

先端基礎研究センター第2期を迎えて

■ 新しいガンマ線 核分光をめざす



逆コンプトンガンマ線核分光研究グループ ■ 藤原 守 ■

1. はじめに

中国の古典には「聞かざるはこれを聞くにしかず、これを聞くはこれを見るにしかず、これを見るはこれを知るにしかず、これを知るはこれを行なうにしかず、学はこれを行なうをもって終りとなす。」(荀子)という言葉があるがまさに科学の原点は観測し、考え、理解し、これを確かめるための実験に応用するところにある。人が物を観測し、理解する最良の手段は古来から光(電磁場)であった。

物理学でいうところの「光」の基本的性質は量子力学によって記述されるが、これはもっとも性質の知られた観測手段を与えるプローブである。この点で、物質の性質を探る上でこれほど好都合なもの無く、物理学上で数々の輝かしい発見を成し遂げてきた。

我々のグループではこの「光」をキーワードにし、新しいチームを結成し原子核・素粒子物理の研究を目指そうとしている。

2. 逆コンプトン光

わが国では日本原子力研究所と理化学研究所が共同して建設した大型放射光施設 SPring-8 (Super Photon Ring-8 GeV) の蓄積リングが平成9年に完成し、あたらしいタイプの光「放射光」による物質研究が開始されている。良く知られているように「放射光」は電子が強い加速を受けて、その進行方向に、「着ていた衣」である電磁場(光)を放射する機構で作らされる。電子がほぼ光速で走っているために、

放射された光は、ほぼ電子の方向に放出される。これが「放射光」の発生機構である。高エネルギー・大強度、かつ電子の進行方向がそろっていれば、きわめて指向性の良い新しい「光」が取り出せる。SPring-8では約100keVまでの指向性の良いX線光を物質にあって、分解能の良い実験による成果が期待されている¹⁾。

これとは異なる手法で創り出される光がある。それが「逆コンプトン光」である。静止した電子とガンマ線の「コンプトン散乱」は仁科・クラインの式によって記述される。これは物理の大学院学生レベルならば誰もが知っている。逆の場合、光速で走っている電子と光との衝突はどうなるのであろうか? この場合は、走っている電子が、丁度、鏡のように光を跳ね返し、反射された光にエネルギーを与える。正面衝突で反跳された光は相対論的效果により、もともと持っていた波長が圧縮され、高エネルギー光子に変換される。これは、新しいタイプの高エネルギー光である。SPring-8では紫外線レーザー光と8 GeV電子の衝突で3.5 GeVまでの光が取り出せる。8 GeV電子と光の衝突では「逆コンプトン光」は、鏡から反射されるように創られるので、光の指向性は電子ビームの指向性でほぼ決まってしまう。SPring-8では衝突点から100メートル離れた地点でも「逆コンプトン光」ビームは10mm以下の広がりしか持たない^{2,3)}。

日本の原子核グループはこの施設を利用して「レーザー電子光によるクォーク核物理」計画を推進している。この計画では電子とレーザーの正面衝突によってシャープな逆コンプトン・高エネルギーガンマ線

(1.5–3.5 GeV) を創り出し、これを原子核・核子に照射しクォーク・グルーオンから構成されている核子の世界を研究し、クォーク・レベルの原子核構造を解明しようとしている。日本原子力研究所先端基礎研究センターの我々のグループは逆コンプトン・ガンマ線を創り出し、実験装置建設に全力を注ぎ1.5–3.5 GeVの光に照射によって生成される ϕ 中間子(1.04 GeV)を観測することによって核子中のクォーク構造を探ろうとしている。原子核、たとえば陽子に高エネルギー・ガンマ線をあてる。クォークとグルーオンが渦巻いている核子媒質にガンマ線が吸い込まれることによって、 ϕ 中間子が生成される。 ϕ 中間子はストレンジクォークと反ストレンジクォークからできている奇妙な中間子で、核子の性質を探るのに使われる。原子核は最終的にどのような物質の階層構造から出来ているのか、またどのような構成で出来ているのかとの根本的な疑問に答えるのが我々の研究目標である。

3. 異常クーロン励起

先端基礎研究センターの重イオンを用いた核分光の研究グループと協力し、総合的に原子核を光で研究するのが逆コンプトン光を用いる研究と並ぶ我々の研究グループの第二の目的である。原子核の集団運動の研究は世界有数の性能を誇るタンデム加速器からの重イオンビームを用い激しい衝突によって原子核の高速回転(高スピン)状態を創り出す。高スピン励起準位、例えば、核異性体からの光(ガンマ線)を観測し、強い電磁場(クーロン場)に原子核が曝された時に、ガンマ線誘導放出現象によって寿命が変化するのかわかを観測する。

