

電子と陽電子が作る 3 体束縛系：ポジトロニウム負イオンの物理

東京理科大学理学部第二部物理学科 長嶋泰之

電子の反粒子である陽電子は、電子と束縛して水素原子様の束縛状態であるポジトロニウム (Ps) を形成する。 Ps は短い寿命で消滅するが、消滅までは中性原子として振舞う。 Ps に、さらにもう一つの電子が束縛して、ポジトロニウム負イオン (Ps^-) が形成されることもある。 Ps^- は水素負イオン様の束縛状態であるが、構成要素である三体がすべて等質量のレプトンであるという特徴を持つ。このことがこの分野の研究者の目には魅力的に映り、1946 年に米国の J. Wheeler によって Ps^- の存在が予測されて [1] 以来、数多くの理論的研究が行われてきた。実際に生成する実験は、Wheeler の予言から 35 年を経て Bell 研の A. P. Mills によってようやく実現した [2]。しかしその生成率は 0.028% と極めて低く、 Ps^- に関する実験的研究は 2000 年代の初めまでほとんど行われていなかった。わずかに、消滅率の測定が数例行われたのみである。

我々はアルカリ金属を蒸着したタングステンに低速陽電子を入射することによって、 Ps^- を従来よりも 2 桁高い効率で生成することに成功した [3]。このようにして生成した Ps^- を用いて、次のような研究を展開している。

- (1) Ps^- の光脱離の観測 [4]
- (2) Ps^- の光脱離を利用したエネルギー可変 Ps ビームの生成 [5]
- (3) Ps^- の形状共鳴の観測 [6]
- (4) Ps^- の束縛エネルギーの測定 [7]
- (5) Ps のコヒーレント共鳴励起の研究 [8]

以上の研究はすべて Ps^- と光子の相互作用を利用するもので、その実現のためにはパルスレーザーと同期可能なパルス状低速陽電子ビームが必要である。物構研低速陽電子実験施設で得られる低速陽電子ビームは、短パルスモードではパルス幅 10ns、繰り返し周波数 50Hz での運転が可能で、レーザー照射しながら行う実験にはうってつけである。このため上記の研究の一部は低速陽電子実験施設で実施した。

参考文献

- [1] J. A. Wheeler, Ann. New York Acad. Sci. **48**, 219 (1946).
- [2] A. P. Mills, Phys. Rev. Lett. **46**, 717 (1981).
- [3] Y. Nagashima, Phys. Rep. **545**, 95 (2014).
- [4] K. Michishio et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 153401 (2011).
- [5] K. Michishio et al., Appl. Phys. Lett. **100**, 125 (2012); Rev. Sci. Instrum. **90**, 023305 (2019).
- [6] K. Michishio et al., Nat. Commun. **7**, 11060 (2016).
- [7] K. Michishio et al., Phys. Rev. Lett. **125**, 063001 (2020).
- [8] Y. Nagata et al., Phys. Rev. Lett. **124**, 173302 (2020).