

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	希ガス原子および水素・重水素分子に関する低エネルギー電子衝突の研究
Title(English)	
著者(和文)	重村圭亮
Author(English)	Keisuke Shigemura
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10071号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:北島 昌史,河内 宣之,大島 康裕,木口 学,河合 明雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10071号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

電子-原子・分子衝突は量子力学の少数多体系における理論モデルの検証として重要であるばかりでなく、プラズマ科学や放射線化学といった種々の応用分野の基礎としての重要性から、これまで広く研究されてきた。特に低エネルギー領域における電子衝突は入射電子の持つ運動エネルギーと比較して相対的に電子の感じるポテンシャルエネルギーが大きくなるために、精密に理論モデルの検証できる系として有用である。また、超低エネルギー電子衝突では、入射電子の速度が遅くなるために相互作用の時間が長くなり、より振動・回転という核の運動の周期に近づく。そのため電子-原子・分子衝突においては核の運動が散乱の結果に現れやすい系であると考えられる。そこで本研究では基本的な原子である希ガスと水素分子を標的として低エネルギー領域の電子衝突断面積を測定し、電子-原子・分子衝突の理論モデルの検証をすることを目的とした。

一般的な熱フィラメントからの熱電子を利用する電子衝突実験では、電子生成時における熱運動に由来する電子のエネルギー拡がりのために、低い衝突エネルギーにおいては電子ビーム強度が低下するために、特に超低エネルギー領域での実験は困難であった。本研究は、放射光を用いて生成するしきい光電子を利用した。しきい光電子は生成時に運動エネルギーをほとんど持たないために、先に述べた問題点を克服できる。このしきい光電子を電子源に着目した、しきい光電子源を用いた高分解能超低エネルギー電子衝突実験装置により低エネルギー領域の全断面積測定を He, Ne などの希ガスと水素分子およびその同位体を標的として行った。また、これまでエネルギーの精度良く知られた内部標準が無い標的に対してエネルギー校正を行うことができなかったが、新たに混合ガスを標的とした電子ビーム強度の吸収測定によるエネルギー校正值決定の手法を確立することにより、 H_2 , D_2 の全断面積も精度良くエネルギー校正できた。この手法は水素分子に限らず、他の分子の共鳴構造も精度良くエネルギーを決めることのできる手法である。

実験の結果 He, Ne の電子衝突全断面積を高分解能で 10 meV を下回る領域まで測定することに成功した。超低エネルギーの領域においてもこれまでの理論計算と非常に良い一致を示すことを明らかにした。Ar, Kr, Xe といった重原子を標的とした際に見られた理論計算と実験の不一致は観測されなかったもので、重い希ガスの電子衝突における不一致はスピン軌道相互作用の計算や、電子数が多いことによる計算の複雑さといった重原子特有の原因であり、散乱問題の基本的な理論モデルの枠組みを否定するものではないことを検証するに至った。また得られた断面積に基づき、変形散乱距離理論による解析を行い、散乱長を得た。散乱長を理論計算結果と比較することで、理論計算によって得られる零エネルギー極限の情報も検証することができた。

さらに H_2 , D_2 を標的として全断面積測定を行った。3 eV の形状共鳴に由来するピーク上部でのみ両者にやや差異が見られ、 D_2 の方が形状共鳴を経由する共鳴過程の寄与がやや小さいことを示唆することができた。 H_2 全断面積測定のエネルギーの低い極限ではこれまでに存在した実験例をおおよそ再現した。 H_2 と D_2 の低エネルギー極限における差異は見られず低エネルギー極限にて期待した回転・振動という核の運動に起因する断面積差異は明確には観測されなかった。また、装置が非常に高い分解能を持つことを利用し、 H_2 , D_2 の Feshbach 共鳴に由来する非常に小さな構造を全断面積上に観測することに成功した。このエネルギー位置やエネルギー間隔を理論計算との結果と比較することで共鳴過程の理論計算の検証をも行った。共鳴過程の理論計算は非常に困難であり、最新の理論計算報告でも共鳴状態の状態計算を行っていても全断面積上に現れる構造の予測にまでは至っておらず、これからの理論計算の指針を得ることが出来た。