

VIII-4 気体物性グループ

教授 森岡弓男
大学院生(1名)

【1】 放射光を用いた原子分子の分光

(1) Kr の高分解能しきい光電子分光

高分解能しきい光電子分光法によって、Kr の 4s 電子イオン化に伴うサテライトスペクトルを観測した。観測されたスペクトルには 178 本のピークが見出され、そのうち 48 本は今回初めて観測されたものだった。このように多くのピークが新たに観測できたのは、半値幅約 7meV という、これまでにない高分解能を実現できたことによる。

図 1 に、今回観測されたスペクトルの一部を示す。観測されたスペクトルの形状は過去のしきい光電子スペクトル[1]とよく似ているが、高分解能光電子スペクトル[2]とは異なっている。各ピークを縦線で示しているが、このうち長い線で示したピークは今回初めて観測されたものである。図に示すように、この領域に 4 つの Rydberg 系列を観測した。このうち Kr^{2+} の基底状態である 3P_2 状態に収斂する Rydberg 系列は今回初めて観測された。観測されたのは high- n 状態なので、それらから low- n 状態を推定し、そのエネルギー準位を先行研究[2]と比較することによって、この系列は (3P) np 系列に同定された。

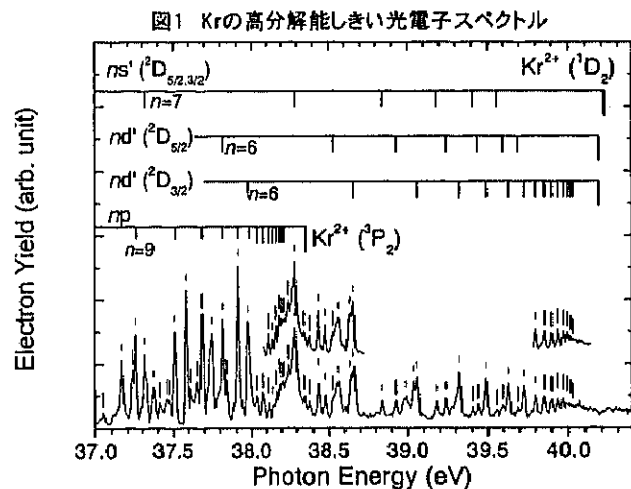
Rydberg 状態の収斂先として得られる Kr^{2+} のエネルギー準位は、光電子-光電子-コインシデンス法によって観測された値[3]とよく一致した。

references

[1] Hall *et al.* J. Phys. B 25, 377 (1992)

[2] Alitalo *et al.* J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 114-116, 141 (2001)

[3] Hall *et al.* J. Phys. B 25, 799 (1992)



(2) Stark パルス電場による量子状態の制御 (理工修士課程 榑田勲)

原子のコヒーレンスを制御することは、近年量子計算の分野で重要になってきた。Stark 効果を利用した量子状態の制御はこれまでに実現されてきた。⁽¹⁾ また、気体原子のエンタングルメントを光を利用して生成した実験も報告されている。⁽²⁾

本実験では Ar 原子の Rydberg 状態に注目し、Stark 分裂による磁気量子数 $M=0$ と $M=\pm 1$ の違いによる重ね合せ状態 $\Psi = c_0\Psi_{M=0} + c_1\Psi_{|M|=1}$ を作り出し、その状態からの量子ビートを検出することにより、量子状態の位相の測定を行った。また、Stark パルス電場の強度と時間幅を変化させることにより、2 準位間の位相差を制御することを行った。

実験と原理

実験は KEK-PF にて、直線偏光した放射光を利用した。真空チャンバー内の装置の概要を図 1 に示す。Ar ガスと入射光との交差点に Stark 電場を印加し、そこからの蛍光を MCP (Micro Channel Plate) で検出した。量子ビートの振幅が最大となるのは電場に対して 45° 方向なので、図 1 のように検出器を配置した。Stark 分裂による重ね合せ状態からの蛍光強度は、エネルギー分裂 $E_1 - E_2$ 、偏光面と電場のなす角度 θ に依存した式

$$I(\theta, t) \propto \left\{ A + B \cos \theta \sin \theta \cos\left(\frac{E_1 - E_2}{\hbar} t\right) \right\} e^{-t/\tau}$$

で表される。 τ は $18d(3/2)_1$ 状態での寿命とした。パルス電場を用いることにより、位相差

$$\Delta = \int_0^{t_p} \frac{E_1 - E_2}{\hbar} dt$$

を得るために、パルス後の蛍光強度に位相差の影響が現れる。

結果と考察

図 2 は Ar の Rydberg 状態の蛍光スペクトルである。図の上段に示されている縦線は過去の吸収実験により確認された 5 つ

の系列である。Ar 原子のエネルギー準位 $18d(3/2)_1$ からの蛍光強度が特に強いのが分かる。この準位の特徴は、

Rydberg 状態であるため比較的寿命が長いことが挙げられる。また比較のため、他の希ガスの Rydberg 準位の Stark 分裂の電場依存性を測定した。その結果、一般に希ガスの場合、数十～数千 V/cm の電場を印加しないと量子ビートは測定されなかった。しかし Ar の $18d(3/2)_1$ 状態は低い電場でも Stark 量子ビートが観測されるため、制御に適

