



20Ne(γ , n- α) 光分解反応の測定

所属	甲南大学理工学部	ビームライン	BL01
利用者氏名	秋宗 秀俊	利用分野	量子ビーム技術
利用年度	2014年度	活用技術	ガンマ線利用

利用成果の概要

昨年度に引き続き電子エネルギー1.0GeVから1.3GeVに、Ndレーザー(波長1.064 μ m, 0.532 μ m)を入射し、17MeVから60MeVの γ 線を用いて、²⁰Neの光分解計測を行った。また電子等のバックグラウンドを低減するため、真空ダクトをビームラインに設置し効果を検証した。

<利用目的>

陽子数、中性子数が偶数で等しい核、すなわち $Z=N=2n$ が成り立つ核の励起状態に4He原子核クラスター(α クラスター)が構成要素として存在する状態を α クラスター状態と呼ぶ。近年このような状態が α 粒子がボーズ粒子であることから、低温状態にあるボーズ粒子に特有なボーズアインシュタイン凝縮状態とみなせることが示唆され注目を集めている。しかしながら実験的にはこのような α クラスター状態は¹²Cでのみ確立しており、より重い核では全く手つかずなのが現状である。一方、ロシアDUBNA研究所で、核子あたり3.3GeV/uの²²Neイオンをエマルジョンに入射する実験をおこなったところ、多数の α 粒子(3~5個)が超前方に小さな相対運動で放出される事象が観測された(N.P.Andreeva et al. Eur. Phys. J A27 s01,295(2006))。この事象が²²Neの α クラスター状態がクーロン仮想光子により励起されたもの解釈すると、実光子により同様の状態が励起される可能性がある。そこで本実験では多数の α 粒子を同時計測できる測定器を作成し、Neガスをターゲットして光核分解反応を測定した。

<実験方法>

図1に実験に用いた測定器を示す。セル内に²⁰Neガスを封入しガンマ線を入射した。図2にガンマ線の強度分布を示す。²⁰Neが 5α に崩壊するしきい値のエネルギー(19.17 MeV)より高い35.7MeV($E_e=1.0$ GeV)と47.0 MeV($E_e=1.147$ GeV)で実験をおこなった。²⁰Neから放出される数百keVから数MeVのエネルギーの α 粒子の1気圧の²⁰Neガス中でのレンジは数cmしかないため、これらの粒子を検出するため、 α 粒子を検出するプラスチックシンチレータを可能な限りビームに近づけ、ビームを囲うように配置した。

<実験結果>

図3にNe、4He、空気をターゲットとした時の荷電粒子への崩壊の反応断面積を示す。図中の縦軸は反応断面積、横軸は荷電粒子の多重度である。本実験で用いた測定器は荷電粒子の識別ができないため放出粒子として可能性のある陽子、重陽子、³He、⁴He等の識別はできていない。図からもわかるようにバックグラウンドとして測定した⁴Heガスの場合とNeガスの場合で反応断面積に有意な差はなく 5α 状態への崩壊を見出すことはできなかった。

<今後の見通し>

光核反応による α クラスター状態の励起が確認できれば世界で初めての発見である。また理論の予想によれば α クラスター状態は大きな半径に拡散しているとされ、通常の核物質の密度の半分程度の密度をもつとされており、核物質の新たな相の研究につながると期待される。一方、実験技術的にはビームハローの軽減はガンマ線を用いた実験のデータの精度の向上に重要な寄与がある。

文部科学省 [先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業 成果報告]

