

# しょうとつ



**THE ATOMIC COLLISION  
SOCIETY OF JAPAN**

## 原子衝突学会賛助会員(五十音順)

アイオーピー・パブリッシング・リミテッド (IOP英国物理学会出版局) <http://journals.iop.org/>

Institute *of* **Physics**

アステック株式会社

<http://www.astechcorp.co.jp/>

**ASTECH**  
CORPORATION

アドキャップバキュームテクノロジー株式会社

<http://www.adcap-vacuum.com>

**ADCAP**

有限会社 イーオーアール

<http://www.eor.jp/>



**Electronics Optics Research Ltd.**

株式会社 オプティマ

<http://www.optimacorp.co.jp/>

Optima Corp.

カクタス・コミュニケーションズ株式会社

<http://www.editage.jp>  
<http://www.cactus.co.jp>

**ed|tage**

Helping you get published

キャンベラジャパン株式会社

<http://www.canberra.com/jp/>

**A**

**CANBERRA**

クリムゾンインタラクティブプライベートリミテッド

<http://www.enago.jp/>  
<http://ulatus.jp/>  
<http://www.voxtab.jp/>

**enago**<sup>™</sup>

株式会社 サイエンス ラボラトリーズ

<http://www.scilab.co.jp/>



**株式会社 サイエンス ラボラトリーズ**

真空光学株式会社

<http://www.shinku-kogaku.co.jp/>



スペクトラ・フィジックス株式会社

<http://www.spectra-physics.jp/>



ソーラボジャパン株式会社

<http://www.thorlabs.jp/>



ツジ電子株式会社

<http://www.tsujicon.jp/>



株式会社東京インスツルメンツ

<http://www.tokyoinst.co.jp/>



株式会社東和計測

<http://www.touwakeisoku.co.jp/>



株式会社トヤマ

<http://www.toyama-jp.com/>



株式会社 ナバテック

<http://www.navatec.co.jp/>



仁木工芸株式会社

<http://www.nikiglass.co.jp/>



伯東株式会社

<http://www.g5-hakuto.jp/>



丸善株式会社

<http://kw.maruzen.co.jp/>



丸菱実業株式会社

<http://www.ec-marubishi.co.jp/>

**丸菱実業株式会社**

MARUBISHI CORPORATION

株式会社 ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

<http://www.labo-eq.co.jp/>



# しょうとつ

## 第11巻 第1号

### 目次

(原子衝突のキーワード) 分子回転励起の量子制御	市原 晃	...5
(原子衝突のキーワード) 魔法角	田沼 肇	...6
第40回定期総会報告	庶務幹事	...7
2013年度第2回運営委員会報告	庶務幹事	...7
第38回原子衝突学会年会報告	行事委員会	...7
第38回年会優秀ポスター賞受賞者決定	行事委員会	...9
名誉会員の選出について	庶務幹事	...9
2014年度原子衝突学会役員選挙の結果	選挙管理委員会	...10
第30回化学反応討論会のお知らせ		...10
第15回原子衝突学会若手奨励賞募集要項【締切延長のお知らせ】	庶務幹事	...11
公益財団法人 山田科学振興財団 「2014年度研究援助」候補者推薦について	庶務幹事	...11
国際会議発表奨励事業に関するお知らせ	庶務幹事	...12
「しょうとつ」原稿募集	編集委員会事務局	...12
ユーザー名とパスワード		...13

## 「原子衝突のキーワード」

### 分子回転励起の量子制御 (Quantum control of molecular rotational excitation)

分子回転制御の研究として、レーザーを用いた気体分子の配向(orientation)や整列(あるいは配列: alignment)の研究が実施されている [1]. アルカリハライド等の極性分子に直線偏光パルスを入射すると、分子の電気双極子モーメントがレーザー電場と同じ配向を取るようにトルクを受ける。また、誘起双極子モーメントを持つ等核二原子分子では、分子軸が電場と平行に整列するようトルクを受ける。

これら直線分子とレーザー場の相互作用ポテンシャル  $U$  は、分子の双極子モーメントを  $\mu$ , 分子軸に平行および垂直な分極率を  $\alpha_1, \alpha_2$ , 電場を  $E$  とすると、

$$U = -\mu E \cos \theta - [(\alpha_1 - \alpha_2) \cos^2 \theta + \alpha_2] \frac{E^2}{2} \quad (1)$$

と書ける。  $\theta$  は分子軸と電場のなす角である。(1)式からも分かるように、分子には双極子モーメントを電場方向に配向させようとする  $\cos \theta$  依存の作用が働く。一方、分極率(誘起双極子モーメント)の関与する相互作用は電場方向に分子軸を整列させようとし、  $\cos^2 \theta$  依存性を持つ。

ところで、近年のレーザー技術開発の進展に伴い、分子の回転周波数領域に対応するテラヘルツ(1 THz =  $10^{12}$  Hz)領域のパルスを、強度が 100 MW/cm<sup>2</sup> 程度まで生成可能になった。この THz パルスの分子への応用例として、周波数コム(frequency comb)と呼ばれる光学パルス列を用いた二原子分子の回転励起がある [2].

