

【1】放射光を用いた原子分子の分光

(1) Kr_3 の TPEPICO スペクトル

図(a)に示すように、Kr のしきい光電子スペクトルは、915 Å 付近を中心とする、幅の広いバックグラウンドの上に Kr_2^+ の振動順位が乗った形をしている¹⁾。図(b)に示すように Kr_2 の TPEPICO スペクトル上に現れないことから、このバックグラウンドは Kr_3^+ や Kr_4^+ など、ダイマーより大きなクラスターの影響であると考えられたが、 Kr_3^+ や Kr_4^+ としきい光電子のコインシデンススペクトル中にこのバックグラウンドは観測されず、このバックグラウンドの同定ができないままであった。

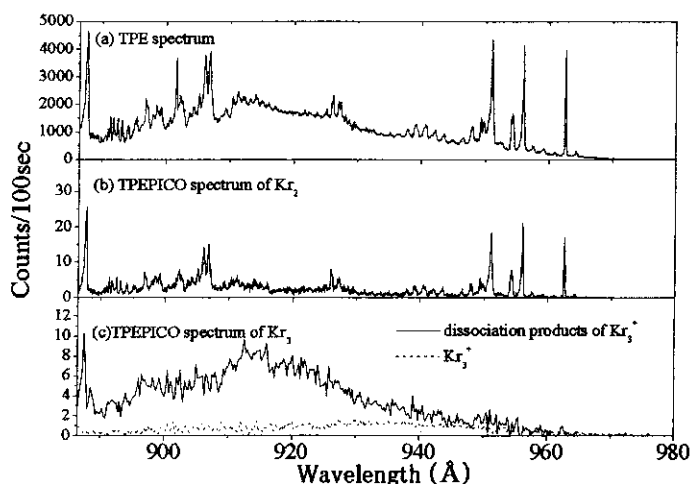
Kr_3^+ の解離エネルギーは 20 meV 程度であり、第一解離極限は $\text{Kr}_2^+(\text{A state } v' = 0) + \text{Kr}(^1\text{S}_0)$ であるので、これより高いエネルギーの領域では Kr_3^+ は解離することが考えられる。 Kr_3^+ が $\text{Kr}_2^+ + \text{Kr}$ に解離したとき、飛行時間スペクトルにおいて解離生成物は Kr_2^+ の周りに観測される。実際、 Kr_2^+ のピークのエネルギーで、ガス圧を上げながら飛行時間スペクトルを測定すると、 Kr_2^+ のピークの裾に大きなクラスターからの解離生成物によると思われる広がりが見出されるようになる。この中には Kr_3^+ からの解離生成物のほか Kr_4^+ や Kr_5^+ からの解離生成物も含まれるが、 Kr_3^+ の解離生成物が主導的であると考え、 Kr_2^+ の部分を除いた両側の裾の部分にゲートをかけ、TPEPICO スペクトルを観測した。また、 Kr^+ と Kr_2^+ の飛行時間から予想される Kr_3^+ の飛行時間の位置にもゲートをかけて、この部分の TPEPICO スペクトルも同時に観測した。

測定した TPEPICO スペクトルを右に示す。(c)が Kr_3 の TPEPICO スペクトルであり、そのうち実線は Kr_3^+ 解離生成物とのコインシデンス、波線は解離していない Kr_3^+ とのコインシデンスを示している。

Kr のしきい光電子スペクトル中に現れたバックグラウンドが Kr_3^+ の解離生成物によるものであることが分かるが、解離していない Kr_3^+ とのコインシデンススペクトルも、低いエネルギーの領域で若干盛り上がっている。これは、低いエネルギーでは安定な Kr_3^+ の生成されているが、エネルギーが高くなるとほとんどが解離していることを示している。

REFERENCE

Hall et al.; J. Phys. B 28 (1995) 2435

(2) N_2 の励起状態の寿命測定

N_2 の励起状態の寿命を測定した。実験は高エネルギー加速器研究機構内の Photon Factory BL-20A で行い、測定には PF ring のシングルバンチ運転モードを利用している。PF ring は 1 周期 312 バンチ (624 nsec) で運転しているが、シングルバンチ運転時は 1 バンチだけ光がくるので、チョッパーを使わずとも約 600 nsec まで寿命が測定できる。緩和の際に放出される発光と PF ring から来る信号を、Time to Amplitude Converter (TAC) の start と stop にそれぞれ

れ入れることによって、発光強度の時間分解測定を行っている。実際の実験では、励起光が光モニターに当たることによって生じる散乱光がMCPで検出され、寿命測定のスเปクトルに、励起光パルスのピークから約 1.5 nsec 遅れて散乱光ピークが現れている。実際に得られたスเปクトルのいくつかを図1に示す。

