matter (DM) is one of the most challenging problems in natural science and modern physics, and many experimental groups are trying different approaches to discover this unknown gravitational source.

These conventional DM searches aim to discover WIMPs, the Weakly Interacting Massive Particles, whose mass is usually considered in the $\text{GeV}/c^2 - \text{TeV}/c^2$ region. However, WIMPs with a lighter mass in the MeV/c^2 region are not excluded in pre-existing DM models. The search for these lighter DMs is only done through electron interactions since the velocity of DM is slow, and searching for it with baryons would be very difficult.

This study focused on the MeV/c^2 scale DM model and how it would be possible to detect it with baryon interactions. Although most pre-existing experiments assume only one kind of DM, there are no astrophysical constraints in the possibility of DM existing in more varieties. As the Standard Model has several particles, it is easy to imagine that multiple particles are hidden in the dark sector.

This study considers a scenario in which two (or more) DMs annihilate to a secondary DM in the galactic center. The secondary DM will receive kinetic energy from the mass difference, reaching the Earth. If this process happened in the GeV/c^2 scale, it would be possible to detect it with pre-existing apparatuses such as neutrino detectors. But, if this happens in the MeV/c^2 scale, heavy targets such as Xe, Ge, and Na commonly used in DM searches will have minimal recoil energy below their detection thresholds.

This is where the fine-grained nuclear emulsion (NIT) used in the NEWSdm experiment can be useful, as 42.8% of NIT's atomic fraction is hydrogen (protons). Since protons are lighter in mass, the recoil energy from MeV/c^2 scale DMs will be in the tens of keV. Such protons can be detected with the NIT, and it is the only detector with directional sensitivity capable of detecting these low-energy protons.

The NIT's ability to detect low-energy protons was assessed by directly exposing it to protons using an ion implanter. The results revealed that the NIT can detect protons as low as 10 keV and determine their direction with a resolution of 10-20 degrees. The detection capability in a low-temperature environment used for physical search was also confirmed down to 50 keV with the detection efficiency being 0.13% for 50 keV protons. The background contamination rate was also assessed, which shows a high electron background rejection power.

In conclusion, a physical search utilizing an equatorial telescope and applying these DM search methods was done on a small scale, with a limit put to the DM-Nucleon cross-section of 10^{-26} cm^2 .

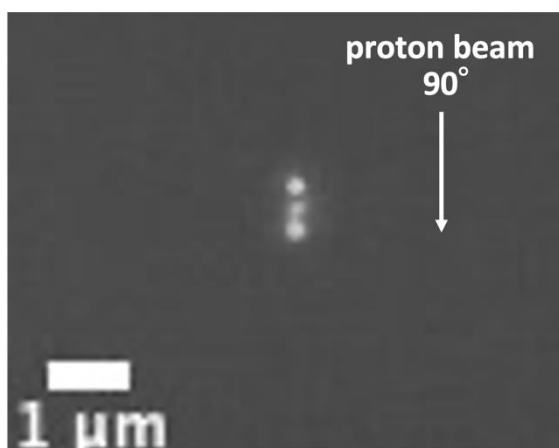


Figure 1: Proton track from 70 keV proton beam.