分子の回転状態を励起する直線偏光の周波数コムの電場  $E$  は、時間  $t$  の関数として

$$E(t) = \gamma \left[ 1 + 2 \sum_{j=0}^{j_{\max}-1} \cos \{2\pi f(j+1)(t-\delta)\} \right] \quad (2)$$

の周期的デルタ関数(Dirac comb)の形式で表現できる。周期は  $1/f$  で与えられる。ここで  $\gamma$  は電場の大きさ、  $f$  は周波数を決定するパラメーターであり、  $\delta$  は時間に関するオフセットである。

低温下で基底振動状態( $v = 0$ )にある二原子分子は、角運動量量子数  $J$  が小さい場合、剛体回転子として取り扱える。分子の回転エネルギー準

位は、回転定数を  $B$  として原子単位を用いて  $2\pi B J(J+1)$  で与えられ、隣接回転準位間の遷移周波数は  $2B$  の整数倍となる。従って、(2)式中のパラメーター  $f$  を  $2B$  に設定し、コムのスペクトル周波数を分子の回転遷移周波数に一致させることにより、コムのパルス列を用いて分子の回転状態を励起させることができる。(2)式から分かるように、コムの歯を形成するパルスは  $1/f = 1/(2B)$  の時間間隔で分子に入射する。一方、分子の回転エネルギーは  $2\pi B J(J+1)$  であり、  $J = 0$  を除く回転の位相周期は  $2B$  の自然数倍の逆数で与えられる。従って、各回転状態が全て最初にパルスを受けた時と同じ位相に回復(revival)した時刻において分子にパルスが照射されることになる。この規則的なパルス列照射により回転状態遷移が誘起され、コヒーレント(coherent)な回転励起が引き起こされる。

図 1 に例として、緊密結合計算による、LiCl 分子(初期状態  $v = 0, J = 0$ )の回転状態分布の時間変化を示す。分子の受ける相互作用は(1)式中の第一項の双極子モーメントとコム電場の内積で与え、  $\mu = 2.50 \times 10^{-29}$  C·m,  $B = 0.0213$  THz, ピーク電場  $7.37 \times 10^4$  V/cm,  $j_{\max} = 20$ ,  $\delta = 1/(4B)$  に設定した。パルスが照射される毎に回転状態の分布が高  $J$  側に移動していく様子が確認できる。

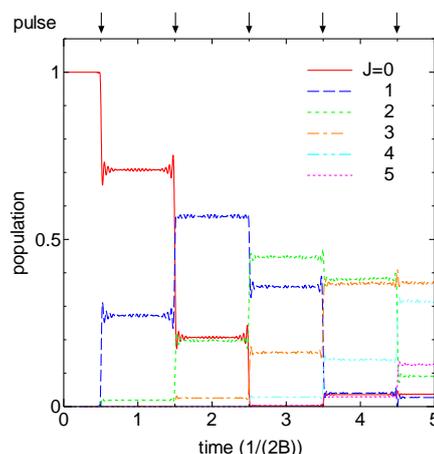


図 1: 周波数コム照射による LiCl 分子(初期状態  $v = 0, J = 0$ )の回転状態分布の時間変化。

(日本原子力研究開発機構 市原 晃)

### 参考文献

- [1] 例えば J. Salomon *et al.*, *J. Chem. Phys.* **123**, 144310 (2005).
- [2] L. Matsuoka *et al.*, *J. Korean Phys. Soc.* **59**, 2897 (2011).

## 「原子衝突のキーワード」

### 魔法角 (magic angle)

超常現象を認めないはずの自然科学の中にも魔法 (magic) と名の付く言葉は少なくない。手品という意味の “magic” なのかも知れないが、日本語では “魔法” と訳される。様々な魔法が蔓延する科学の中で、魔法の角度は 2 次の Legendre 多項式  $P_2(\cos \theta)$  がゼロになる角度として定義されている。  $P_2(\cos \theta) = (3 \cos^2 \theta - 1)/2$  であるから、  $\theta = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 54.7356^\circ$  である。

電子励起された原子や分子から光子や電子が放出される時、その強度は放出方向に依存する。励起状態を生成するには、光照射・電子衝突・イオン衝突など、明確な方向を持った一次粒子をビームとして標的に衝突させることが多い。このビームの進行方向を量子化軸として励起状態を記述するのが通常の方法であるから、この軸からの角度を  $\theta$ 、軸周りの角度を  $\phi$  として、放出方向を  $(\theta, \phi)$  で記述することができる。

励起状態からの光子放出の場合、始状態と終状態を指定した放出角度分布は、放出光の偏光度を区別しないならば電気双極子近似の下、球面調和関数で展開され次式で与えられる [1] :

$$I(\theta, \phi) = \frac{I_0}{4\pi} \left[ 1 + \sqrt{\frac{4\pi}{5}} \alpha_2 \sum_{q=-2}^2 A_{2q} Y_{2q}(\theta, \phi) \right]. \quad (1)$$

