

Title	Exotic heavy meson molecules
Author(s)	大古田, 俊介
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34037
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (大古田 俊介)

論文題名

Exotic heavy meson molecules
(エキゾチックな重いメソン分子状態)

論文内容の要旨

クォークは単体では存在せずにハドロンを形成し、通常は $3q$ 状態としてバリオン、または $q\text{-}q\text{bar}$ 状態として大別される。ところが、近年になってこういった通常のハドロン描像ではその性質を説明できないエキゾチックハドロンの発見がチャームとボトムクォーク領域で相次ぎ、注目されている。

その中でも、近年発見されたエキゾチック粒子である $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ は、いくつかの特徴的な性質を持つことからとりわけ興味深い存在である。これらは量子数 $J^{\text{PC}}=1^{+-}$ を持つボトムニウムの励起状態である $\Upsilon(5S)$ からの崩壊モード $\Upsilon(5S) \rightarrow Z_b \pi$ において生成され、 Z_b は $\Upsilon \pi$ または $hb \pi$ に崩壊する。注目すべきことは Z_b が構成粒子として $b\text{-}b\text{bar}$ を含むと考えられるにもかかわらず、荷電状態であるということであり、この事実は Z_b が少なくとも4個以上のクォークを構成粒子としてもつエキゾチック粒子であることを示している。また、これら2つの共鳴状態の質量差はわずか45MeVと非常に小さく、それぞれの質量は BB^* と B^*B^* 閾値に非常に近い。これらの性質は、 Z_b が $B(B^*)$ メソン2つで構成されたメソン分子状態である可能性を強く示唆している。

我々はポテンシャルモデルを用いることによって Z_b の質量がメソン分子状態として説明できることを示し、また未発見のエキゾチックなメソン分子状態がボトム領域に多く存在する可能性を指摘した。そしてヘビークォーク対称性を仮定することにより Z_b のスピンの構造を求め、スピン選択則に従って Z_b の崩壊特性を説明した。またメソン分子状態のスピンの構造を議論することにより、生成及び崩壊幅の分岐比を求めた。

最後に、 $Z_b \rightarrow \Upsilon(nS) \pi$ ($n=1,2,3$)崩壊に注目し、メソンループダイアグラムを用いたモデル計算を行った。その結果我々のモデルはこの崩壊幅を定性的に説明し、またこの崩壊過程ではメソンループと形状因子が重要な役割を果たしていることが明らかになった。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (大古田 俊介)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 保坂 淳
	副 査	教授 中野 貴志
	副 査	教授 窪田 高弘
	副 査	教授 岸本 忠史
	副 査	准教授 緒方 一介
	副 査	准教授 佐藤 透

論文審査の結果の要旨

近年重いクォークを含む新種のハドロンの発見が相次いでいる。国内では KEK の B 中間子工場において X(3872) を皮切りに、X, Y, Z などと称される粒子が多数発見された。それらのいくつかは、質量が崩壊チャンネルの敷居に近い、崩壊幅が狭いなどの性質を持つことから、ハドロンがいくつか結合したハドロン分子状態であることが予想されている。2011 年に発見された Zb 粒子は 2 個の B 中間子の質量和にほぼ等しく、さらに電荷を持つことから b-bbar としてのボトモニウムではあり得ない。本論文において大古田君は、この新粒子に着目し、その質量、生成、崩壊などの研究を行った。

まず B 中間子が従う相互作用を重いクォーク有効理論によって構築した。それを用い、2 個の B 中間子が従うチャンネル結合方程式を数值的に解いた。その結果 Zb 粒子以外に、様々な量子数をもった B 中間子の束縛状態、共鳴状態の存在が示された。このことによって、B 中間子の敷居領域に、Zb の他にも多数未発見の分子共鳴状態が存在する可能性が示された。

この結果をふまえ、大古田君はこれらの分子状態の生成、崩壊率に関する研究を行った。重いクォークを含むハドロンの動力学は、重いクォークスピン対称性によって重いクォークのスピンが保存される。これに伴い様々な遷移過程に選択則が生じ得る。大古田君は、B 中間子の複合系を重いクォークとそれ以外の部分に分解することで選択則が導かれることを、粒子組み替え公式を用いて示した。この結果は動力学の詳細によらない普遍的な性質である。これらを用いて、崩壊、生成率の間に成り立つ関係式を導いた。

さらに昨年報告された Zb の崩壊率に見られる奇妙な性質を説明するために、崩壊過程をハドロングループ模型によって計算した。素朴には崩壊先の粒子が軽いほど崩壊率が大きくなることが期待されるが、Belle グループの報告では逆転している。計算は重いクォーク極限で実行することによって、発散を除去し有限の結果を得た。さらにハドロングループの構造に関係する形状因子を導入した。その結果、実験のように崩壊率が逆転することを示した。

本研究で大古田君は、Zb が 2 個の B 中間子の共鳴状態であることを、質量、崩壊、生成の観点から議論した。その中でなされた理論的な予言は実験研究者にも注目された。今後のハドロン物理学の進展において重要な貢献をすることができた。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。