

研究領域名	原子が切り拓く極限量子の世界 - 素粒子的宇宙像の確立を目指して -
領域代表者名	笹尾 登 (岡山大学・極限量子研究コア・教授)
研究期間	平成21年度～25年度

原子で宇宙の謎を解く

1. 本領域の目的

「宇宙からは反物質が消滅したが、その機構は如何なるものか？最新の観測で明らかになった暗黒エネルギーや暗黒物質の正体は何か？」など宇宙には未だ残された謎がある。原子物理学や量子光学の手法を宇宙・素粒子物理学に融合させ、これらの謎に対する解決の糸口を得ることが本領域の目的である。また、標準模型を越える素粒子理論を探り、新たな素粒子的宇宙像を明らかにする。

2. 本領域の内容

本領域は、3つの計画研究から成り立っている。まず、計画研究[A]では、日本発の新しいアイデア「マクロコヒーランス増幅機構」と原子のナノ空間貯蔵技術を組み合わせ、世界で初めて原子からのニュートリノ対生成を検出する。これより「原子を使ったニュートリノ質量分光学」を新たに切り拓く。次に計画研究[B]では、日本発の革新的技法を駆使し、電子やクォークの永久電気双極子能率を測定する(Xe及びFr)。永久電気双極子能率の存在は、直ちにCP対称性の破れを意味する。これより超対称性理論などの標準模型を越える理論の真相を探る。更に計画研究[C]では、単一イオン光時計を用いて、基礎物理定数の時間変化を探索する。物理定数は元来永久不変なものと考えられてきたが、暗黒エネルギーとの関係で、新しい理論や考え方も生まれつつある。「時」を刻む新たな技術革新を生み出すと共に、これらの理論に関わるヒントを提供する。これらの課題は物理学の分野で大きなインパクトを持つ。

3. 期待される成果

- (i) 「マクロコヒーランス増幅機構」の実験的確立及び解明。原子ニュートリノ観測。
- (ii) 世界最高感度で永久電気双極子を測定。
- (iii) 世界最高感度で微細構造定数時間変化を測定。
- (iv) 量子干渉性に優れたナノ空間貯蔵原子(分子)の実現。

〔キーワード〕

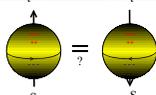
マクロコヒーランス増幅機構：量子干渉性の高い励起原子や分子が脱励起するとき、ある一定の運動量配位で共同現象が起こり、脱励起過程が増幅される現象。超放射現象を拡張する新たな理論。

【科学研究費補助金審査部会における所見】

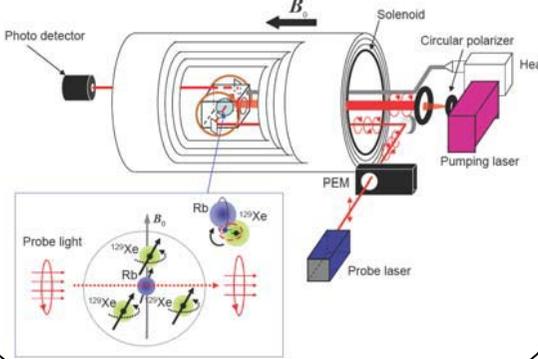
本研究領域は、原子物理や量子光学の発展を、宇宙・素粒子物理学に融合させることにより、宇宙についての残された謎に解明の糸口を与え、素粒子的宇宙像の確立を図ることを目的としている。3つの研究項目では、それぞれ、日本発の新しいアイデアである「マクロコヒーラント増幅機構」を実証し、原子ニュートリノ対検出を実現すること、世界最高感度の永久電気双極子能率の測定を実現すること、3種類の単一イオン光時計を構築し、微細構造定数の時間変化を測定することなどを具体的な目標としており、いずれも極めて学術的な意義の高い重要な研究であると認められる。大変挑戦的な課題であるが、画期的な成果が得られる可能性があり、新学術領域研究の研究領域提案型の趣旨に合致するといえる。

