

「核融合プラズマからプロセスプラズマまで—プラズマ中の原子過程」研究会
平成18年8月24日～25日 @核融合研

衝突輻射モデルと 原子分子データベース

村上 泉

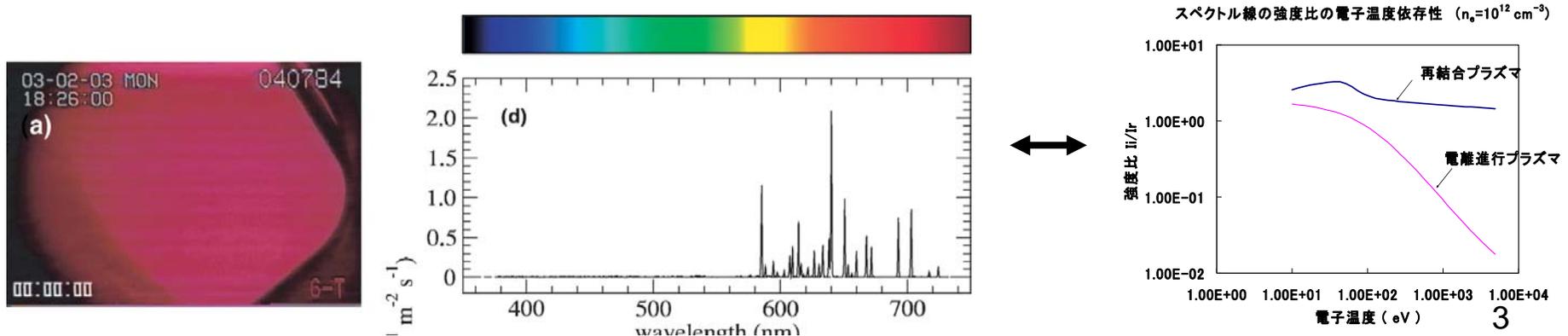
核融合科学研究所 連携研究推進センター
原子分子データ研究室

目次

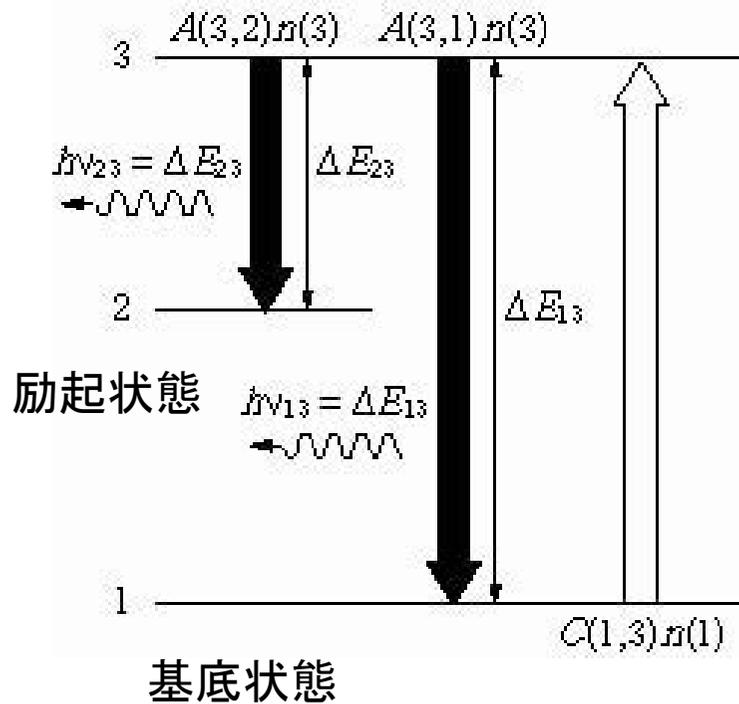
- I. 衝突輻射モデル
- II. 原子分子データベース

1.衝突輻射モデルとは

- プラズマを分光計測して得られた原子や分子、イオンのスペクトル線強度を解析するために、スペクトル線強度とプラズマパラメータ(電子密度、電子温度等)の関係を求めるモデルのひとつ。
- スペクトル線強度比から電子温度や電子密度を求めることができる。



2. スペクトル線



発光線の波長 = 原子に固有

<波長表>

例: NISTデータベース

原子は固有な離散的なエネルギー準位を持つ

発光は、

1. 電子が基底状態から励起され、 $(C(1,3)n(1))$
2. 放射遷移で差分のエネルギーを光として放出して下の準位へおける

$$h\nu = \Delta E = hc/\lambda \quad \langle \text{発光線} \rangle$$

3から1への遷移

自然放出確率 = A係数 $A(3,1)$

上準位3の励起原子の占有密度 $n(3)$

(電子が3の状態に存在するものの割合
“ポピュレーション”)

発光線強度 $A(3,1)n(3)$

単位体積単位時間あたりの光子の放出回数

3. スペクトル線発光強度の導出

- スペクトル線の発光強度を求める
→ 発光の上準位 i の電子占有密度 (ポピュレーション) $n(i)$ を求める
→ 準位 i へのポピュレーションの流れ (流入と流出) を調べる。
- 最も簡単な考え方: **コロナモデル**
流入 = 基底状態からの電子衝突励起
流出 = 放射遷移
- 現実的なモデル: **衝突輻射モデル**
準位間の電子衝突励起等を考慮

4. コロナ平衡(1)

