

氏 名	やす だ けい すけ 安 田 啓 介
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2111 号
学位授与の日付	平成 11 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Measurement of proton-proton bremsstrahlung at 389 MeV (389 MeV における陽子陽子散乱に伴う電磁輻射反応の測定)

論文調査委員 (主 査) 教 授 今 井 憲 一 助 教 授 坂 本 宏 教 授 笹 尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大阪大学核物理研究センター (RCNP) リングサイクロトロンにおいて偏極陽子ビームを用いて行われた入射エネルギーが 389 MeV における $pp \rightarrow ppr$ 反応の微分断面積及び偏極分解能を測定する実験を中心として、それに関連する理論的な考察も含めた研究についてまとめたものである。

$pp \rightarrow ppr$ 反応は最も簡単な陽子陽子非弾性散乱であり、この反応の反応機構の解明は原子核物理学にとって必要不可欠なテーマである。これまでの研究から入射エネルギーが π^0 生成閾値付近までの実験データは、核子流からの輻射では説明できることがわかっている。理論計算によると入射エネルギーが 400 MeV 付近では核子流からの輻射に加えて、特に Δ 粒子からの輻射の影響が大きくなると予想されている。 $pp \rightarrow ppr$ 反応の散乱断面積は小さく、さらに陽子陽子弾性散乱、あるいは π^0 生成反応というような大きなバックグラウンド源が存在するために入射エネルギーが π^0 生成閾値以上の実験データはほとんど存在しない。また数少ない実験データも、限られた運動学的条件で測定されたものである。本研究は Δ 粒子からの輻射の影響が大きいと予想される運動学的条件で測定を行なった初めての実験である。

本研究の第一の特徴は、終状態の二陽子の測定に二台の高エネルギー分解能磁気スペクトロメーターを用いたことである。入射エネルギーが高くなるにしたがってバックグラウンドとなる $pp \rightarrow pp\pi^0$ 反応と $pp \rightarrow ppr$ 反応の終状態の二陽子のエネルギー分布の差は小さくなる。そのため入射エネルギーが 400 MeV の領域での $pp \rightarrow ppr$ 反応の測定には終状態の二陽子のエネルギーを高分解能で測定することが必要となる。近年米国の IUCF、ドイツの COSY、スウェーデンの TSL などの研究所で測定が行なわれたが終状態陽子の運動エネルギーの測定に飛行時間測定法あるいはシンチレーションカウンターを用いたカロリメトリックな方法を用いている。これらの測定でのエネルギー分解能は数%程度である。そのため入射エネルギーが π^0 生成閾値付近での測定には成功しているものの、それより高いエネルギーでは $pp \rightarrow pp\pi^0$ 反応との分離が困難なため実験データの取得は行なわれていない。本研究では RCNP において二台の高エネルギー分解能磁気スペクトロメーター、グランドライデン (GR) と大口径スペクトロメーター (LAS) を用いて測定を行なった。運動量分解能は半値全幅で GR が 0.045%, LAS が 0.060% であった。これによって入射エネルギー 389 MeV において $pp \rightarrow ppr$ 反応を $pp \rightarrow pp\pi^0$ 反応および陽子陽子弾性散乱と完全に分離して測定することができた。

本研究の第二の特徴は液体水素標的を用いて行なわれたということであり、これによって標的中の水素以外の原子核に起因するバックグラウンドを大幅に削減することができた。液体水素標的は厚さ 9 mm, 直径 24 mm で厚さ 12.5 μ m のアラミド膜で覆われている。アラミド中の原子核に起因するバックグラウンドは標的中の水素を気化して行なった測定によって見積もった。液体水素標的の温度は、取り付けられたヒーターに定電圧をかけることによって、定常状態での温度の変化を 0.1 K (σ) 内に制御している。

このような実験装置によって $pp \rightarrow ppr$ 反応の散乱断面積、及び偏極分解能が測定された。二陽子の散乱角は理論計算に基づいて Δ 粒子からの輻射の寄与が大きいと予想される 26 度に設定した。 γ 線のエネルギー、放出角は測定された二陽子の運

動量、散乱角から求められた。散乱断面積の絶対値についてはポリエチレン (CH_2) 標的、及び液体水素標的を用いて陽子陽子弾性散乱の測定の結果を位相差解析計算と比較して、本実験の系統的な誤差 (6%) の範囲内で一致することを確認した。偏極分解能についても同様の確認を行なった。