原子が切り拓く極限量子の世界—素粒子的宇宙像の確立を目指して—

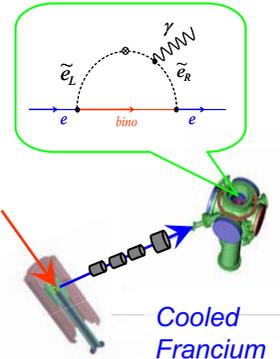
永久電気双極子能率の存在は CP 及び時間反転対称性を破る



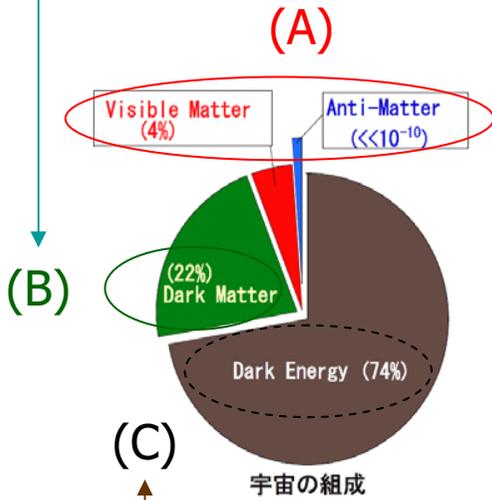
計画研究B01: スピンメーザー法による原子EDMの超高精度測定



計画研究B02: 冷却不安定原子を用いた電子の電気双極子能率探索

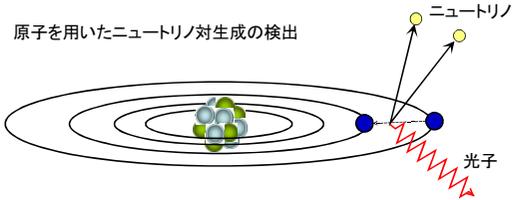


Cooled Francium



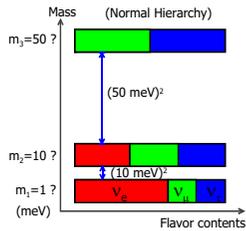
計画研究A01: マクロコヒーラント増幅機構を用いたニュートリノ対生成の検出

原子を用いたニュートリノ対生成の検出



ニュートリノ

光子



Mass (Normal Hierarchy)

$m_3=50?$

$(50 \text{ meV})^2$

$m_2=10?$

$(10 \text{ meV})^2$

$m_1=1?$ (meV)

Flavor contents

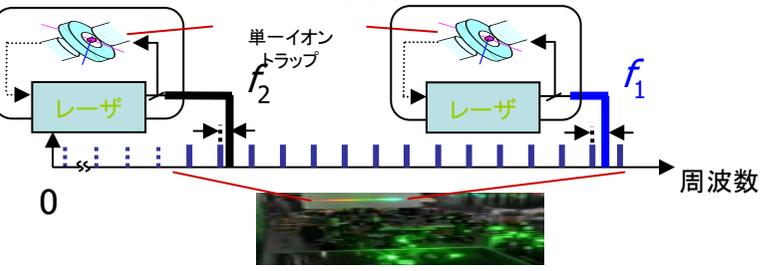
$\nu = \bar{\nu}$ $\nu \neq \bar{\nu}$



ニュートリノの絶対質量は? ニュートリノと反ニュートリノは同じ粒子か?

計画研究C01: 単一イオン光時計による基礎物理定数の時間変化の探索

光周波数比(f_1/f_2)の計測



単一イオントラップ

レーザー

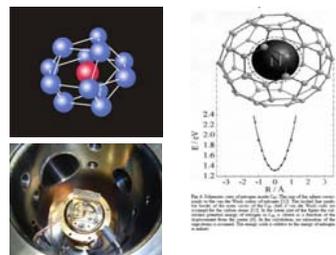
レーザー

周波数

0

光周波数コム (=光周波数の目盛り)

計画研究A02: ナノ空間貯蔵標的の量子干渉性研究



高い量子干渉性を持った標的の開発