解析の結果、 $b' \ ^1\Sigma_u^+(v' = 7)$ が摂動による影響で寿命がのびていることや、 N_2 の最外殻(σ_{2p})の電子が $np \ \sigma$ 軌道に励起された Rydberg 状態 $c' \ ^1\Sigma_u^+$ の寿命が、主量子数 n が大きくなるにつれてのびており(図2)、 n^3 曲線との比較により、 n の3乗則が2原子分子でも近似的に成り立つことがわかった。

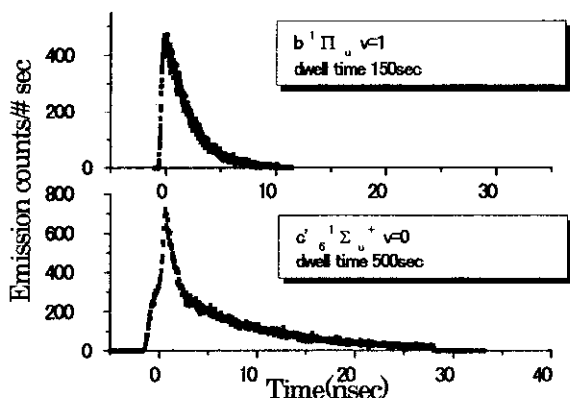


図1 $c'_6 \ ^1\Sigma_u^+$ のグラフの 1.5 nsec 付近には、反射による鋭いピークが現れている。

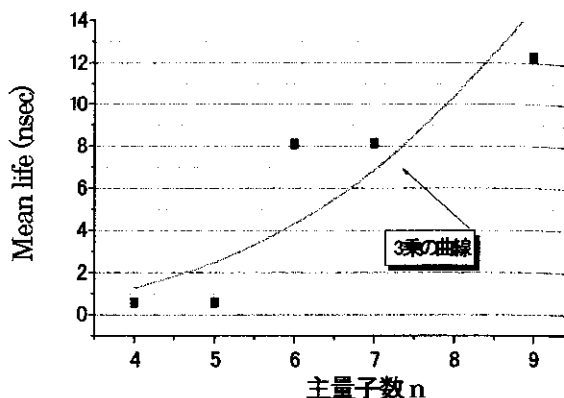


図2 $c'_n \ ^1\Sigma_u^+$ の主量子数 n に対する寿命

【2】シュタルク量子ビートを利用した高分解能分光

我々は、この10年間は、シンクロトロン放射を利用して高分解能光電子分光を行ってきた。種々の気体のイオン化準位を分解能 1 meV 以下で測定してきた。その研究過程で、ZEKE 分光法が非常に優れていると考え、これを用いてきた。この分光法は、主量子数が非常に高い状態をパルス電場でイオン化する方法である。この実験法は、主量子数が非常に高い状態の寿命が非常に長いという現象に負う。この現象は理論的にはまだ解決していない。弱い電場の中におかれた原子がなぜ寿命が長くなるか、研究する価値がある。現在、主量子数が非常に高い状態からの蛍光を測定して、寿命を測定している。

上に述べた電場中に置かれた原子(ここでは希ガス)の寿命測定と関連して、シュタルク量子ビートの研究を計画している。希ガスの励起状態は、電場を印加するとシュタルク効果によりエネルギーがシフトすると同時に、磁気量子数 M の違いによる分裂を起こす。この磁気量子数 M の違いによる分裂は、蛍光寿命測定の際のシュタルク量子ビートとして現れるであろう。シュタルク量子ビートの周波数は、分裂の幅に対応するので、直接分裂幅を測定できる。摂動論によると、この分裂幅は、電場の2乗に比例し、2次の摂動として説明できるはずである。実験結果が摂動論で説明できるかどうか興味がある。またこの分裂幅は分極率とも多少関係するので、励起状態の分極率に関する知見も得られる可能性がある。10万から20万 cm^{-1} のエネルギーを持つ蛍光の 10^{-3}cm^{-1} 分離が可能であるということも出来るので、分解能として1~2億となる。我々は、この分光法を確立し、新しい物理の実験分野(シュタルク量子ビ