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 ニュースバル放射光施設

<図面等>

図1

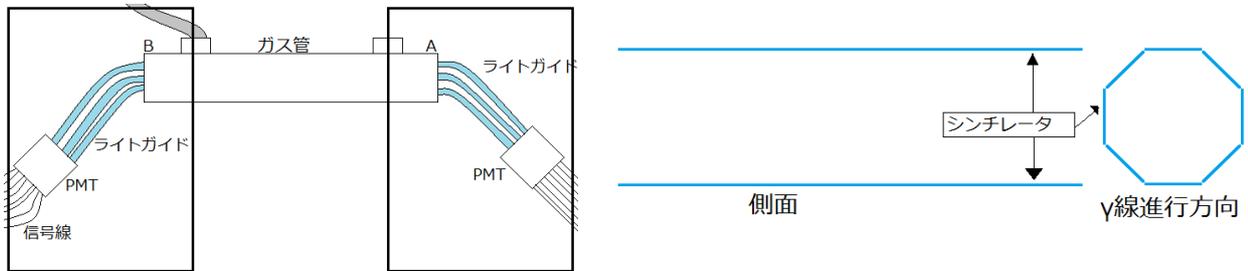


図2

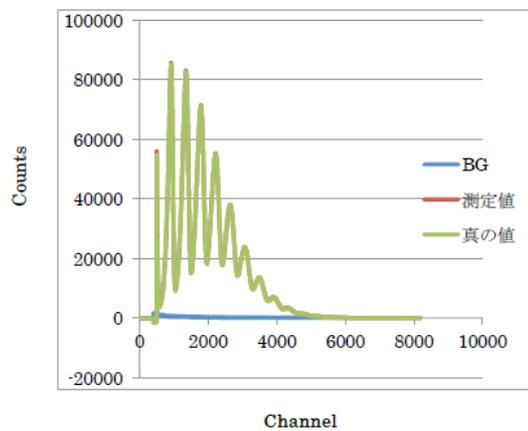
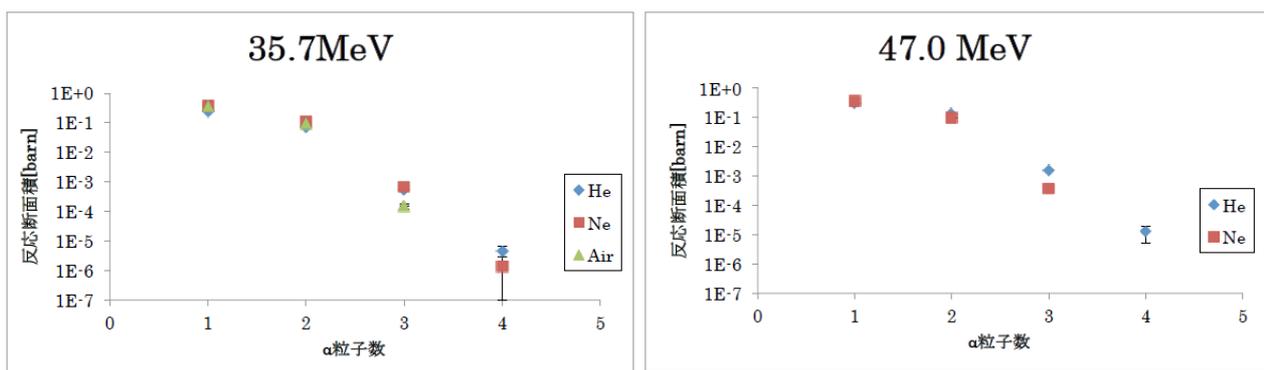


図3



問い合わせ先

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
ニュースバル放射光施設 共用促進室

〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都1-1-2
TEL : 0791-58-2543 FAX : 0791-58-2504
E-mail : kyoyo@lasti.u-hyogo.ac.jp

NewSUBARU ガンマ線ビームラインの 低エネルギーガンマ線、電子バックグラウンドの評価と除去

甲南大学大学院自然科学研究科物理学専攻

原子核研究室 M2 角野愛

1. はじめに

γ 線は空気中を通過すると相互作用が起これ低エネルギーの γ 線や電子を生成する。実験でこれらの γ 線や電子が検出器に入射するとバックグラウンドとなり、本来の結果が得られず実験の質が低下してしまう。そこでこの研究では相互作用によるバックグラウンドを軽減させる方法を考え実際に実験を行なった。また Geant4シミュレーションを用いて、バックグラウンドを軽減・除去する条件を考察し評価した。

2. 実験装置・実験方法

今回実験は NewSUBARU 放射光施設内の BL01にある甲南大学研究設備 GACKO(Gamma Collaboration hutch of Konan university)でおこなった。Fig. 1に BL01の Optical Hutchの配置を示す。今回の実験では Optical Hutchを繋ぐビームダクト内ポリ塩化ビニル製のパイプを挿入しその中を真空にすることで γ 線と空気の相互作用を軽減させる方法を用いた。Optical Hutch 2側のビームダクトの直径94.7mmの内部に直径30mmのパイプを Optical Hutch 1まで6m挿入した。真空パイプの両端には20mmの穴があいており、厚さ50 μ mのカプトンフィルムを用いて塞いでいる。 γ 線は直径6mmのコリメーターを通過して入射する。