得られた散乱断面積、及び偏極分解能を Δ 粒子からの輻射の寄与を考慮した理論計算と比較した。この理論計算では核子流、及び Δ 粒子からの輻射を計算しており、入射エネルギー 280 MeV の散乱断面積、及び偏極分解能の実験データを再現している。入射エネルギー 389 MeV においては γ 線の放出角 (θ_γ) が 70 度付近で Δ 粒子からの輻射の影響により散乱断面積が 100% 程度増大すると予測されていた。本実験データは $\theta_\gamma \sim 70^\circ$ で散乱断面積が理論計算よりさらに 70% 程大きいことを示している。これに対し Δ 粒子からの輻射の影響が小さいと予測される θ_γ が後方の領域で、本実験データは理論計算と良く一致した。また、偏極分解能の実験データも $\theta_\gamma \sim 70^\circ$ で理論計算との不一致が見られた。本実験データはこれまで考慮されてきた中間子交換流、および負エネルギー状態からの輻射による影響を採り入れた計算でも説明することができない。このことは入射エネルギーが π^0 生成閾値程度までの実験データを説明してきた理論計算では本実験データを説明できないことを示しており、さらなる理論的研究が必要であることを示唆するものである。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、陽子エネルギーが 389 MeV における $pp \rightarrow pp\gamma$ 反応 (制動輻射) の微分断面積及び偏極分解能の測定を中心として、それに関連する理論的な考察も含めた研究についてまとめたものである。

この陽子—陽子制動輻射反応の研究は、古くからとくに off-shell の核力の研究のために行なわれて来たが、実験データは π^0 生成反応のしきい値以下のエネルギーにほぼ限られていた。これは高いエネルギーでは π^0 生成反応が大きなバックグラウンドとなって、実験がいちじるしく困難となるためである。さらに近年、高いエネルギーでの陽子—陽子制動輻射過程の理論計算がなされるようになった。核子流以外の効果、とくに Δ 粒子からの輻射が断面積に大きな寄与を与えることが指摘され、実験データが待たれていた。

本申請論文では、はじめて 400 MeV という高いエネルギーでこの反応の測定に成功し、精度の良い微分断面積と偏極度のデータを得たことは、その意味でこの反応の研究を大きく進展させる業績であるといえる。

申請者は、 π^0 反応などのバックグラウンドを避けるために、2 台の非常に良いエネルギー分解能をもつスペクトロメータで、終状態の二つの陽子を測定した。これにより missing mass の分解能をあげることができ、 $pp \rightarrow pp\gamma$ 反応を、 $pp \rightarrow pp\pi^0$ 反応および陽子陽子弾性散乱と完全に分離できに同定している。従来の scintillator などを使った方法より優れた S/N 比で測定されており、実験方法としても新しい方法を確立したと言える。

この種の反応では理論との比較のため断面積の絶対値を精度よく決める必要がある。申請論文では、微分断面積の絶対値についての信頼度を得るために、液体水素標的の温度制御や多くの更正用データの解析が行なわれている。例えば、同じ測定装置で陽子陽子弾性散乱を測定し、その結果を位相差解析計算と比較して実験の系統誤差 (6%) の範囲にあることを確かめており、信頼度の高いデータを与えていると言えるだろう。

この実験では、 Δ 粒子からの輻射の寄与が大きいと予想される二つの陽子がともに 26 度に散乱される運動学条件で測定が行なわれた。申請論文では、得られた陽子—陽子輻射反応の微分断面積、及び偏極分解能が、理論計算と比較されている。それによるとたしかに、 Δ の寄与によって断面積が 100% 近く増大する、と予想されていた γ 線の角度 70 度の近くで、測定された断面積がおおきい。しかし測定値は、理論予想よりさらに 70% ほど大きい値を与えている。中間子交換流などの効果を取り入れた理論計算との比較も行なわれているが、70 度近くでの理論値との差を解消するものではないことが示されている。

申請論文は、このように π^0 数値以上のエネルギー領域で、はじめて陽子—陽子輻射過程の微分断面積および偏極度の信頼性の高いデータを与へ、現在の理論との不一致を見出して、この反応メカニズムの研究に新たな問題を提起したものとして評価できる。

なおこの申請論文の主な内容は、Physical Review Letter 誌に掲載されることが決まっている。

よって、本申請論文は博士 (理学) の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。