


【特別推進研究】

反K中間子原子核の内部構造解明による新しい原子核研究の展開

	研究代表者	理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員 / 仁科加速器科学研究センター・室長 岩崎 雅彦 (いわざき まさひこ) 研究者番号:60183745
	研究課題情報	課題番号: 22H04917 研究期間: 2022年度~2026年度 キーワード: 分子状原子核、K中間子、新奇量子状態、超高密度核物質

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

一般的に中間子は原子核中では生成と消滅を繰り返す仮想的な状態となると考えられてきた。一方でudsクォークで構成される $\Lambda(1405)$ として知られる共鳴は「K中間子と陽子が分子的な内部構造を持った状態ではないか？」と理論的に指摘されてきた。これが正しいければ、K中間子と複数の核子が束縛した図1上に示したような奇妙な原子核状態が有るはずだ。そのような状態を探した結果、我々は「K中間子と陽子2つからなる分子的な“K⁻pp”状態」を発見した。我々はこの状態を起点に、K中間子と原子核が作るこの奇妙な「K中間子原子核」の基本的性質を解き明かす研究を行う。

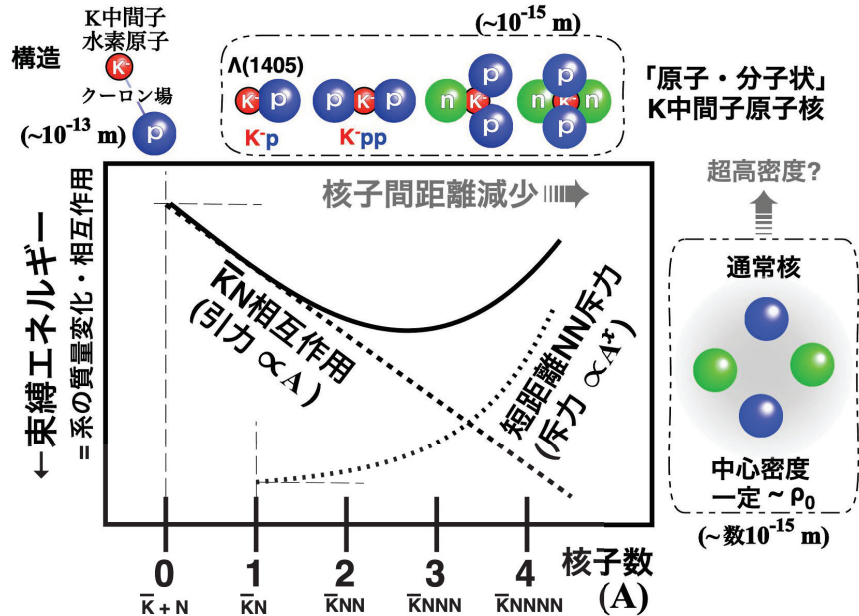


図1 K中間子と核内の核子（陽子または中性子）は非常に強い引力を持つ。このため、核子数が多くなるほど強く束縛された原子核がK中間子を核として作られ、核子だけで出来た通常の原子核密度を超えた超高密度状態が生まれる。このため、特異的な「分子的な空間配位を持った奇妙な高密度原子核」状態が生まれる。我々はこの“K⁻pp”状態を起点に、K中間子原子核の基本的性質やその普遍性を解き明かす。

● K中間子原子核の基本的性質の理解に向けて

陽子や中性子などの核子は、クォーク3つからなる複合粒子であるが、原子核の中で核子はそれぞれ個別粒子として振る舞う。中間子は原子核中では仮想粒子であり、実体を持たないと考えられていた。ところが、“K⁻pp”状態は、K中間子が粒子としての固有質量を保ったまま、個別粒子として束縛する極めて特異な状態である。この新奇状態の内部状態を調べることで、どのように分子的な原子核が作られ、どのような基本的性質を持つのかを研究する。