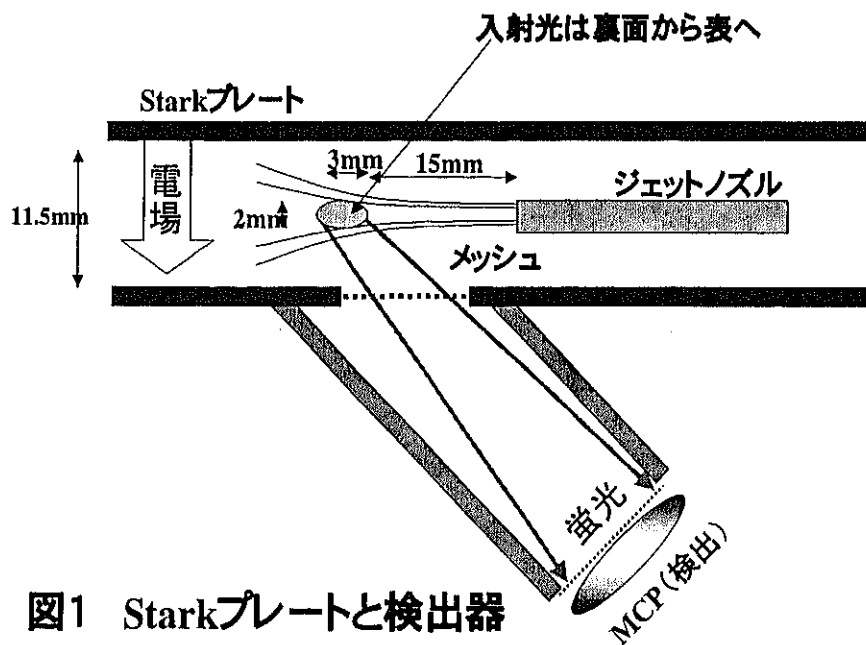


図1 Starkプレートと検出器

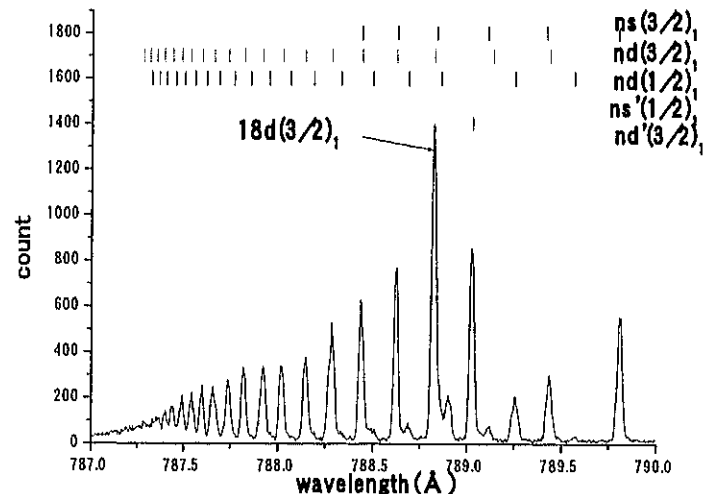


図2 Ar 蛍光スペクトル

していることが分かった。

図3(a)はArの18d(3/2)₁状態のDC電場による量子ビートのスペクトルである。比較的低い電場(数V/cm)での量子ビートが測定されることが分かる。

図3(b)、(c)は時間幅数十nsec程度の矩形パルス電場を印加したものである。時間幅および電場強度を調節することにより位相差をそれぞれ π 、 1.5π 変化させたものである。パルス電場後は通常の減衰曲線が観測されている。(b)と(c)を比較すると、パルス後の蛍光強度は異なることが分かる。これより、Starkパルス電場を利用することで2つの状態間(磁気量子数 $M=0$ と $M=\pm 1$)の、位相差を制御できることがわかった。

図3(d)はその位相差がパルス電場後も、保たれているか確認するために、パルスの間隔80nsecをもたせて、位相を π だけ2回変化させたものである。2回目のパルス電場を印加した際、再び量子ビートが現れている。したがって、電場がなく分裂していない状態で、位相差の情報が保たれていることが確認された。

まとめと今後

これまでの実験で、Arの18d(3/2)₁状態でパルス電場を利用することで量子状態の位相の制御が確認できた。

また、新たに電場の不均一さによる位相緩和現象が観測された。しかし、あまり明瞭でないので、不均一場を与えるプレートやパルス電場の発生源の改良を行い、緩和過程を明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