- 基底状態からの電子衝突励起と放射遷移がつりあう。

- 流入項 = $C(1,3)n_e n(1)$

$C(1,3)$: 電子衝突励起速度係数

n_e : 電子密度

$n(1)$: レベル1の電子占有密度

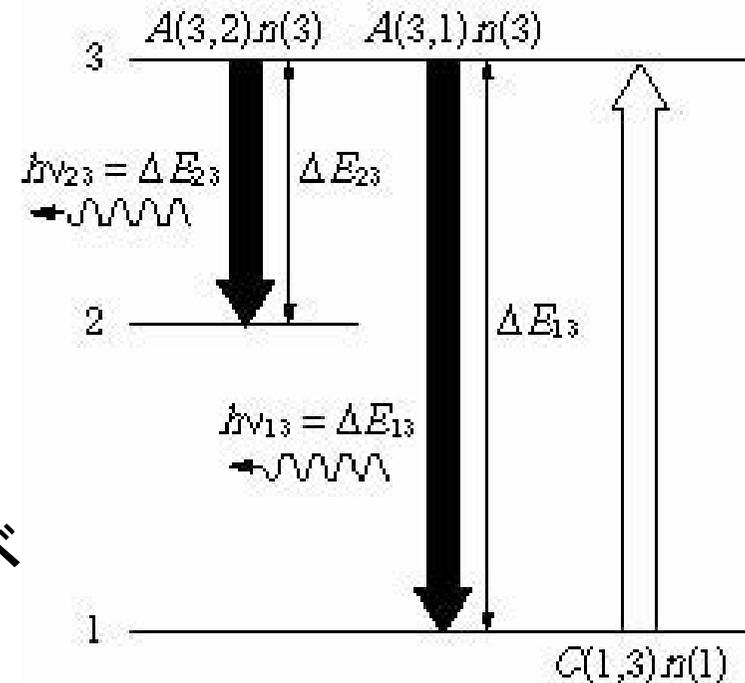
- 流出項: $[A(3,1)+A(3,2)]n(3)$

$A(3,1), A(3,2)$: レベル3からレベル1(2)への放射遷移確率

$n(3)$: レベル3の電子占有密度

- 流入 = 流出

$$n(3) = C(1,3)n_e n(1) / (A(3,1)+A(3,2))$$



4. コロナ平衡(2)

- 電子密度の低いプラズマではよい近似。
(励起状態からの電子衝突が重要ではないプラズマの場合)
- 電子密度の高い実験室プラズマでは実験とあわない。
例:LHDで測定されたHe glow放電の分光スペクトルとコロナ平衡モデルのスペクトル
- →基底状態以外に対する電子衝突過程が重要になってくる
→「衝突輻射モデル」

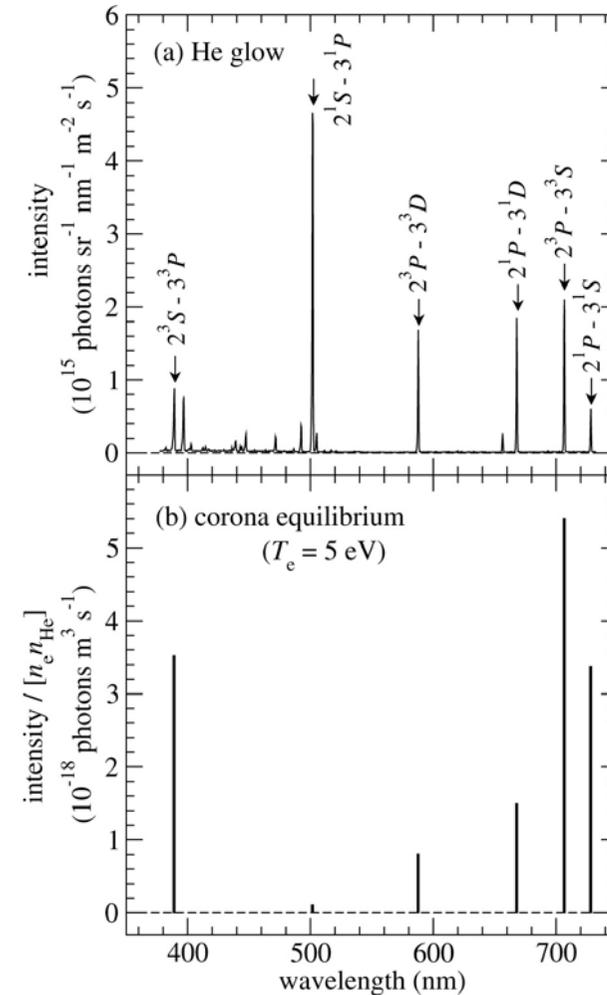
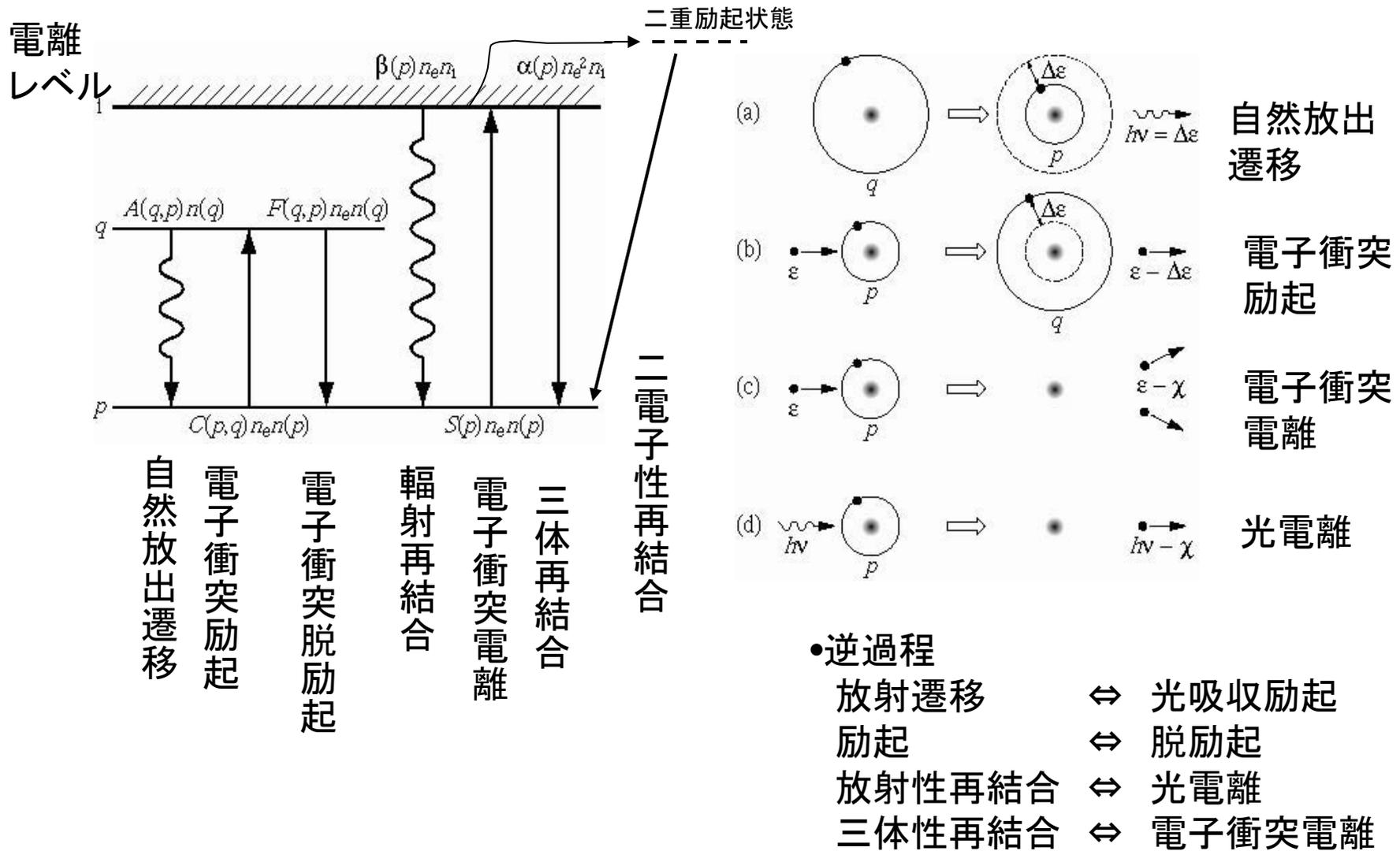