トを利用した高分解能分光)を形成しようとしている。試験的に測定されたAr原子のシュタルク量子ビートを下の図に示す。

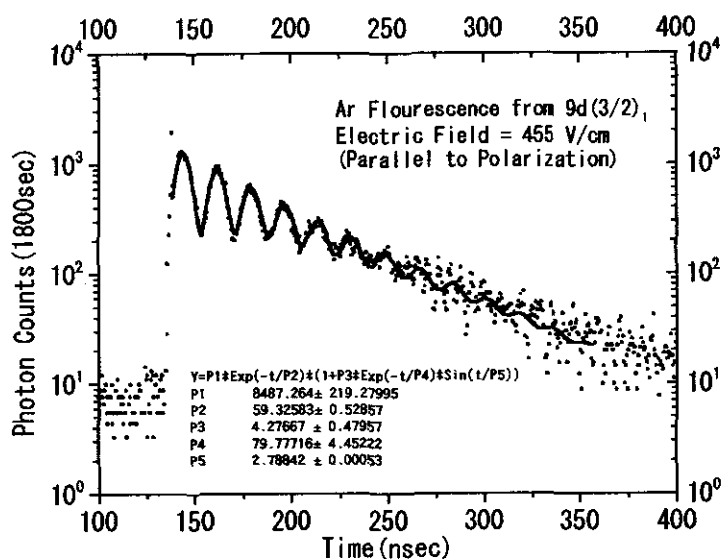


図 Ar原子のシュタルク量子ビート

【3】衝突後相互作用の研究

多段階衝突相互作用がしばしば内殻イオン化に伴うオージェカスケード過程で起こる。図Xe³⁺とXe⁴⁺イオンとしきい光電子の同時測定スペクトルを示す。イオン化極限より高いエネルギーにあるピークが衝突相互作用プロファイルである。

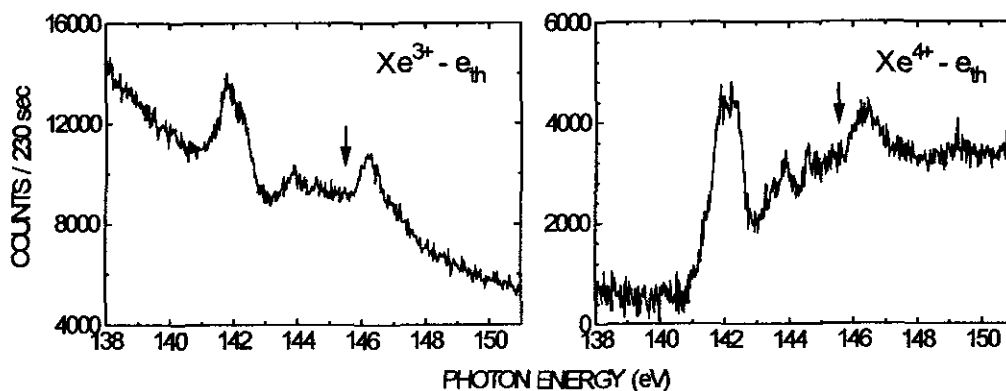


Figure 1: Yields spectra of Xe³⁺ and Xe⁴⁺ ions in coincidence with threshold electrons near the Xe 4p-shell ionization limit. Arrows indicate the 4p-shell threshold ionization limit.

<論文>

- 1) Multi-step post-collision interaction effects in K-shell photoionization of Kr, *J. Phys. B*33(2000)37-45; T.Hayaishi, Y.Fujita, M.Izumisawa, T.Tanaka, , E.Murakami, E.Shigemasa, A.Yagishita, and Y.Morioka
- 2) 放射光を用いた原子分子の ZEKE 分光、*放射光*, 13-3(2000)220-229
- 3) High-Resolution Threshold Photoelectron and Photoelectron-Photoion Coincidence Spectroscopy Using Synchrotron Radiation, Photoionization and Photo detachment, *Advanced Series in Physical Chemistry* Vol. 10A, (2000) World Scientific edited by C. Y. Ng

<報告>

- 1) T.Hayaishi, Y.Morioka: MULTI-STEP POST-COLLISION INTERACTION EFFECTS INDUCED BY AUGER CASCADES AFTER K-SHELL PHOTOIONIZATION OF Kr: Photon Factory Activity Report, 5, (1999)2000 年発行
- 2) H.Yoshii, Y.Morioka, Y.Tanaka, : Vibrational Resolved TPEPICO Spectra of ArXe: Photon Factory Activity Report, 10, (1999) 2000 年発行
- 3) T.Aoto, Y.Morioka: ROTATIONAL RESOLVED ZEKE SPECTRA OF N₂ USING SYNCHROTRON DARK GAP: Photon Factory Activity Report, 12, (1999) 2000 年発行

<学会講演>

日本放射光学会

- 1) Kr₃ の光電離過程、吉井裕、青戸智浩、森岡弓男、早石達司、伊藤健二
- 2) ZEKE 分光による N₂⁺C²Σu⁺状態の回転スペクトル、青戸智浩、吉井裕、尾沼猛儀、森岡弓男、早石達司、伊藤健二

学位論文

- 1) 物理学研究科修士(2000) 青戸智浩; Rotationally resolved ZEKE spectra of N₂