

Title	映像増倍管によるイオン・分子衝突の分光学的研究
Author(s)	木村, 正廣
Citation	大阪大学, 1974, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/31124
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

[3]

氏名・(本籍)	木村正廣
学位の種類	理学博士
学位記番号	第 3035 号
学位授与の日付	昭和49年3月25日
学位授与の要件	理学研究科物理学専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	映像増倍管によるイオン・分子衝突の分光学的研究
論文審査委員	(主査) 教授 堀江 忠男 (副査) 教授 川村 肇 教授 伊達 宗行 助教授 岩井 鶴二 講師 邑瀬 和生

論文内容の要旨

低エネルギーでのイオン・分子非弾性衝突をビーム交差法で分光学的に研究した。用いたイオンは H_e^+ と Ar^+ であり、標的原子(分子)は He , Ar , CO , CO_2 である。イオンのエネルギーは 0.8keV から 2.7keV であるが、その速度は原子(または分子)の外殻電子の軌道運動速度よりはるかに遅く、Massey の断熱判別式によると、 ΔE が数 eV におよぶ非断熱反応は期待できない。しかし入射イオンと標的原子(分子)とで作る準分子(quasi-molecule)のポテンシャル曲線(曲面)の間に交差点があると、この交差点を通して非断熱遷移が起こりやすく、低エネルギー領域の衝突においても比較的大きい断面積が期待される。あるいは、いったん衝突複合体の形成を経て分裂する可能性も期待される。

低エネルギーイオンと分子のビーム交差法による衝突実験での最大問題は感度の良い分光検出器の選定にある。本研究では、明るい分光器とマイクロチャンネルプレート型映像増倍管の組合せを用いることにより、100時間以上の露出時間を必要とする分光写真をわずか数分で撮ることができた。原子衝突の実験に映像増倍管を用いたのはこれが最初の試みである。用いた映像増倍管の利得は約 10^4 倍であるが、分解能はあまり高くなく (7lp/mm)、分子の回転線の解析には使用できなかったものの、原子の線スペクトルや分子のバンド・ヘッドや連続スペクトルの解析にはじゅうぶん使用できることがわかった。

たとえば、 2.7keV での $\text{He}^+ + \text{Ar}$ および $\text{Ar}^+ + \text{He}$ の衝突を $3000 \sim 6400 \text{Å}$ の波長領域で比較してみると、次のような検証がえられた。(1) 2つのスペクトルは非常に類似しており、(2) そのスペクトル線はほとんど Ar II によるものである。 Ar I はほとんど検出されなかったし、 He I も非常に弱い。(3) Ar II は $4p$ 準位からの輻射によるものが特に強い。

分離原子系 $\text{He}^+ - \text{Ar}$ および $\text{Ar}^+ - \text{He}$ 系とその併合原子 Ca^+ との関連図(correlation diagram)から $[\text{He} - \text{Ar}]^+$ 系のポテンシャル曲線を分子軌道法にもとづいて求め、ポテンシャル曲線の交差点を通

て遷移が起こると考えると、上の観測結果を説明することができる。

また、0.3keVの電子および0.8~2.7keVの He^+ および Ar^+ とCOとの衝突で生じる $\text{CO}^+(A^2\Pi, v')$ の $v' = 1 \sim 4$ の振動分布を測定した。電子衝突による振動分布はFranck-Condon係数で決定されるが、分子の振動周期より長時間の相互作用をする低エネルギーイオンとの衝突の際には、振動分布に異常性が認められた。この異常性は低速度になるほど顕著になる。この分布と低エネルギーイオン・分子衝突の振動励起機構として現在までに提唱されたいくつかのモデルとの比較を行なった。なお附録として、上記モデルのうち角運動量保存則をみたす統計モデル、すなわち長寿命の衝突複合体を經由して分裂するばあいの振動回転分布の計算を大阪大学計算センターを利用して行ない、3および4原子複合体に対する一般解を示す。

He^+ と CO_2 の衝突を3800~5900Åの波長領域で観測すると $\text{CO}_2^+(\tilde{A}^2\Pi_u \sim \tilde{X}^2\Pi_g)$ バンドと HeI の他に連続スペクトルが重なっていることがわかった。一方300eVの電子衝撃では $\text{CO}_2^+(\tilde{A}-\tilde{X})$ のみが観測され、しかも $\text{CO}_2^+(\tilde{A})$ の対称振動(ν_1)のみが励起されている。電子と異なりイオンとの衝突では $\text{CO}_2^+(\tilde{A})$ または $\text{CO}_2(\tilde{A}^1B_2)$ の折れまがり振動(ν_2)や非対称振動(ν_3)の励起が起こり、これらからの輻射が重なって連続スペクトルの様相を呈しているのではないかという推論を行なった。

論文の審査結果の要旨

粒子線交差法によって、イオン-分子非弾性衝突の分光学的観測を行うには、交差点からの光シグナルが甚だ微弱なため、実験技術上つぎの三つの要求がみたされねばならない。すなわち、(1)強力イオンビーム発生装置、(2)強力分子ビーム発生装置、(3)高感度分光ディテクター、である。しかし、衝突の種類によっては、その要求に緩急の差がある。たとえば、“高”速度イオン衝突では、発光衝突断面積が大きくなるので、(2)が最重要であり、その目的で開発されつつあるのが超音速流を利用した分子ビーム発生法である。

著者が意図する“低”速度イオン衝突では、発光衝突断面積が小さくもなるので、(3)もまた不可欠である。著者はマイクロチャンネル・プレートをダイノードとした映像増倍管を試作し、これを特に明るい分光器と組み合わせた分光ディテクター系をつくり、その性能テストを行った結果、従来50時間以上を要する露光が1分以下に短縮できること、及び原子の線スペクトル、分子スペクトルの帯頭、及び連続スペクトル等の高感度分光ディテクターとして十分役立つことが判った。

著者は荷電粒子として e^- , He^+ , Ar^+ ; 中性粒子として He , Ar , CO , CO_2 をえらびいろいろの組み合わせによるビーム交差点からの極めて微細な光シグナルを分析して、多くの知見をえた。(a)COのイオン衝撃によって現われる CO^+ の振動分布がイオンの速度と質量によって著しく変化すること、(b) He^+ とCOの衝突により C^+ の線スペクトルが発光すること、(c) He^+ と CO_2 の衝突だけが、 CO_2^+ 帯スペクトルに重なった連続スペクトルを発光すること、さらに、(d) He^+ , Ar^+ と

He, Arの組み合わせのうち、たとえば、 $\text{He}^+ + \text{Ar}$ と $\text{Ar}^+ + \text{He}$ とが全く類似のスペクトルを与えること、などを示した。とくに、 He^+ と Ar^+ とでは電離ポテンシャルに大きな違いがあるので、(d)の実験結果は一見奇異にみえるが、イオンと原子の会合した系、すなわち疑似分子 $[\text{He}, \text{Ar}]^+$ を分離原子状態と併合原子状態との内挿で求める量子力学的分子軌道論によって吟味し、各励起準位に対する電子項のポテンシャル曲線とその対称性をみちびき、それらの間のpseudocrossing理論にもとづいて(d)の意味を解明している。

要するに、著者は低速イオンと簡単な分子との非弾性衝突の分光学的研究にあたり、長期間にわたって高感度分光ディテクターの開発に努力した結果、スペクトル写真の露光時間を一万分の一以下に短縮することに成功し、多くの新らしい知見をえたことは、この方面の研究法に新らしい扉を開くものである。よって、本論文は理学博士の学位論文として十分価値あるものと認められる。