Fig. 4 Comparison of the intensities of the representative six emission lines in Fig. 1(e) with those calculated on the assumption of corona equilibrium with the electron temperature of 5 eV.

5. 衝突輻射モデルと原子過程

- 励起状態からの電子衝突過程が、基底状態からのものと比較して重要となるプラズマの場合、「衝突輻射モデル」でポピュレーションを考える。
- 流入と流出にかかわる様々な原子過程を考慮する。

6. 原子過程(1)



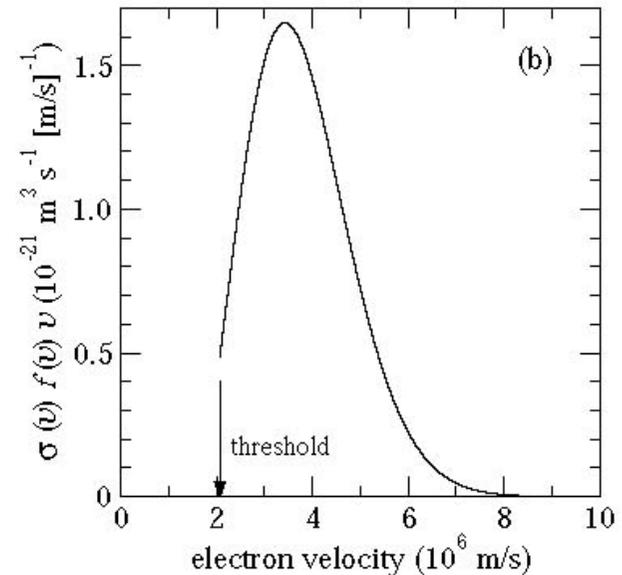
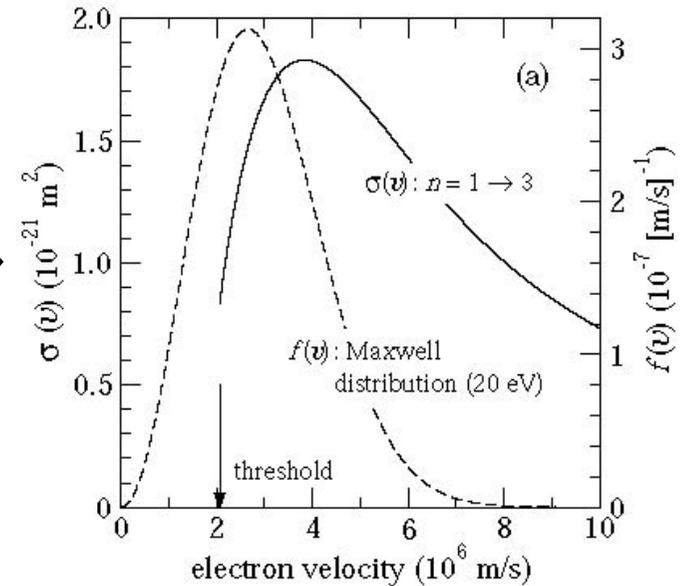
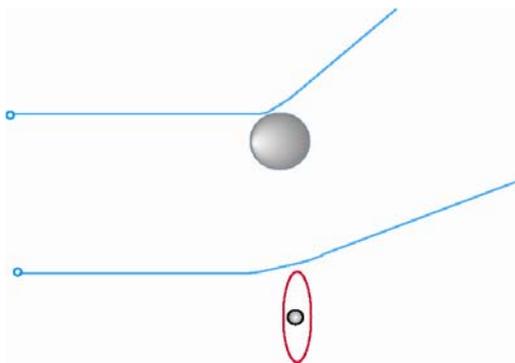
6. 原子過程(2) 断面積と速度係数

- 電子衝突励起断面積: 衝突励起が起こる確率を断面積としてあらわす。
- 電子衝突励起速度係数: 励起断面積を、電子の速度分布(Maxwell分布...一様等方)で積分する。

$$C(q, p) = \int_0^{\infty} \sigma_{qp}(v) f(v) v dv$$

$$f(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)$$

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$



6.原子過程(3)

- 断面積、反応速度係数のデータが必要
実験によって得られたデータはほとんどないので、理論計算データか、評価済みデータを論文から探してくる必要がある。
⇒データベースが便利
- 文献データベース
NIFS AM, ORNL: <https://dbshino.nifs.ac.jp>
IAEA AMBDAS : <http://www-amdis.iaea.org/AMBDAS>
- 数値データベース
NIFS AMDIS: <https://dbshino.nifs.ac.jp> (電子衝突電離、励起、再結合)
IAEA GENIE: <http://www-amdis.iaea.org/GENIE/> (電子衝突電離、励起、波長)
- データが無い場合: 経験則などを用いる
電子衝突電離: Lotz の式
電子衝突励起: Meweの式 など

7. 衝突輻射モデルの構築

- 励起準位 p のポピュレーションの流れ

$$dn(p)/dt = \Gamma_{in} - \Gamma_{out} = \text{流入項} - \text{流出項}$$

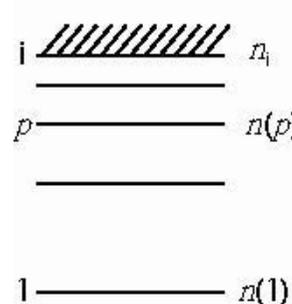
$$\Gamma_{in} = \sum_{q < p} C(q, p) n_e n(q) + \sum_{q > p} \{F(q, p) n_e + A(q, p)\} n(q) + \{\beta(p) + \alpha(p) n_e\} n_e n_i$$