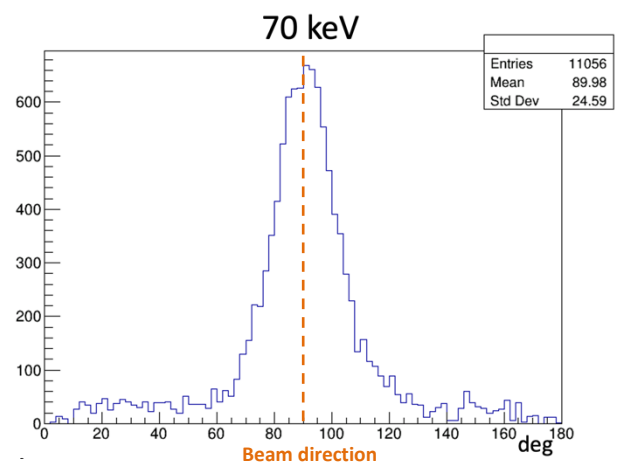
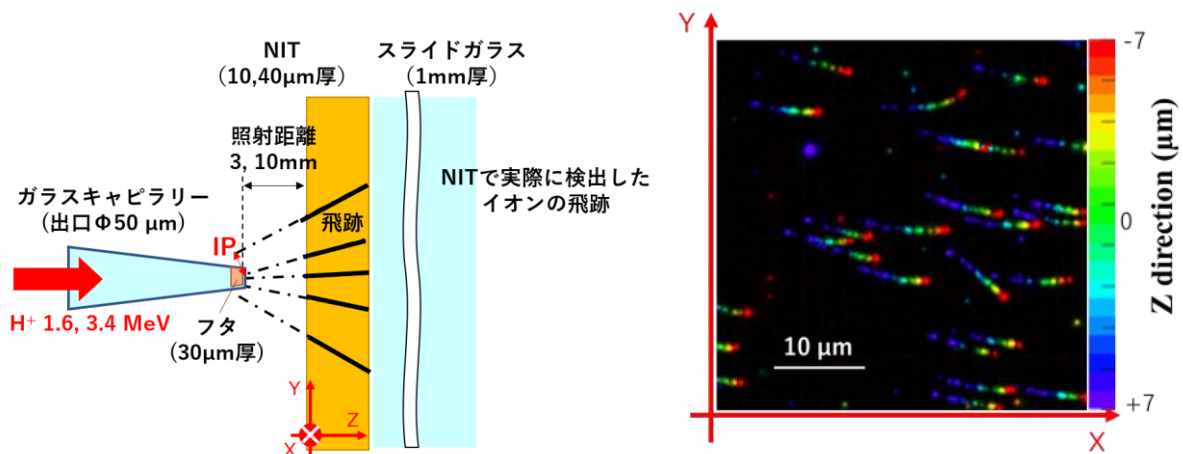


Figure 2: Angular distribution from 70 keV protons shows a peak at the incident angle, 90 degrees.

ガラスキャピラリー由来のイオンマイクロビームの超微粒子原子核乾板によるビームプロファイルの測定手法開発

氏名 宮崎晴吉 (素粒子物理学教室)

マイクロビームとは光子や電子、イオンなどのビームをアパーチャーで細くすることや、集束素子で密度が上がるように絞ることで、ビーム径をマイクロメートルオーダーにしたビームを指す。現在、多くの研究機関でイオンマイクロビームやX線マイクロビームを哺乳類細胞などの核だけに集中的に照射して、放射線効果を調べる研究が進められている。これらの研究により、低線量放射線被ばくの影響を実験室で観察できるようになってきた。イオンマイクロビームを生成する方法として比較的新しいビーム光学素子としてテーパ型ガラスキャピラリー光学系がある。基本的な構造は注射針と同様に中空ということであるが、先端に近づくにつれて内径・外径とも小さくなっていく、つまり、テーパ角を持っている。イオンマイクロビームは従来のイオンビームと比べてミクロンオーダーの領域に対する選択的照射に優れていて、ガラスキャピラリー先端のプラスチック製のフタにより、大気、液体中へのビームの取り出しが可能になっており、医療、工学分野への応用が期待されている。用途に応じて、ビームの拡がりやエネルギー損失を事前に評価する必要があるが、それらは、キャピラリーの出口径の大きさ、照射距離に依存する上に、キャピラリー内壁表面での小角散乱(ラザフォード散乱)によるビーム拡散の悪化、出口付近のガラス壁を貫通することによるエネルギー損失の多いイオンの存在によって正確なビームプロファイルの実測は難しくなっている。イオンマイクロビームの構造として、内壁表面で散乱する成分、出口付近の内壁を貫通する成分で構成される Halo 成分、内壁に触れなかった成分を Core 成分が知られており CR-39 固体飛跡検出器を用いた実測によるビームプロファイルの取得に成功している。しかし、より正確なビームプロファイル取得のために、より高密度照射に優れ、三次元のイオン情報の取得が可能な超微粒子原子核乾板(NIT)を用いたビームプロファイルの実測実験を行い、ビームプロファイルに加えイオン一つ一つの角度情報を取得し、その情報をもとに NIT 表面からキャピラリー出射口までの飛跡の back trace を行い、NIT 表面の distortion 補正に課題はあるが、ガラスキャピラリーによるマイクロイオンビームの精密なプロファイル測定、三次元のイオン情報の取得手法を確立した。



実際のセットアップの模式図(左)と実際に得られる飛跡画像(右)