^{90}Zr ビームで ^{155}Gd をクーロン励起した実験結果によると、基底バンド励起以外にも、弱く励起される筈のサイドバンドが異常に強く励起されることが分かった。励起確率が強いクーロン電場の影響で大きくなる可能性が指摘され、ガンマ線の誘導放出との関連として研究が開始されている⁶⁾。

一般に、励起状態の寿命を変えるためには、1) 終状態を変える、2) 真空の状態を変える、の二つの方法がある^{4,5)}。分子レベルの研究や、原子核のベータ崩壊の研究では、電子状態を変化することにより、このような現象は実証されている。しかし、二番目の方

法である、原子核励起準位の寿命や遷移を強い電場中でコントロールすることは実現されていない。量子理論の教えるところによれば、遷移確率は「自然放出」と「誘起放出」の和から成り立っている。誘起放出は真空場に存在する光量子の数に比例する筈である。重イオンビームと原子核の激しい衝突によって、強いクーロン電場が創り出される。原子核の励起状態の光の放出と吸収では、無視できると考えられていた「誘起放出」が発生するかどうかは未だ確かめられていない。また、原子核の励起状態からのガンマ放射が強い電磁場でコントロール可能になるかどうかの基礎研究はガンマ線レーザーなど応用研究にとっても重要である。

4. おわりに

高輝度大型放射光施設 SPring-8 での高エネルギー電子とレーザー光子の正面衝突による「逆コンプトン光」は新しい放射光源として有用となっている。この方式の高エネルギー・ガンマ線発生は電子ビームのエネルギーが高くなればなるほど有利に働く。8 GeV 電子と200nmの波長を持つ紫外光では3.5 GeVまでの高エネルギーガンマ線が発生できる。また、赤外線レーザーを用い、10 MeV程度の強力なガンマ線を生じさせ、原子核の E1, M1 共鳴を研究する検討も行われている。

高エネルギー「逆コンプトン」光の波長は核子サイズ(直径・約 1.2×10^{-13} cm)よりはるかに小さくなり、核子のなかで運動しているクォークと作用する。これが、第3世代の大型放射光施設において原子核・素粒子実験を行う強い動機である。

逆コンプトン光でのクォーク核物理の研究は、日本及び世界の核物理研究者が大型放射光施設 SPring-8 で日本原子力研究所・先端基礎研究センター、大阪大学核物理研究センター、および、高輝度光科学研究センターの3研究機関の協力のもとで、極微の世界、原子核・核子の構造を探る研究である。これは、文部省、科学技術庁という省庁の枠を越え、我が国で光量子による「クォーク核物理」研究を進めようという計画である。この魅力あふれた研究は現在、全国の40名以上の研究者との協力と国際協力で計画実現に向かっている。平成11年4月には主だった実験施設がほぼ完