下からの電子衝突励起 上からの電子衝突脱励起と放射遷移 イオンからの再結合

$$\Gamma_{out} = [S(p) n_e + \sum_{q > p} C(p, q) n_e + \sum_{q < p} \{F(p, q) n_e + A(p, q)\}] n(p)$$

電子衝突電離 上へ電子衝突励起 下へ電子衝突脱励起と放射遷移

- 定常近似 $dn(p)/dt = 0 \rightarrow$ 基底状態を除く励起準位に対する式による連立方程式

$$\begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n(2) \\ \cdot \\ n(p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix} n(1) + \begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix} n_i$$


解の形:

$$n(p) = R_0(p) n_e n_i + R_1(p) n_e n(1) = n_0(1) + n_1(p)$$

8. 衝突輻射モデルの式の例

- 3準位だけあると仮定。基底状態 $n(1)$ は、定常近似が使えないので、解かない。

$$0 = \frac{dn(2)}{dt} = C(1,2)n_e n(1) + \{F(3,2)n_e + A(3,2)\}n(3) + \{\beta(2) + \alpha(2)n_e\}n_e n_i - \{S(2)n_e + C(2,3)n_e + F(2,1)n_e + A(2,1)\}n(2)$$

$$0 = \frac{dn(3)}{dt} = C(1,3)n_e n(1) + C(2,3)n_e n(2) + \{\beta(3) + \alpha(3)n_e\}n_e n_i - \{S(3)n_e + F(3,1)n_e + F(3,2)n_e + A(3,1) + A(3,2)\}n(3)$$

- $$C(1,2)n_e n(1) + \{\beta(2) + \alpha(2)n_e\}n_e n_i = \{S(2)n_e + C(2,3)n_e + F(2,1)n_e + A(2,1)\}n(2) - \{F(3,2)n_e + A(3,2)\}n(3)$$

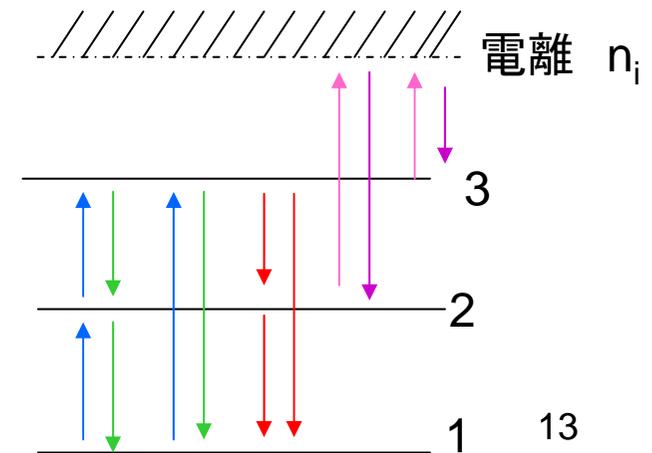
$$C(1,3)n_e n(1) + \{\beta(3) + \alpha(3)n_e\}n_e n_i = -C(2,3)n_e n(2) + \{S(3)n_e + F(3,1)n_e + F(3,2)n_e + A(3,1) + A(3,2)\}n(3)$$

$$\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \end{pmatrix} n(1) + \begin{pmatrix} b1 \\ b2 \end{pmatrix} n_i = \begin{pmatrix} M11 & M12 \\ M21 & M22 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n(2) \\ n(3) \end{pmatrix}$$

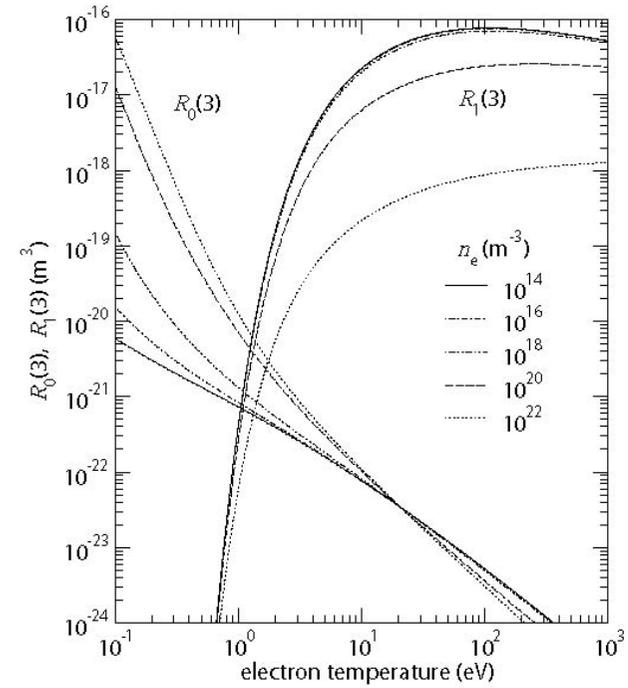
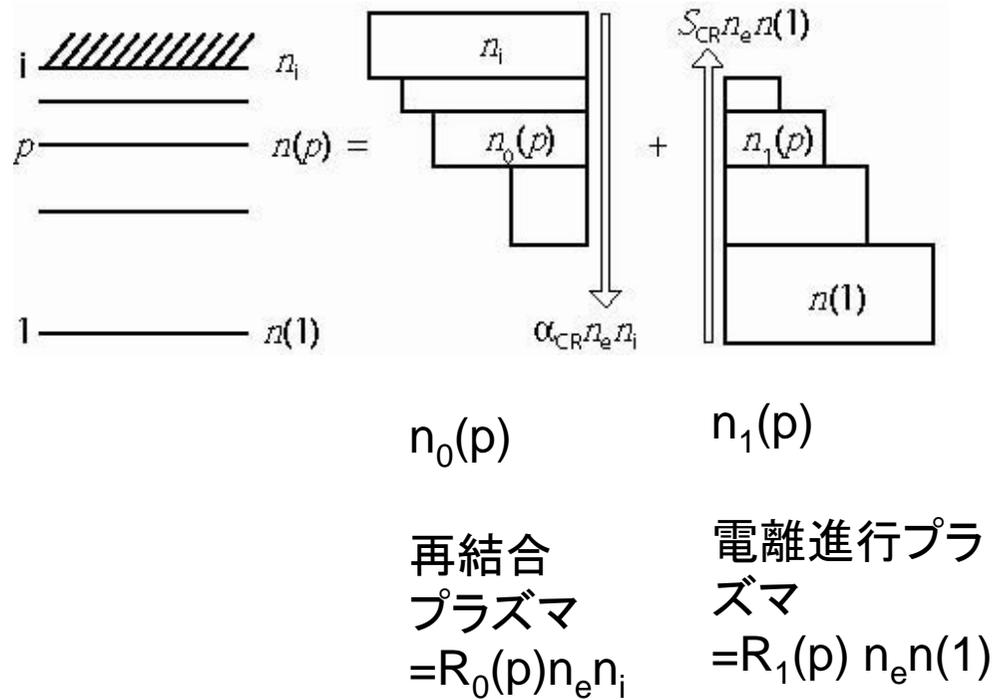
$$n(1)\vec{a} + n_i\vec{b} = M\vec{n} = M(\vec{R}_0 n_i + \vec{R}_1 n(1))$$