Optical Hutch 1内には鉛コリメーターを二つ設置した。上流側には直径2mmの穴の開いたコリメーターを、下流側には10 \times 3mmの穴になるように鉛ブロックを積み上げコリメーターを作り設置した(Fig. 2)。下流側のコリメーターは Optical Hutch 1側に飛び出した真空パイプの約20mm手前に設置した。

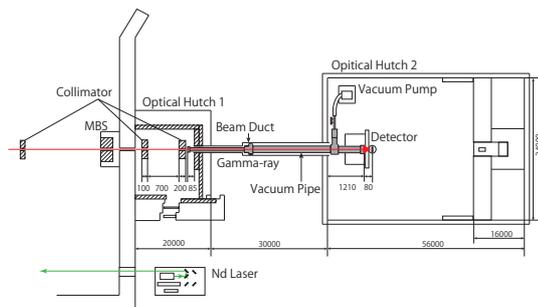


Fig. 1 Optical Hutch (単位 : [mm])

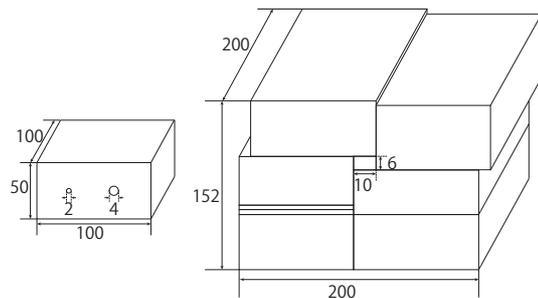


Fig. 2 コリメーター (単位 : [mm])

今回の実験ではプラスチックシンチレーターと NaI シンチレーターの二種類の検出器を用いた。プラスチックシンチレーターは主に電子に、NaI シンチレーターは γ 線に感度がある。プラスチックシンチレーターは光電子増倍管の上部中央に接着したものをを用いた。

実験は真空パイプ内が「真空」の場合と「空気あり」の場合の状態、プラスチックシンチレーターと NaI シンチレーターの二種類の検出器を用いておこなった。検出器は可動式の台にそれぞれ固定し、 γ 線を横切るように設置した。これらは γ 線が照射される位置を原点とし-10mm~10mm までの範囲を2mm~5mm の間隔で移動させ測定をおこなった。

3. 実験結果

実験結果は Fig. 3 のようになった。プラスチックシンチレーターの分布はシンチレーターの幅の分だけ広がった形になっている。今回の研究対象であるバックグラウンドは測定結果のテール部分に現れており、真空の場合は空気がある場合よりバックグラウンドが1/4に減少していることがわかった。実験結果よりプラスチックシンチレーターの分布は、逆コンプトン散乱による分布と γ 線と空気との相互作用による分布の二種類の分布が合わさったもので表され、それぞれの分布はガウス関数と指数関数で表されると仮定する。実験結果より得られた関数を測定結果にフィットすると Fig. 4 のようになる。

また Fig. 3 より NaI シンチレーターの分布は真空の場合と空気がある場合でほとんど差はみられなかった。

4. Geant4 シミュレーション

Geant4 は高エネルギーの粒子と物質の相互作用を計算するのに広く用いられているソフトである。今回用いたシミュレーションは、

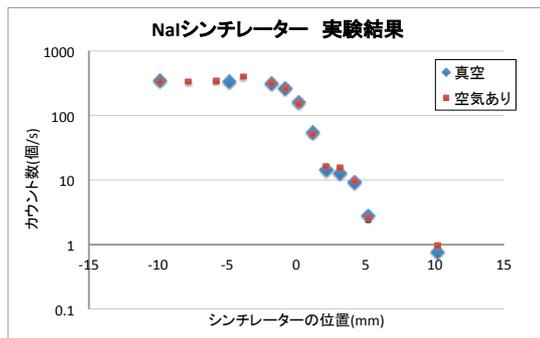
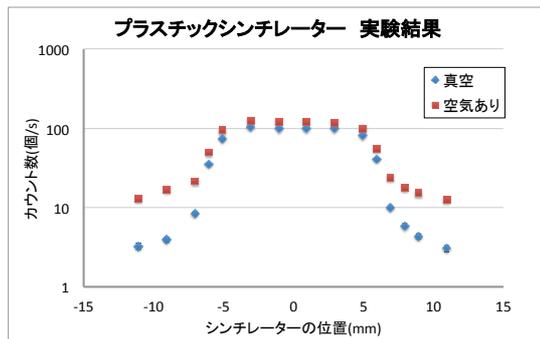