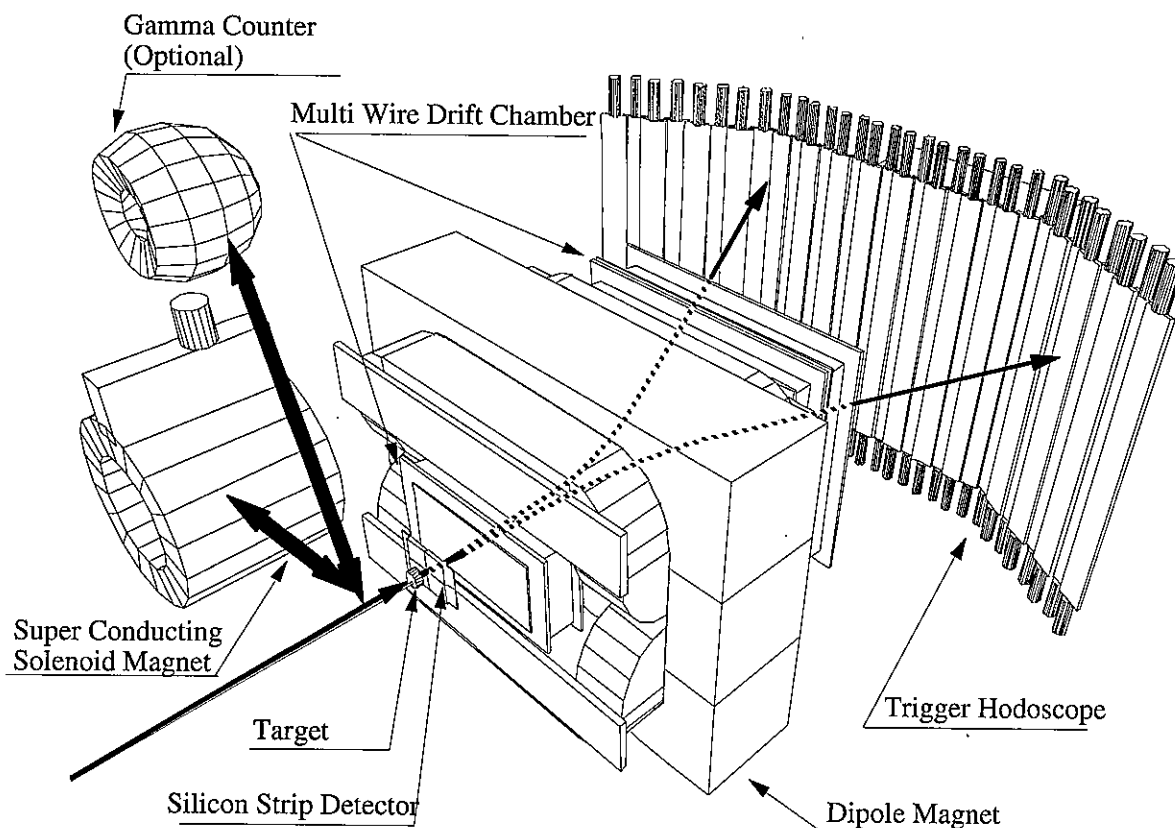


図1 逆コンプトン光での ϕ 中間子測定のために使用される実験装置。 ϕ 中間子から崩壊して発生する正負の電荷を持つ2つのK中間子は分析電磁石によって各々逆方向に曲げられる。K中間子は後方にあるホドスコープにより粒子選別され、ワイヤーチェンバーにより、飛行軌道を決定される。また、偏極ターゲット生成のためのソレノイド磁石、ガンマ線測定のためのシンチレーションカウンターがターゲットの位置に置かれる。これらは、実験目的によって使い分けられる。現在建設中の本実験装置は1999年中には稼働される予定。

成の予定である。検出器の概要は図1に示したものになる。施設の完成後にしばらく検出器の調整、逆コンプトンビームの発生など、開発課題をこなし、しばらくの準備期間(約1年)後には実験開始にこぎ着ける。

また、クーロン励起による原子核の研究もきわめて発展性のある局面を向かえている。不安定原子核ビームが豊富に得られる状況がまじかに迫ってきたことが背景にある。日本原子力研究所での計画、理化学研究所でのRIビームファクトリー計画では不安定原子核ビームが得られ、不安定原子核の核構造研究には励起断面積がきわめて大きいクーロン励起による研究が有力である。安定線から遠くはなれた幾つもの不安定原子核の核構造が系統的に研究され、宇宙の中で起こっている現象、中性子星、超新星爆発など星の進化を理解する有力な手がかりを与えるであろう。

これらの研究を大いに発展させるためには、最先端の実験・研究能力をもつ科学者グループをつくるのが大切である。まさに「学はこれを行なうにしかず」であろう。原研・研究者グループの活躍で幾つもの自

然の秘密のベールが解き明かされるように頑張りたい。

参考文献

- 1) 上坪宏道, 日本物理学会誌 53(1998)811.
- 2) 藤原守, 木梨徹, 堀田智明, 日本放射光学会誌 10(1997)23.
- 3) M. Fujiwara, T. Hotta, T. Kinashi, K. Takanashi, T. Nakano, Y. Ohashi, S. Date, H. Ohkuma, and N. Kumagai, Acta Physica polonica B29(1998)141-156.
- 4) ハイトラー, 輻射の量子論(吉岡書店)p. 181.
- 5) 最近の論文では M. K. Suleimanov et al., Phys. Rev. C58(1998)351. がある。
- 6) M. Kidera, M. Ohsima, Y. Hatsukawa, K. Furutaka, T. Hayakawa, M. Matsuda, H. Iimura, H. Kusakari, Y. Igari, and M. Sigawara, J. of Phys. Soc. of Japan, 66 (1997) 285.