

## 原子・イオン

長田 哲夫 (明星大学理工学部)

1995年8月28日(月)から9月1日(金)までの5日間、第11回真空紫外国際会議(以下、VUV-11と略記)が立教大学(東京都豊島区)で行われた。この国際会議は3年毎に開かれ、大きく分けて(a)気体(原子, 分子, クラスター)の分光学的研究, (b)凝縮物質(固体表面, 吸着層, 液体, 生体物質など)における電子の放射場との相互作用, および(c)光源技術を含む関連装置の研究, の3つを対象にしている。今回の会議で報告された招待講演および原著報告のうち、原子に関係する部分の概要を報告したい。

VUV-11で報告された原著報告(口頭発表およびポスター発表)は全部で454件であった。それらのうち原子に関するものは43件であり、全体に占める割合は約9.5%である。ちなみに、前回パリで開かれたVUV-10での全報告数は474件、それらのうち原子関係は72件で、全体に占める割合は約15.2%である。全報告数が見かけ上は少し減っているが、ヨーロッパやアメリカの人達にとっては遠くて航空運賃が高つく上に、日本の物価が非常に高いことを考えると、むしろ予想以上に多かったと言うべきであろうか。それよりも、全体に占める原子関係の報告の割合が目立って減っていることが気になるところである。これは日本における原子分子分野がアメリカやヨーロッパにおけるよりマイナーである事を反映していると思う。

さて、原子分野の報告の内容をもう少し細かく見てみる。今、どういう研究が進展しつつあり、またどういう研究が大きな成果をあげつつあるか

は、招待講演およびトピックスのかたちで行われる口頭発表を見るとだいたい分かる。そのような話題の大きなものとしては、(1)励起または偏極原子の光イオン化過程と(2)イオンの光イオン化過程の2つが挙げられよう。その他に加えるとすると(3)しきい値現象、(4)高分解能実験、が挙げられようか。

まず、(1)に関しては1つの基調講演、2つの招待講演および6つの原著報告があった。原子の光イオン化過程を詳しく調べるためには最も基本的な断面積のほかに、放射電子の角分布とスピン偏極、および光イオンの偏極を調べる必要がある。すなわち、ある特定の状態(励起, 整列, 配向)にある標的原子に、これまた状態(直線偏光, 円偏光など)がはっきり分かっている光を当てて、断面積 $\sigma$ , 非対称パラメーター $\beta$ , スピン偏極パラメーター $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ , 整列パラメーター $A_{20}$ および配向パラメーター $O_{10}$ を決める。これによって理論のより詳細な検証が可能となり、またこれを通じて電子相関に関する詳しい知識を得ることができるので、この種の実験は完全実験と呼ばれている。

基調講演ではHeinzmann氏(Bielefeld大)がスピン偏極原子の光イオン化実験の最近の発展を報告した。また、招待講演でSonntag氏(Hamburg大)がレーザー励起原子の光イオン化の最近の発展を報告し、Kabachnik氏(Moscow大)が光イオン化における上記のパラメーターに関する全体的な話をした。これらの講演の中で出てきたもので、現在3つの研究グルー

プが競っている Li 原子に対する最近の研究はなかなかおもしろい。Hamburg グループ(B. Sonntag, N. M. Kabachnik, ほか)は, Li 原子線に対して直角な方向に直線偏光したレーザー光とこれまた直線偏光した SR 光を逆向きに走らせ, 交差領域から放射される電子の角分布を両偏光面間の角度を変えて測定する実験を行い, 理論と比較できる非常に精密な結果を 1992 年に報告している。この Li の光イオン化過程に対する関心が, 三重励起状態を二重レーザープラズマ法で初めて観測したという Kiermam 氏達の報告 [Phys. Rev. Lett. 72 (1994) 2359] でにわかに活気づき, パリ南大グループ (F. Wuilleumier, L. Journel, ほか) と PF グループ (Y. Azuma, I. A. Sellin, A. Yagishita ほか) が参入して大きな成果をあげている。理論家も大きな関心をよせているだけに, これからの進展が大いに期待される。もっとも, VUV-11 ではこれに関する原著報告がなく, 約 1 ヶ月前の XIX ICPEAC (カナダの Whistler) と VUV-11 直後の Oji セミナー(筑波)の方へ行ってしまって少しばかり寂しい気がした。

上記の完全実験を目指したものとして, Beyer 氏 (Stirling 大) 達の Ca に対する実験がある。彼らは Ca の 3p-3d 励起後の自動イオン化電子を, これで生成された  $\text{Ca}^+(4p, {}^2P)$  光イオンが放射する蛍光とのコインシデンスで測定し,  $\sigma$ ,  $\beta$ , P (偏光度) などのパラメータを決定している。Nahon 氏 (LURE 大) 達のグループはモードロックしたレーザーをパルス状 SR と結びつけて, He ( $1s3p, {}^2P$ ) 励起状態からの光イオン化実験を行い, 大きな成果をあげている。いまのところ  $1s3p, {}^2P$  状態の寿命を議論できる段階であるが, 将来は色素レーザーの使用によって断面積の測定を計画している。