Fig. 3 実験結果

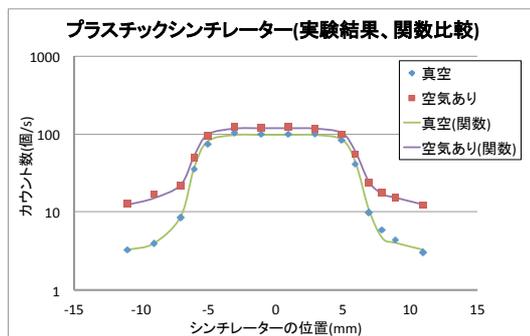


Fig. 4 関数のフィッティング

ELI-NP の Ioana Gheorghe 博士の作られたシミュレーションを提供していただき使用した。このシミュレーションは電子ビームとネオジウムレーザーを衝突させ、逆コンプトン散乱により γ 線を生成し、生成された γ 線が設置されたコリメーターを通過してシンチレーターに入射する現象を計算している。

シミュレーションの条件は次のとおりである。

Electron $n = 6,000,000,000$

Air vacuum: 0 [mg/cm³]

1atm: 1.29 [mg/cm³]

またコリメーターと検出器の配置は電子ビームとレーザーの衝突点から次のような距離で配置されている。(Fig. 5)

Collimator_1 = 1,547 [cm]

Collimator_2 = 1,847 [cm]

Detector = 2,592 [cm]

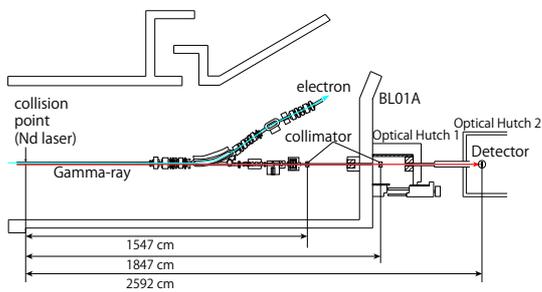


Fig. 5 シミュレーションでの配置

5. シミュレーション結果

電子と γ 線のエネルギースペクトルは Fig. 6 のようになった。電子のエネルギースペクトルは空気がある場合に高いエネルギーの電子が数十個カウントされていることが分かる。これは空気分子中の電子と γ 線がコンプトン散乱を起こして発生した反跳電子がシンチレーターに入射したことを示している。また γ 線のエネルギースペクトルは、カウント数の一番多いエネルギーはニュースバルレーザーコンプトン γ 線源の最大エネルギーと同じ 17MeV を示している。17MeV での γ 線のカウント数に約 2000 カウントの差がみられる。これも空気分子中の電子と γ 線がコンプトン散乱を起こした為に、空気がある場合の γ 線のカウント数の方が少ない結果となっている。

ここでコンプトン散乱によって減少した γ 線の数と増加した高エネルギーの電子の数が一致していないことが分かる。これは、反跳電子はさまざまな方向に散乱するのでシンチレーターに到達した数が少ないことを示している。

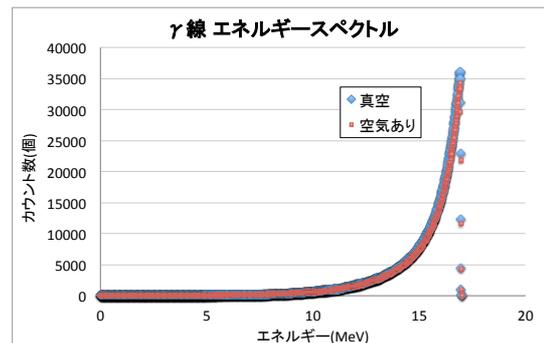
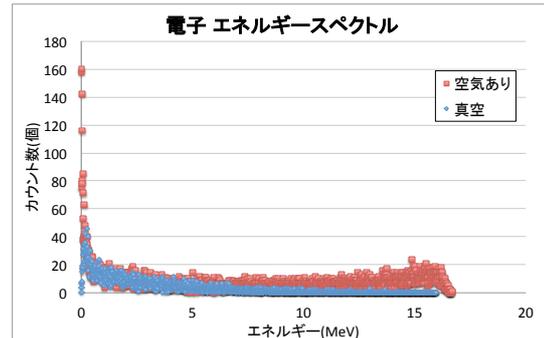


