

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2013～2015
 課題番号：25400299
 研究課題名(和文)エキゾチック分子イオンの生成による正規ミュオニウム創生の研究

研究課題名(英文) True muonium production by exotic molecular ions

研究代表者

板橋 隆久 (Itahashi, Takahisa)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：20112071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：減速用の極薄炭素膜と加速電場を用いて、正負ミュオンの終端速度への最適化を目標にして、GEANT4によるシミュレーションを行った。減速のエネルギー領域は、荷電粒子のエネルギー損失におけるブラッグピークの低速領域に設定した。(フリクショナル冷却)この条件は機動性を生かしてミュオンビームの代わりに陽子ビームによる35keV-10keVの減速実験を目標とした。ひとつの加速・減速スタックは薄膜(15nm炭素膜)と1cmのギャップの構成からなる。加速電圧により若干のエミッタンスの向上が見られているが、十分とはいえない。従って陽子ビームを用いた亜低速、高輝度ビームの実証実験装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：In order to apply the frictional cooling technique for obtaining slow positive and negative muon beams with an excellent emittance distribution the simulation program GEANT4 is implemented. Simulation geometry consists of 10 thin carbon absorber stacks(moderators) and 1 cm-gaps for electric potential. The results are compared with root-mean square energy width, angular straggling and emittance density. A little better distribution is obtained by applying the electric potential, but it is not sufficient for the final purpose, production of exotic atom, that is, true muonium. In addition, a bright proton accelerator (OCEANII) is constructed for Proof Of Principle experiment. The gas moderator will be developed.

研究分野：素粒子実験

キーワード：正規ミュオニウム フリクショナル冷却 エミッタンス密度 高輝度粒子 水素ガスプラズマ ミュオニウム

1. 研究開始当初の背景

正規ミュオニウム創生の発見はミュオン発見以来、実験的な検証はなされていない。正のミュオンと電子よりなるエキゾチック原子やミュオン原子が生成されて精密分光実験が行われ量子電気力学に貢献している。これらの研究をさらに発展させる有力な方法として正規ミュオニウムの創生が提案された。高エネルギーの粒子衝突実験でもいくつかの提案がなされており、この方面の研究の高まりが強く意識される。

2. 研究の目的

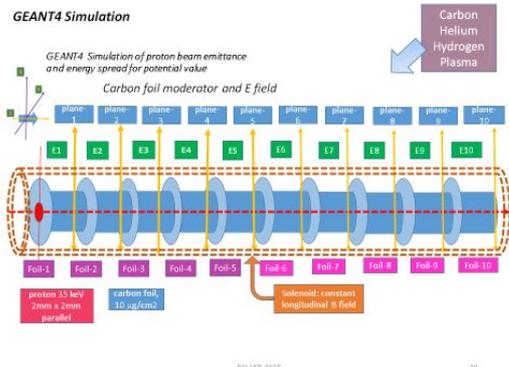
本研究の主な目標は短寿命の正負ミュオンの1 keV以下に低速化することにより正規ミュオニウムを創成する。これまでのミュオニウム、ポジトロニウム、反水素の生成などの先行実験では原子や分子の生成からこれらのエキゾチックイオンの生成への方法が開けている。本研究もそのような方向付けに配慮して低速化技術の開発(原子・分子の生成)を当初の課題とした。

3. 研究の方法

正規ミュオニウムを創成するために低速ミュオンのフリクショナルクーリング法を開発を行う。正負ミュオンを用いる創成実験のための装置開発の一環として、陽子ビームを用いて亜低速、高輝度ビームの生成法を開発する。亜低速ミュオンビームとほぼ等しい速度領域の陽子ビームにより炭素薄膜や水素ガスなどのモデレーターを用いて減速させて、そのエミッタンス密度、分解能などの測定を行い減速量のその幅など最適化を行った。低速化と高輝度ビームの確立のために、陽子ビームによる35 keV->~10 keV減速実験を行う。そのためのシミュレーションをおこなった。特に減速されたエネルギー、その拡がり、粒子ビームのエミッタンス分布の改善状況を調べる。