$$\vec{R}_0 = M^{-1}\vec{b},$$

$$\vec{R}_1 = M^{-1}\vec{a}$$



9.衝突輻射モデルの解の構成



ポピュレーション係数の電子温度依存性
(水素、 $p=3$ の準位の場合)

10. 電離進行プラズマ(1)

- 励起準位のポピュレーションが近似的に基底状態原子密度に比例する項だけで表されるとき。

$$n(p) = R_1(p)n_e n(1)$$

- 水素および水素様イオンの場合、十分高い電子密度では、

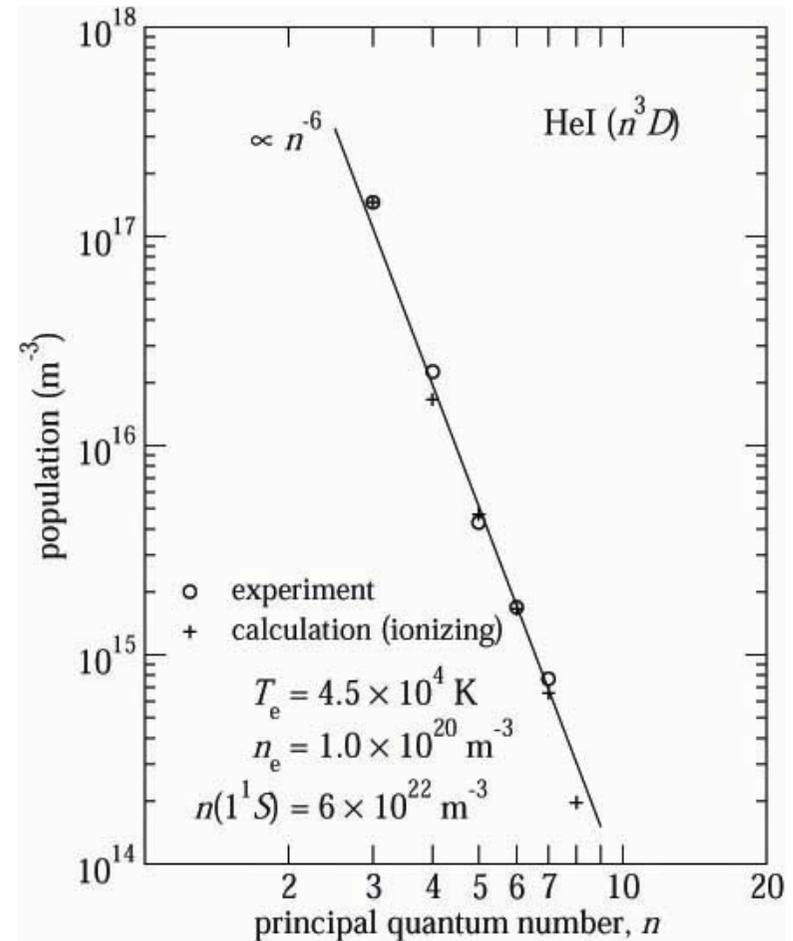
$$n(p) / g(p) \propto p^{-6}$$

(p は主量子数)

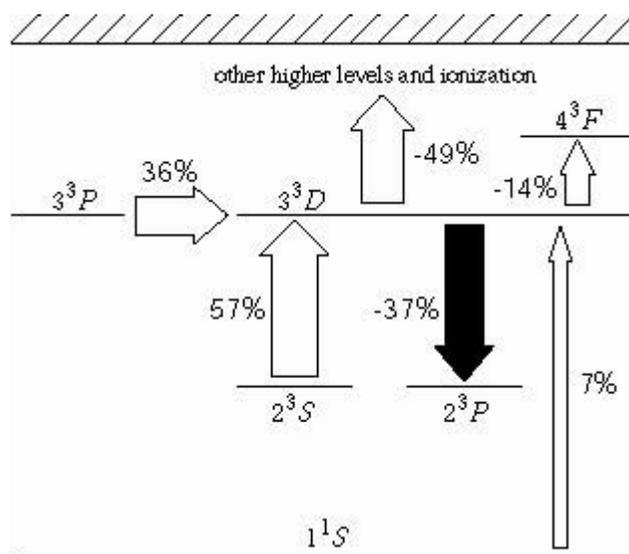
- 例えば、ヘリウムの場合

$$n(n^{2S+1}L) \propto n^{-6}$$

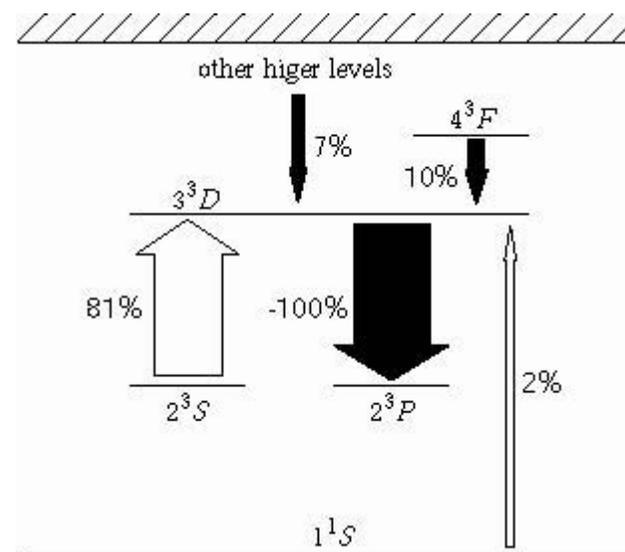
(n は主量子数)



10. 電離進行プラズマ(2)



