

出来る限り、以下の様式に沿った議事録を作成下さいますようお願いいたします。

(様式 2)

議事録番号

提出 2024年3月25日

会合議事録

研究会名：SPring-8-II 後にレーザー電子光施設で展開する物理

日 時：2024年3月22日

場 所：

出席者：(議事録記載者に下線)

小早川亮、水谷圭吾、Chary Rangacharylyu、鈴木謙、柳善永、時安敦史、Jung Keun Ahn、馬越、堀田智明、石川貴嗣、與曾井優(以上、現地参加)、富田夏希、郡英輝、大橋裕二(Zoom参加)

計 14名

議題：

SPring-8-II した後にレーザー電子光施設で展開すべきクォーク核物理

議事内容：

レーザー電子光IIビームライン (BL31LEP) を利用する LEPS2 施設では、ハドロンと呼ばれるクォークとグルーオンの複合粒子に関わる現象を調べることで、身の回りに存在する物質の起源と進化の謎に迫る。クォークやグルーオンは、働く力がとてつもなく強く、ハドロンの中に閉じ込められ、単体としては観測できない。このことがクォークやグルーオンのダイナミックスを理解することを難しくする。LEPS2 では、これまで最大2.4 GeV (紫外線レーザーを使用した場合) ないし 2.9 GeV (深紫外レーザーを使用した場合) のレーザー電子光を使って、 s クォークと \bar{s} クォークで表される ϕ メソンの光生成機構などを通じて、ハドロン現象を調べてきた。SPring-8-II では、周回し電子ビームのエネルギーが8 GeVから6 GeVへと低下する。そのため光子ビームの最大エネルギーは1.5 GeVないし1.8 GeVとなる。 ϕ メソンの生成閾値が1.6 GeVであることを考えると、これまでと対象とする生成粒子は変化する。本研究会では、このような条件でどのようなハドロン物理を展開するかについて詳細に議論した。今回、議論したテーマは下記の5点であり、いずれも他施設との競合を加味して実現についての検討を行った。

1) $S = 0$ のダイバリオン

バリオン数 2 のダイバリオンは、二つのバリオンの分子状態から空間的にコンパクトな 6 クォーク状態までさまざまな構造を取り、クォークのハドロン中でのダイナミクスを調べる上で重要なオブジェクトである。東北大学電子光理学研究センター ELPH での光生成反応では、質量 2.38, 2.47, 2.63 GeV のアイソスピン 0 のダイバリオンが発見され、 π^0 を放出して、2.15 GeV のアイソスピン 1 のダイバリオンに崩壊し、さらに π^0 を放出して重陽子に戻る過程が報告された。 π^0 を 3 つ放出する反応過程も合わせて、ダイバリオンとして、 π^0 の雲を重陽子が複数まとう状態の可能性が示唆されている。しかしながら ELPH の光子ビームの最大エネルギーは 1.1 GeV と低く、かつ電磁カロリメータの角度、エネルギー分解能が悪く、複数の π^0 を放出する反応過程の研究は向かない。SPRING-8-II 化後の BGOegg 電磁カロリメータを使った実験で明らかにすべき物理テーマであると考えられる。

2) 原子核中での二核子短距離相関

短距離相関 short range correlation (SRC) は、原子核内部での 2 つの核子が近距離かつ互いに反対方向の大きな運動量をもつ状態である。平均場近似に基づいた独立粒子ポテンシャルで、原子核の性質を大まかに再現できるも一方で、独立粒子運動で表すことができない現象も多々存在する。SRC の確立は依然としてバックグラウンド過程の解釈に依存している。LPES2 実験は、終状態に Λ を要求することで、SRC 研究を促進する非常にユニークな機会を提供する。この新しいアプローチは、これまでの SRC 研究に使われた電子非弾性散乱と違って、バックグラウンド過程からの寄与を定量的に見積もることが可能になる。断面積のエネルギー依存性から、SRC 研究には、低い光子ビームのエネルギーの方が有利な可能性があるため、SPRING-8-II 化後の物理として期待される。

3) ϕ メソンのスピン構造

ϕ メソンの光生成は、 ϕ メソンと核子では、同じ種類のクォークをもたないため、クォークの交換ではなくグルーオンの交換が相互作用を特徴づける。これまで国内の SPRING-8 や国外の JLab において ϕ メソンの光生成反応を通じて、 ϕ メソンと核子の相互作用が調べられ、非常に弱いと考えられてきた。ところが最近、国外の LHC で行われた高エネルギー陽子・陽子衝突実験における運動量相関関数や格子 QCD 計算で求められた相互作用は非常に強い。このような混沌とした ϕ

メソンと核子の相互作用の研究では、閾値の極近傍での相対運動量が小さい領域での ϕ メソンの光生成に着目するのが望ましい。SPring-8-II化の光子ビームは、まさに ϕ メソンの光生成反応の閾値近傍に対応し、かつ直線偏光度を非常に高くできる。この高い直線偏光度を使って生成された ϕ メソンのスピン構造で生成過程を見つつ、 ϕ メソンと核子の相互作用を調べることは重要な意味をもつ。その一方で、閾値近傍でヘリシティが保存しているは不明であり、非保存の場合には生成過程の解釈に困難を極める可能性もある。SPring-8-II化後の物理として期待される一方で理論的な研究の助けも必要である。

4) 原子核中での ρ メソンの質量変化

観測される物質の質量のほとんどであるハドロンの質量は、ノーベル賞を受賞した南部陽一郎氏によればカイラル対称性の破れによって動的に生成される。クォークの質量が0でないこと、クォークの質量が種類によって異なることで、真空中にクォーク凝縮が現れ、ハドロンの質量はこのクォーク凝縮に直接関係する。原子核中でのクォーク凝縮やハドロン質量の変化を示すため、パイオン原子の高精度分光や、原子核媒質中のハドロンの質量スペクトルの形状解析などがある。そのなかで ρ メソンの質量スペクトルについては、ハドロン反応で生成した実験では質量の減少が示唆されている一方で、光生成の実験では質量変化が見られない。このことは光生成反応では、ベクターメソン支配的モデルがよく成り立っており、そのため ρ メソンは原子核内部ではなく、原子核表面で生成される確率が圧倒的に高いことが考えられる。 ρ メソンだけでなく追加で反応に関与する核子を検出する、あるいは運動量移行が大きいイベントを選別する、といった手法が提案された。

5) アクシオン探索

素粒子物理学における標準理論では、量子色力学のラグランジアンにCP対称性を破る項が含まれている。しかしながら中性子の電気双極子モーメントが0であることから、強い相互作用でのCP対称性の破れは見られない。この矛盾を説明するPecci-Quinn機構では、 π^0 と混合し、 $\gamma\gamma$ と結合するアクシオンなる素粒子の存在を示唆する。アクシオンは、可能性のある質量の領域ごとに最適な実験が変わる。アクシオンの質量がMeVオーダーであった場合には、コンプトン散乱やプリマコフ効果でのアクシオン生成が期待できる。このアクシオン生成で強磁場を使った真空複屈折現象で探ることが提案されたが、使用するモデルの信頼性など検討すべき課題があることが解った。

議論の時間では、SPring-8-II 化後に LEPS2 プロジェクトを継続すべきかどうかの話し合いが行われた。様々な技術的困難があったとして、光子ビームを用いたクォーク核物理の推進が必要であることが確認された。また SPring-8-II 後の LEPS2 施設もまたこれまで同様に世界的に見てユニークな施設となるであろうことが期待される。

Web サイト:

<https://indico.rcnp.osaka-u.ac.jp/event/2342/>