ここで  $\alpha_2$  は始状態および終状態の角運動量によって定まる定数、  $A_{2q}$  はアラインメント・パラメータと呼ばれ励起状態の磁気副状態分布によって決定される物理量である。しかし、励起状態が量子化軸について円筒対称性を持つのであれば、式 (1) は簡単な次式となる :

$$I(\theta) = \frac{I_0}{4\pi} \{1 + \alpha_2 A_{20} P_2(\cos \theta)\}. \quad (2)$$

多重励起状態や内殻励起状態からの電子放出の場合も、量子化軸について円筒対称性を持つとき、双極子近似における角度分布は

$$I(\theta) = \frac{I_0}{4\pi} \left\{ 1 + \sum_{k=2,4,\dots}^{k_{\max}} \alpha_k A_{k0} P_k(\cos \theta) \right\}, \quad (3)$$

で与えられるが、実際には最低次の項だけを取って、式 (2) と同じ形のものが用いられることが多い。ただし、電子分光の分野では  $\alpha_2 A_{20}$  を  $\beta$  と置くのが一般的であり、しばしば  $\beta$  パラメータと呼ばれている。

$\alpha_2 A_{20}$  あるいは  $\beta$  の測定は、観測角度を変化させながら強度分布を測定するのが直接的であるが、  $\theta = 90^\circ$  などの固定した角度でも、条件が整えば可能である [2]。これらは励起状態の詳細な情報を与えるものであり、ダイナミクス研究の立場からも非常に重要である。しかし、  $P_2(\cos \theta) = 0$  となる魔法角においては、その重要な  $A_0$  も  $\beta$  も全く意味を持たない。その代わりに、魔法角では強度の絶対値である  $I_0$  が直接測定できるという非常に重要な特徴がある。そのため、断面積の絶対値測定には魔法角は非常に重用である。また、磁気副状態分布に偏りがあった場合であっても、全く偏光度を持たない光が観測されることは注目に値する。

式 (2) を全立体角について積分すると  $I_0$  になることから判るように、この式における  $I_0$  は光放出あるいは電子放出の部分断面積  $\sigma$  に等しい。このため、角度分布  $I(\theta)$  ではなく、微分断面積に対する式として

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = \frac{\sigma}{4\pi} \{1 + \alpha_2 A_{20} P_2(\cos \theta)\}, \quad (4)$$

のように表示されることも多い。

実際の実験では、量子化軸から正確に  $54.7356^\circ$  の方向に検出器を設置することは難しく、角度分解能も有限であるから “魔法角近傍での測定” と呼ぶのが正確であるが、暗黙の了解で “魔法角における測定” と記述されている。

(首都大学東京 田沼 肇)

### 参考文献

- [1] V. V. Balashov *et al.*, 'Polarization and Correlation Phenomena in Atomic Collisions', (Kluwer, New York) 2003, p.117.
- [2] U. Fano and J. H. Macek, Rev. Mod. Phys., **45**, 553 (1973).

---

## 2013 年度 役員・委員会等

### 会長

高橋正彦（東北大学）

### 幹事

渡部直樹（北海道大学）（副会長）                      森下 亨（電気通信大学）

足立純一（高エネルギー加速器研究機構）              星野正光（上智大学）

### 運営委員

足立純一（高エネルギー加速器研究機構）              岸本直樹（東北大学）

小島隆夫（理化学研究所）                                  富田成夫（筑波大学）

日高 宏（北海道大学）                                      渡部直樹（北海道大学）

渡辺 昇（東北大学）    東 俊行（理化学研究所）

岡田邦宏（上智大学）    小田切丈（上智大学）

佐甲徳栄（日本大学）    城丸春夫（首都大学東京）

星野正光（上智大学）    中村信行（電気通信大学）

森下 亨（電気通信大学）

### 常置委員会等

編集委員会    委員長： 渡部直樹（北海道大学）

行事委員会    委員長： 森下 亨（電気通信大学）

広報渉外委員会    委員長： 足立純一（高エネルギー加速器研究機構）

若手奨励賞選考委員会    委員長： 大野公一（豊田理化学研究所）

国際会議発表奨励者選考委員会                                      委員長： 高橋正彦（東北大学）

学会事務局    担当幹事：星野正光（上智大学）

### 編集委員会

足立純一，岸本直樹，長嶋泰之，中井陽一，羽馬哲也，早川滋雄，日高 宏

森林健悟，渡部直樹

---

しょうとつ 第11巻 第1号 （通巻 56 号）

Journal of Atomic Collision Research

©原子衝突学会 2014

<http://www.atomiccollision.jp/>

発行: 2014 年 1 月 15 日

配信: 原子衝突学会 事務局

<acr-post@bunken.co.jp>