もうひとつのトピックス (2) イオンの光イオン化の実験に関しては, 今まで十分な標的密度が得られないため手を出す研究者が非常に少なかっ

たが, 最近の技術の発達と SR 光の強度の格段の増加とによってようやく盛んになりつつある。Koizumi 氏 (立教大) 達は, 合流ビーム法を使って  $\text{Xe}^+$ ,  $\text{Ba}^+$  および  $\text{Eu}^+$  イオンの  $4d-(n, \epsilon)f$  巨大共鳴付近の光イオン化の相対断面積を測定した。外殻電子の数が一つ取れることによって, 励起先の f 波動関数が変わり, それが吸収スペクトルにどのような影響を与えるかが興味のあるところである。今後イオン源の改良によって 2 価イオン, 3 価イオンへと拡張される可能性をもっており, また中性原子の場合より絶対断面積の決定が容易なので今後の発展が期待される。この非常に分かりやすい正攻法に対して, Ba,  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{Ba}^{++}$  イオンの見事な吸収スペクトルを測定した Lucatorto 達のレーザープラズマ法も健在である。Kennedy 氏 (Dublin 市立大) 達はレーザー光を固体に照射して発生させた XUV 光を, 第二のレーザーで発生させた試料のプラズマ中を通過させて,  $\text{Li}^+$  イオンをはじめとするイオンの吸収スペクトルを測定し, 成功をおさめている。負イオンの光脱離に関しては Ivanov 氏 (St. Peterusuburg 大) 達の  $\text{He}^-(1s2s2p, {}^2P)$  の 2s, 2p 光脱離, および  $\text{Cr}^-$  の光脱離の計算が報告されただけで, 残念ながら実験の報告はなかった。

しきい値現象 (3), すなわちしきい値付近のイオン化における PCI 効果の研究が依然として続けられている。Hayaishi 氏 (筑波大) 達は Ar の 1s イオン化による 2~6 価イオンの生成スペクトルをしきい電子とのコインシデンス法で 1s しきい値付近で測定し, PCI 効果によるピークのずれを観測している。この PCI 効果に対しては Koike 氏 (北里大) が時間依存 PCI 理論を展開し, 段階的 Auger 崩壊における電子相関を調べている。

原子や分子の光イオン化実験をする場合の重要な要素の一つは分解能であろう。Kaindl 氏 (LBL) 達は He の  $N=3$  イオン化しきい値 (72.94 eV) に収束する 3, 1<sub>n</sub> シリーズを, ( $h\nu=64.1$  eV で)  $E/\Delta E=60,000$  という高い分解能で測定

した。彼らはピークの FWHM 約 1.0meV で  $n=24$  まで分解されたスペクトルを計算と比較していたが、今回の報告はこの測定で使った Advanced Light Source (ALS) の性能の宣伝という感じがした。そういう点から言うと、高分解能を前面に出した Krause 氏 (Ork Ridge) と S. Aksela 氏 (Oulu 大) の招待講演は物理的な内容をより多く含んだものだと思う。Krause 氏達は F, C および O 原子の共鳴シリーズを高い分解能で測定している。例えば、F 原子に対して今まで  $2s^2 2p^4(^3P)$  と  $2^2 2^4(^1D)$  に収束する二つのシリーズが知られていたが、これらに隠れて判らなかつた  $2s^2 2p^4(^1S)$  イオン化極限に収束する共鳴シリーズを初めて観測し、共鳴エネルギー、量子欠損、共鳴パラメーターを決定している。S. Aksela 氏は希ガス原子、アルカリ原子、分子に対する最近の高分解能共鳴 Auger 電子分光の測定について述べた。これによって、MCDF 計算との比較による詳細な議論が可能となり、電子相関に関する詳しい知識が得られるようになってきている。S. Aksela 氏のグループによる Auger 電子分光実験は、電子衝突で測定していた頃からの長い経験に基づいており、一つの城を築いている感がある。

原子の光吸収過程の実験的研究のうち、最も遅れているのが自然界で原子単体で殆んど存在しない非金属原子 (C, O, N, F など) と言ってよい。これらは、開殻原子であるという点で大変興味のある対象である。そういう意味で、上記の Krause 氏達の実験は大変意義深いものであると言ってよい。この種の研究としてもう一つ目をひいたのは、Plotzke 氏 (Fritz-Haber 研究所) 達の O 原子に対する放射電子の角分布 (直線二色性) の測定である。O 原子は高周波放電で生成し、 $O^+(^4S)$  の生成に対応する光電子ピークで測定している。測定精度はまだ十分とは言えないが、今後の発展が期待される。

光イオン化実験では大変基本的で重要な絶対断

面積の測定は、依然としてみんなが避けて通っている感じである。これに関しては、Whitfield 氏 (Nevada 大) 達の Xe 原子の correlation satellite 線に対する断面積測定があった。断面積の絶対測定は、地味ではあるが今後継続すべき研究であろう。

以下にいくつか私見を述べてみたい。この分野における最近の研究の一つの傾向は、理論家が実験家の得た実験結果に興味をもち、その解析に積極的に参加していることである。また、最近の計算機ソフトは非常に発達していて、エネルギー状態や振動子強度を実験家でも少し努力すると計算できるようになっている。このような計算を添えることによって実験的研究の報告が大変内容のあるものになっている。

今回の原子関係の原著報告 43 のうち、約半数の 21 が理論的研究であった。この 21 のうち、ロシアからのものが 10 編あるが、多くはポスターが貼られていなかった。現在のロシアの国情がこんなところにも反映している。

最後に、原子の分野に限らずポスターセッションのポスターについて感じたことである。最近ではコンピューターのグラフィックソフトを駆使し、配色をいろいろ工夫したり、自分の所属する大学、あるいは研究所、あるいは研究室のシンボルマークをつけたりして、大変楽しいポスターが見られるようになった。しかし問題点も多い。まず事務局がポスターについていろいろ基準を設けているにもかかわらず、これに添っていないポスターが多く見られた。表題や名前の小さいもの、字の非常に小さいものが目立つ。中には論文の原稿をそのまま貼って、本人はそこに居ないというものもあった。せっかく参加したのにとと思う。次にポスターの貼られていない空白ボードが目立ったことである。私の知人は、一番楽しみにしていたポスターが貼られていないとぼやいていた。