4. 研究成果

(1) PSI の炭素薄膜 (4.3 μg/cm²) による負ミュオンを500 keVから10 keV領域に減速実験を参考に、位相空間密度を改善する。モデレーターの選択(厚さ、材質)加速電場、スタックの間隔の基本的な量を決定するために GEANT4 を用いたシミュレーションを行った(図1)。



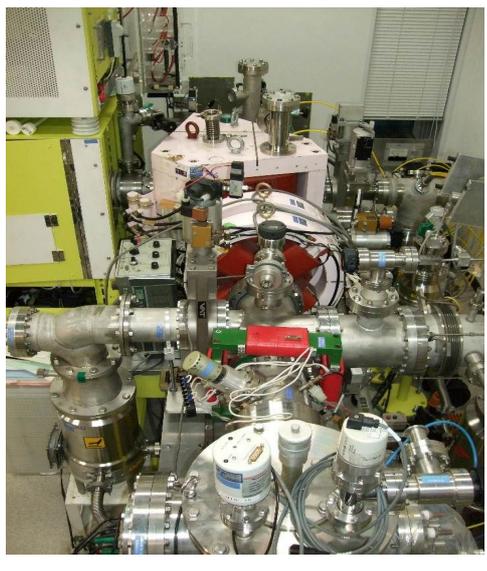
シミュレーションの一例を下表に示した。一つのスタックは薄膜(15nmのカーボン)と1

cmのギャップ、入り口と出口にそれぞれ仮想のplane(No.1-20)の構成からなる。この領域では阻止能(S)は、粒子の運動エネルギー(T)と共に増加するために終端エネルギーへの冷却効果が期待できる。現在薄膜厚の調整、印加電圧の最適化などのモデル計算が行

d = 15 nm, E = 8620 V/m				
plane	energy	sigma E	Number	sig/E
1	35	0.1663	100003	0.004751
2	33.26	0.6282	100005	0.018888
3	33.3	0.6276	100004	0.018847
4	31.61	0.8644	99998	0.027346
5	31.69	0.8454	99991	0.026677
6	30.03	1.025	99984	0.034133
7	30.11	1.018	99976	0.033809
8	28.5	1.158	99960	0.040632
9	28.58	1.151	99949	0.040273
10	27	1.282	99949	0.047481
11	27.08	1.263	99927	0.04664
12	25.54	1.372	99905	0.05372
13	25.62	1.363	99875	0.053201
14	24.11	1.466	99833	0.060805
15	24.2	1.454	99790	0.060083
16	22.71	1.547	99719	0.06812
17	22.8	1.539	99667	0.0675
18	21.34	1.629	99574	0.076336
19	21.43	1.608	99461	0.075035
20	20	1.697	99344	0.08485

われている。(下の表は10枚の炭素薄膜と印加電圧の有・無しの場合のエネルギーとその分散の値を示す)

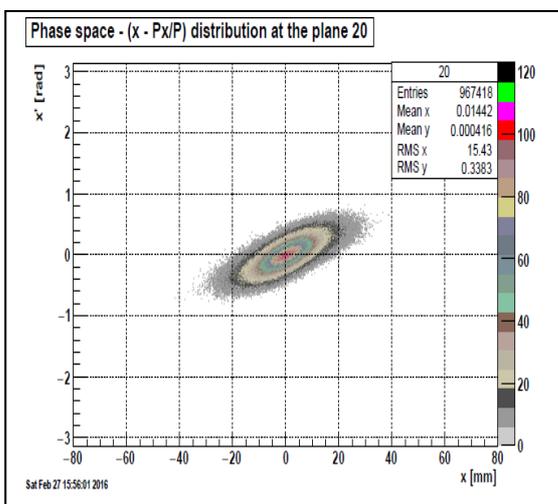
(2) 実証実験のための高輝度陽子ビーム発生装置の実験準備を行い薄膜によるエネルギー減速法の確立を行っている。(写真参照)