● K中間子原子核状態の内部構造と対称性

核子である陽子と中性子は共にとても軽いu,dクォークの3つ組からなる粒子で、共に固有角運動量(スピン 1/2)を持ち、質量値はほぼ等しい。K中間子はストレンジ(s)クォーク反u,dクォークとの組からなり負電荷を持ったK⁻と、電荷を持たない \bar{K}^0 という2つの状態を持ち、やはり質量値はほぼ等しく、固有角運動量を持たない(スピン 0)。これらは、全て強い相互作用をする粒子で、“K⁻pp”は反K中間子が核子2個を強い相互作用で束縛させた“K⁻pp”という図2に示すような分子的空間配位を持った内部対称性の良い原子核状態であると考えられる。

この理解が正しいか検証するためにも、どのような内部電荷・スピン対称性を持つか実験的に決定する必要がある。この内部・構造対象性は $I(J^P)$ 量子数で決まり、発見された状態は、図2の左右2つの状態いづれかの可能性しか無い。このため、本研究でこの構造を実験的に確立し、図1の上を示したような多数核子系へ研究を進める足がかりとする。

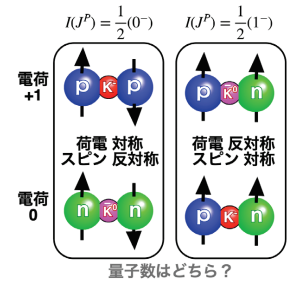


図2 内部電荷・スピン対称性。発見された状態は、図の左上であることや、これとペアとなる下段の電荷の違う状態の存在を実験的に確立する必要がある。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● K中間子原子核科学分野の開拓

本研究によって、K中間子原子核状態がどのような内部電荷・スピン対称性を持つかを図3に示す角度相関から図4の装置を使って実験的に明らかにすることで、K中間子原子核状態の基本となる性質を解き明かし、理論的にハドロン(強い相互作用をする粒子)を第一原理計算することが可能な格子QCD計算を進展させ、カイラル対称性等に基づくハドロン有効相互作用理論へと架橋し、全体として第一原理計算に基づく反応・構造計算を推し進める。この分野で、実験と理論が根源的な協力をし、新たな学術領域「K中間子原子核科学領域」を創成させることを目指した学術的挑戦を行う。

この進展により「グルーオンによるクォークの色の交換が支配的なQCD相」と「無色のクォーク複合粒子からなるハドロン相」とに隔られた2つの異質な物質階層を繋ぐ物理領域に於ける以下の諸問題に「反K中間子プローブによって光を当てその核心に迫る。これにより、◎複合ハドロン化(相境界での無色粒子形成): 混沌としたQCD相から独立粒子としての無色のハドロンが如何に生み出されるのか? ◎質量変化(ハドロン質量の起源): ハドロン質量がクォーク質量和より、なぜ遥かに大きいのか? ◎高密度(核物質の状態方程式): 中性子星中心部が自重で潰れないのは何故か?、といった様々な基礎物理学上の難問に重要な知見をもたらし、人類の英知の地平を切り開く。

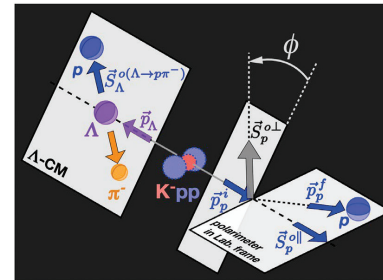


図3 “K⁻pp”状態の内部対称性を決定するために使用する、“K⁻pp”状態が Λp へと崩壊する過程を利用した実験原理概念図。 Λ 粒子と陽子のスピンの相対角度によって内部対称性を決定する。 Λ スピンはその崩壊方向によって(図左)、陽子スピンは図4赤で示したポリアメータの散乱方向(上図右)で決定する。

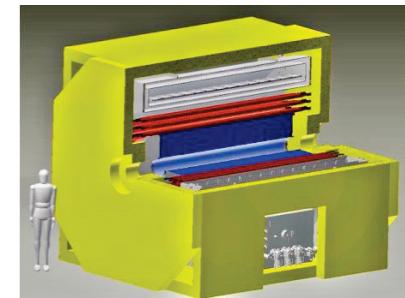


図4 本特別研究研究で作成するスペクトロメータ概念図。大型超伝導ソレノイド(白で図示)内部に円筒型ドリフトチェンバー(青)を配置し、中性子検出器兼ポリアメータ(赤)で標的物質を覆うことで、効率的にK中間子原子核の性質を解明する。