ヘリウム、 3^3D 準位のポピュレーションの流れ
 $T_e=50\text{eV}$, $n_e=5 \times 10^{18}\text{m}^{-3}$
 コロナ平衡とは異なっている



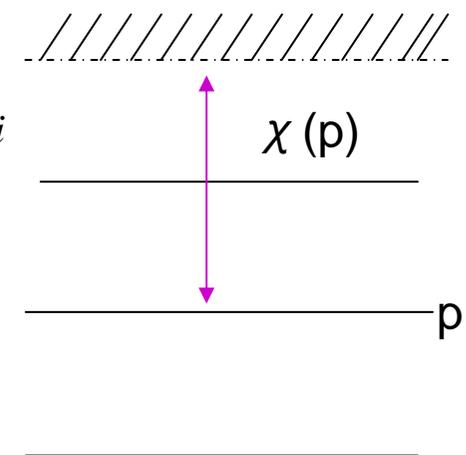
ヘリウム、 3^3D 準位
 $T_e=2.5\text{eV}$, $n_e=10^{15}\text{m}^{-3}$
 2^3S からの流入が支配的

11. 再結合プラズマ(1)

- 励起準位のポピュレーションがイオン密度に比例する項のみで表されるような場合
 $n(p) = R_0(p) n_e n_i$
- 高励起準位のポピュレーションがサハ・ボルツマン分布になる

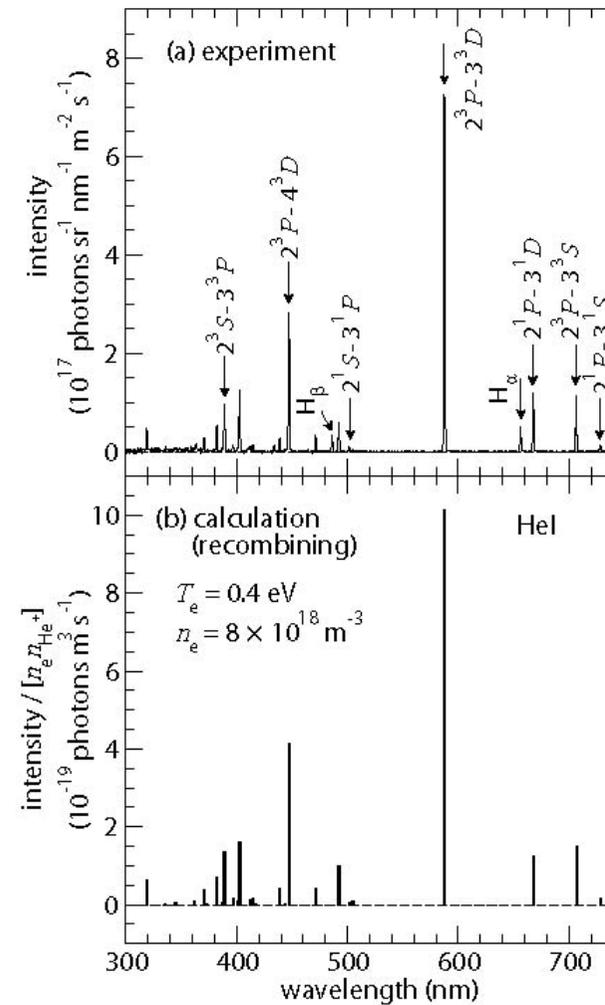
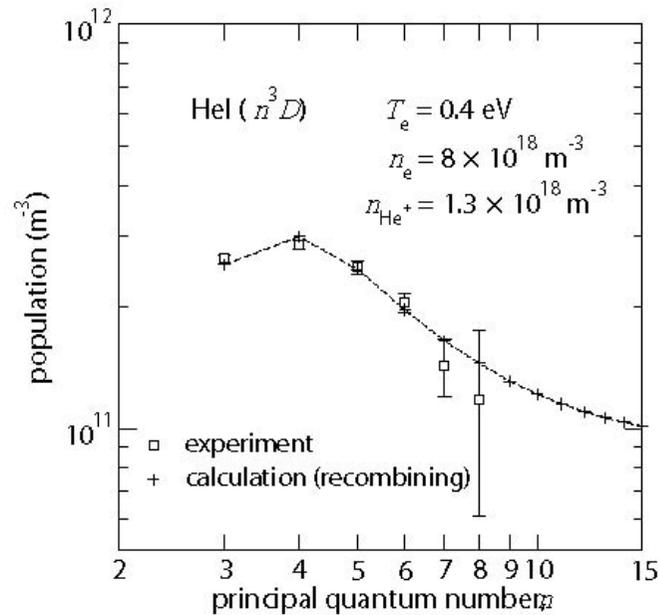
$$n(p) = \frac{g(p)}{2g_i} \left(\frac{h^2}{2\pi m k T_e} \right)^{3/2} \exp \left[\frac{\chi(p)}{k T_e} \right] n_e n_i$$

$\chi(p)$... Ionization potential



11. 再結合プラズマ(2)

LHDの主放電で、プラズマが消滅する直前に計測されたスペクトル
 $T_e = 0.4 \text{ eV}$, $n_e = 8 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$



12. 基底状態のポピュレーションは？

- n_i と $n(1)$ に関するレート方程式を時間発展で解く

$$\begin{aligned} \frac{dn(1)}{dt} &= -S_{cr}n_en(1) + \alpha_{cr}n_en_i \\ &= -\frac{dn_i}{dt} \quad (\text{水素原子の場合}) \end{aligned}$$