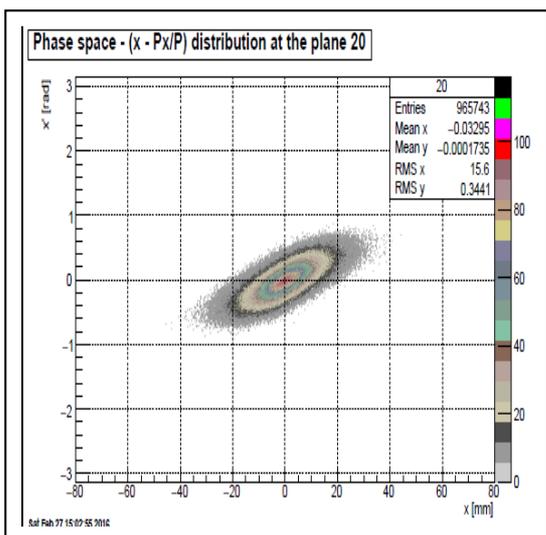
(3)角度ストラグリン(Angular straggling)の効果についてはいまだはっきりしたシミュレーションの結果が出ていない。非常に薄い炭素薄膜によるエミッタンス密度分布の結果では、枚数を増やすことによるシミュレーションの値が枚数の少ない場合に比べてエネルギーの減少量が2倍程度の違いが生じ

ている。これらについてはさらにシミュレーションのプログラムに問題があるのか検討を行って結論を得たい。

(4) 30 keV から 20 keV への減速によるエミッタンス密度分布の計算では若干の改良が伺えるがいまだ満足できる状況にはない。本来角度方向の広がりにはソレノイド磁場の印加によって空間的な広がりを抑えてきたためにその詳細な検討は行われていない。本研究ではその状況を改善する方策を実験的に確立するために、新しいモデレーターの開発を含めて試行している。下の図は最下流での $(x - x')$ のエミッタンス図であり電圧を印加(すなわち加速)した場合と電圧無しの場合を比較したものである。



上図は電圧を印加した場合の最下流でのエミッタンス分布である。下図は電圧を印加しない場合である。



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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

板橋隆久、坂本英之、高久圭二、佐藤朗
日本物理学会国際会議プロシーディング、査読有、JPS Conf. Proc. 8. 025004 (2015)
DOI. 10.7566/JSPSC

〔学会発表〕(計 5 件)

板橋隆久、低速陽子ビームによるフリクショナルクーリング法の開発(2)、日本物理学会、2016年3月20日、東北学院大、仙台、宮城県

板橋隆久、Simulation Study of Frictional Cooling for True Muonium Production, LEAP 2016, 2016年3月8日、金沢、福井県

板橋隆久、Fundamental Physics and True Muonium Production, RIKEN 8th International Workshop on “Fundamental Physics Using Atoms” 2015年11月30日 12月1日 RIKEN 和光市、埼玉県

板橋隆久、Fundamental Physics Research using a Low Energy Muon Beam, 11th NCNST, 2015.8.8~11, Da Nang, VN

板橋隆久、高輝度低速ミュオンビームによる正規ミュオニウム生成(1) 日本物理学会、2014年3月30日、東海大、平塚市、神奈川県

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6 研究組織

(1) 研究代表者

板橋 隆久 (ITAHASHI Takahisa)

大阪大学大学院理学研究科・招へい研究室

研究者番号：20112071

(2)研究分担者

高久 圭二 (TAKAHISA Keiji)

大阪大学核物理研究センター助教

研究者番号：30263338

(2)研究分担者

佐藤 朗 (SATO Akira)

大阪大学理学研究科助教

研究者番号：40362610