Fig. 6 エネルギースペクトル

Fig. 7 はシミュレーションで得られた電子と γ 線の分布である。真空の場合と空気がある場合で実験と同様の振る舞いがみられた。電子のカウント数は光電子が 6 億個の入射した結果、真空の場合は 4,542 個、空気がある場合は 8,282 個入射していることがわかった。分布のテール部分のカウント数の差は約 7 倍であった。また γ 線のカウント数は、光電子が 6 億個の入射した結果、真空の場合は 4,971,315 個、空気がある場合は 4,702,643 個とカウント数に変化はほとんどみられず、

分布にも変化はみられなかった。

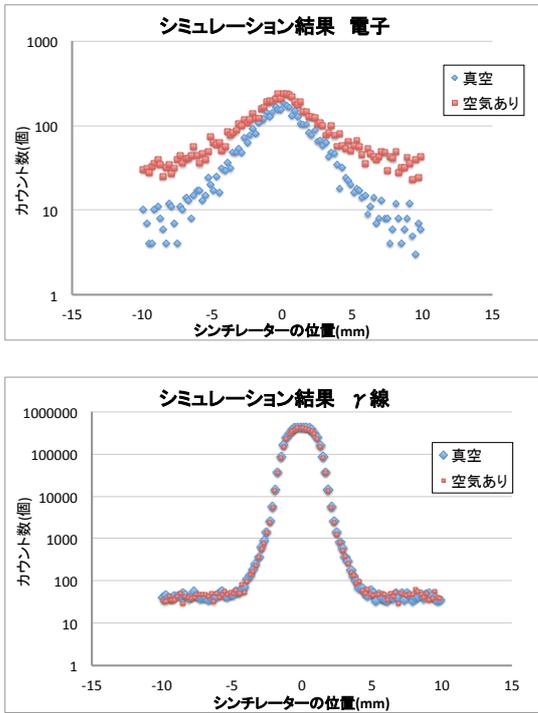


Fig. 7 電子と γ 線の分布

6. 結果のフィッティング

関数をシミュレーション結果にフィッティングすると Fig. 8 のようになり、シミュレーションの結果と関数がよくフィットしていることがわかり、実験結果をよく再現できたといえる。

7. まとめ

実験より 2 つの Optical Hutch を繋ぐビームダクト内に真空パイプを約 6m 挿入することで、バックグラウンドを 1/4 に減少させることができた。

シミュレーションの結果より電子のエネルギースペクトルはダクト内に空気がある場合に空気分子中の電子と γ 線の相互作用により、高いエネルギーの電子が検出された。また γ

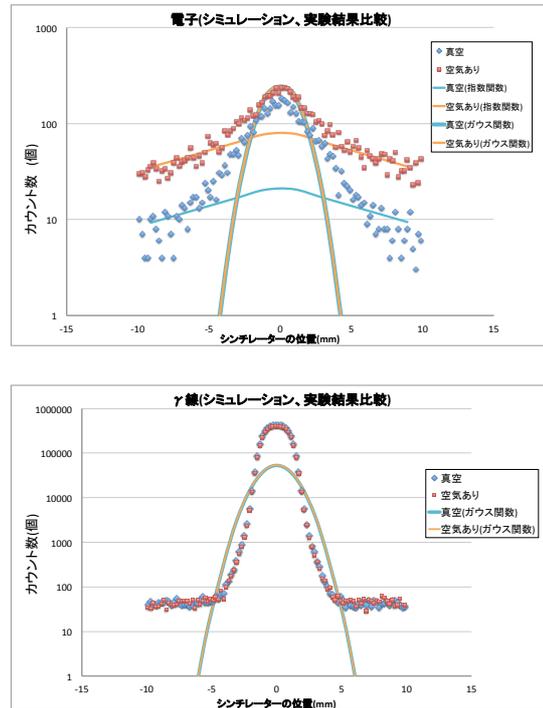


Fig. 8 結果のフィッティング

線のエネルギースペクトルの分布も同様の相互作用により高いエネルギーの γ 線のカウント数が減少していることがわかった。電子のカウント数の分布は実験と同様の振る舞いになり、真空の場合の方が空気のある場合に比べてバックグラウンドが 1/7 に減少していた。 γ 線の分布は実験と同様の結果がみられた。また実験結果より求めた関数のフィッティングも一致しており、どちらも実験結果を再現できたといえる。

以上の結果より、ビームダクト内を真空にする方法はバックグラウンドを軽減させる方法として有効であるとわかった。また今回の研究結果は今後 NewSUBARU 放射光施設で実験を行なう際に、正確な実験結果を得る為に役立つきっかけとなったといえる。