- [1] I. I. Ryabtsev and I. M. Beterov, Phys. Rev. A61, 063414 (2000)
- [2] B. Julsgaard, A. Kozhokin and E. S. Polzik, Nature 413, (2001) 400

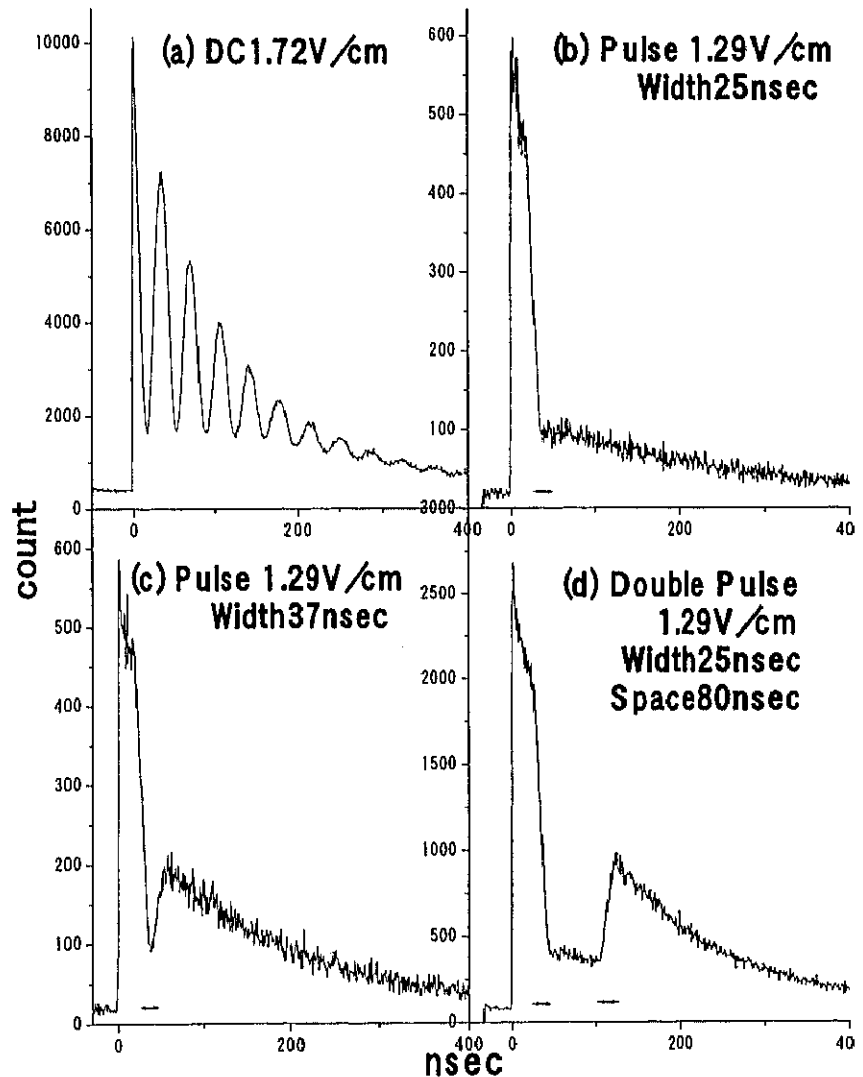


図3 蛍光強度の時間変化

研究発表

<論文>

- 1) Stark quantum beats of Ar Rydberg states, T. Aoto, I. Sakakida, H. Yoshii, T. Hayaishi and Y.Morioka, *J. Electron Spec.* 144, 47-50(2005)
- 2) High-resolution threshold photoelectron study of Kr 4s satellite states, H. Yoshii, T. Aoto, Y.Morioka, and T. Hayaishi *J. Electron Spec.* 144, 83-85(2005)

<国際会議講演>

第14回真空紫外国際会議 (オーストラリア、ケアンズ)

- 1) Stark quantum beats of Ar Rydberg states, T. Aoto, I. Sakakida, H. Yoshii, T. Hayaishi and Y.Morioka,
- 2) High-resolution threshold photoelectron study of Kr 4s satellite states, H. Yoshii, T. Aoto, Y.Morioka, and T. Hayaishi

<学会講演>

日本物理学会

- 1) Kr の高分解能しきい光電子分光、 福井大医, KEK-PF^A, 吉井裕, 青戸智浩^A, 伊藤健二^A, 筑波大物理^B, 筑波大物工^C 森岡弓男^B, 早石達司^C (2004秋)
- 2) Ar Rydberg 原子の量子状態制御、 筑波大物理, 筑波大物工^A 榎田勲, 青戸智浩, 吉井裕^A, 早石達司^A, 森岡弓男 (2004春)