S_{cr} , 衝突輻射電離速度係数、

α_{cr} , 衝突輻射再結合速度係数

- $\frac{dn(1)}{dt} = \Gamma_{in} - \Gamma_{out} = \text{流入項} - \text{流出}$

$$\Gamma_{in} = \sum_{q>1} \{F(q,1)n_e + A(q,1)\}n(q)$$

$$+ \{\beta(1) + \alpha(1)n_e\}n_en_i$$

$$\Gamma_{out} = [S(1)n_e + \sum_{q>1} C(1,q)n_e]n(1)$$

$$n(q) = R_1(q)n_en(1) + R_0(q)n_en_i$$

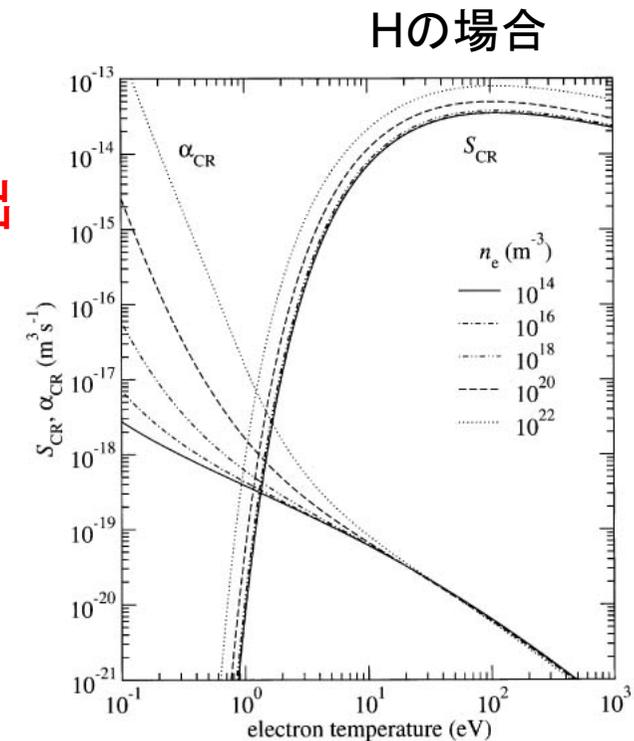


Fig. 6 Dependences of α_{CR} and S_{CR} on T_e and n_e . Quoted from Ref.[10].

13. スペクトル線強度比とプラズマパラメータ

- 衝突輻射モデルを用いて、スペクトル線強度の電子温度、電子密度依存性を求めることが出来る。
→ スペクトル線強度比を使うことによって、逆に、電子温度や密度を評価することが出来る。
* スペクトル線強度比を使うと、イオン密度 ($n_0(1)$ や n_i) が未知でもかまわない。

例：電離進行プラズマの場合

$$\begin{aligned} I_1(p,q)/I_1(p',q') &= n_1(p)A(p,q)/\{n_1(p')A(p',q')\} \\ &= R_1(p)n_e n(1)A(p,q)/\{R_1(p')n_e n(1)A(p',q')\} \\ &= R_1(p)A(p,q)/\{R_1(p')A(p',q')\} \end{aligned}$$

14. 衝突輻射モデルの例: He様炭素イオンについて(1)

- He様炭素イオン CV の衝突輻射モデル:
Fujimoto & Kato Ap.J. 246, 994 (1981); Phys. Rev. A
30, 379 (1984)
- Levels: $n \leq 20$ をモデルで解く。(nは主量子数)
 $n \leq 7$ $1snl^{2S+1}L$ (unresolved with J except for $1s2p^3P_J$
 $J=0,1,2$)
(l =方位量子数(軌道角運動量); L =全軌道角運動量量子
数; S =全スピン角運動量量子数; J =全角運動量量子数)
 $8 \leq n \leq 10$ singlet ($S=0$) and triplet ($S=1$);
 $10 < n \leq 20$ n (hydrogenic近似)
 $21 \leq n \leq 24$ LTE (局所熱平衡仮定)
- 原子過程: 自然放射、電子衝突励起・脱励起、電子衝突電
離、輻射再結合、三体再結合、二電子性再結合を考慮

14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(2)

- 原子構造: 分光記号

$l=0,1,2,3,4,5..$

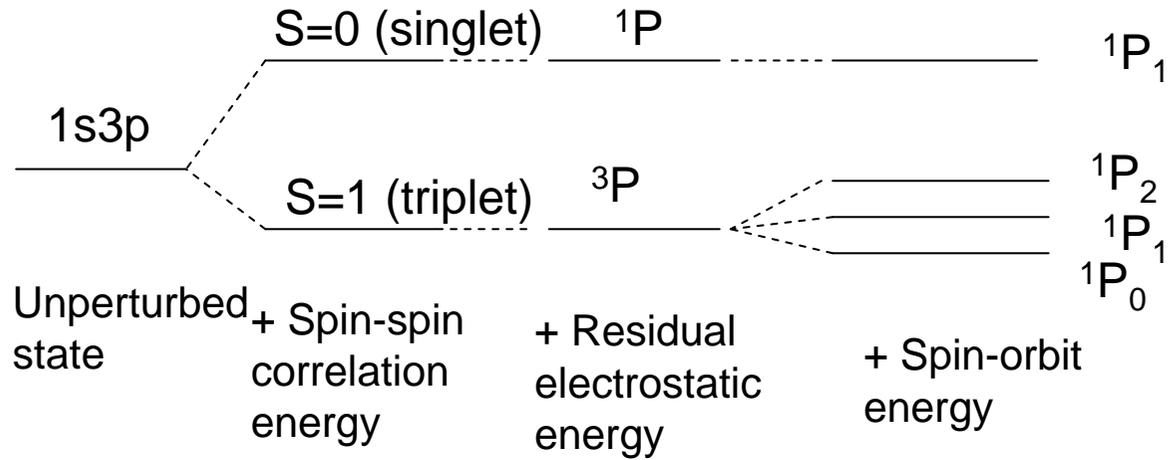
$= s,p,d,f,g,h..$

$0 \leq l \leq n-1;$

角運動量 - LS結合

$L=0,1,2,3,4,5...$

$= S,P,D,F,G,H,,$



$$L = \sum l_i, \quad S = \sum s_i, \quad J = L + S$$

	n	l
1s	1	0
2p	2	1
3d	3	2

例

n^2S+1L_J	n	l	L	S	J
$1s^1S_0$	1	0	0	0	0
$2s^3S_1$	2	0	0	1	1
$3p^2P_{3/2}$	3	1	1	$1/2$	$3/2$
$4d^2D_{1/2}$	4	2	2	$1/2$	$1/2$

14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(3)

- 共鳴線 $1s^2\ ^1S_0 - 1s2p\ ^1P_1$

Intercombination line $1s^2\ ^1S_0 - 1s2p\ ^3P_1$ について

基底状態からの電子衝突励起速度係数の温度依存性が、 $1s2p\ ^1P_1$ と $1s2p\ ^3P_1$ では異なる。→ 発光強度比の温度依存性が出てくる。

- 準安定準位 $1s2s\ ^3S$ の存在

(基底状態への放射遷移が小さいため、ポピュレーションが大きい。この存在により、密度依存性が現れる。)

$$1s^2\ ^1S_0 - 1s2p\ ^1P_1\ (40.27\ \text{\AA})\quad A=8.873\times 10^{11}\ (\text{s}^{-1})$$

$$1s^2\ ^1S_0 - 1s2p\ ^3P_1\ (40.73\ \text{\AA})\quad A=2.62\times 10^4\ (\text{s}^{-1})$$

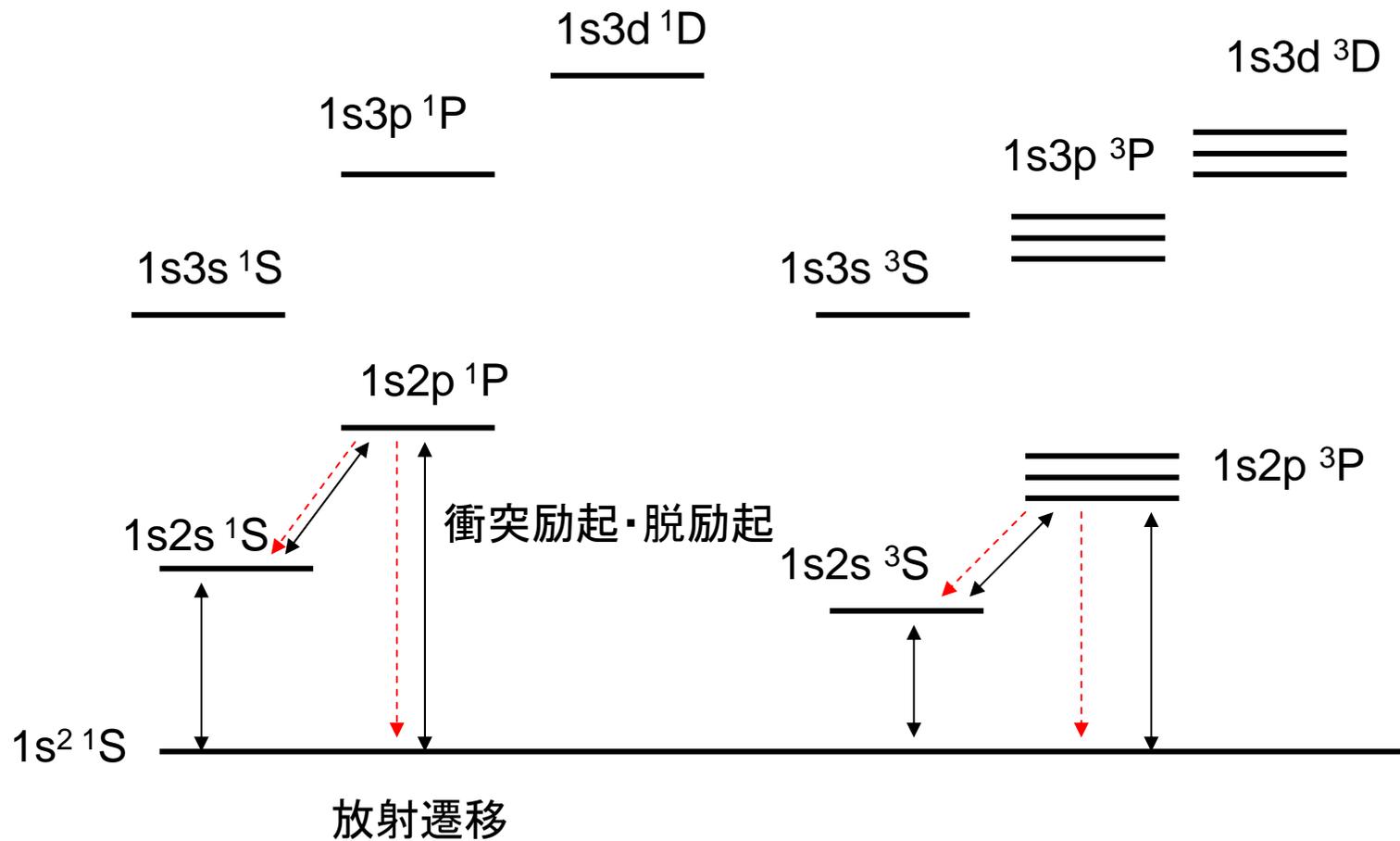
$$1s^2\ ^1S_0 - 1s2s\ ^3S_1\ (41.47\ \text{\AA})\quad A=4.857\times 10^1\ (\text{s}^{-1})$$

※放射遷移の Selection rule

許容遷移 $\Delta l = \pm 1$ 、 $\Delta L = 0, \pm 1$ 、 $\Delta S = 0$ 、 $\Delta J = 0, \pm 1$ (J=0 から J=0 へは禁止)

それ以外は禁制遷移 (A係数が小さくなる)

14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(4) エネルギー準位図



14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(5)

電子衝突励起速度係数 Suno & Kato (2004)

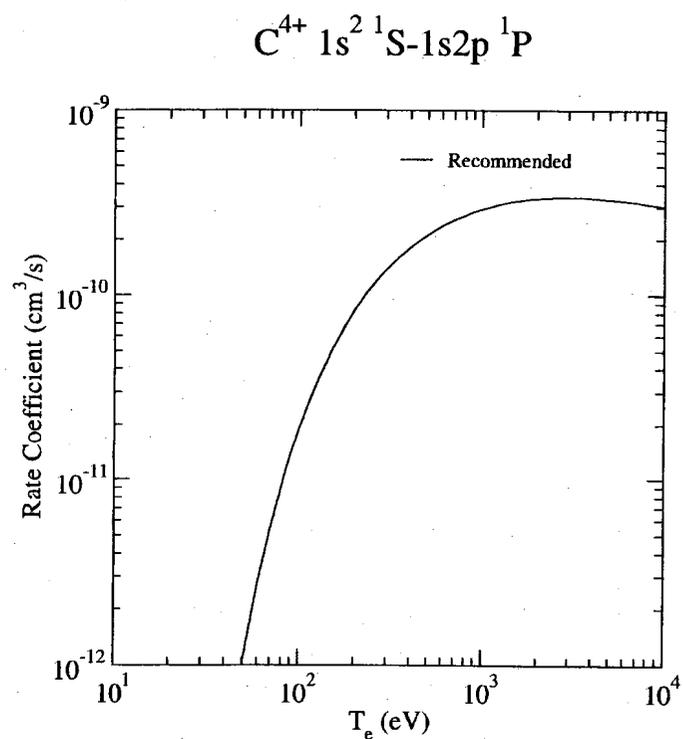


FIG. 24: Rate coefficient for electron-impact excitation.

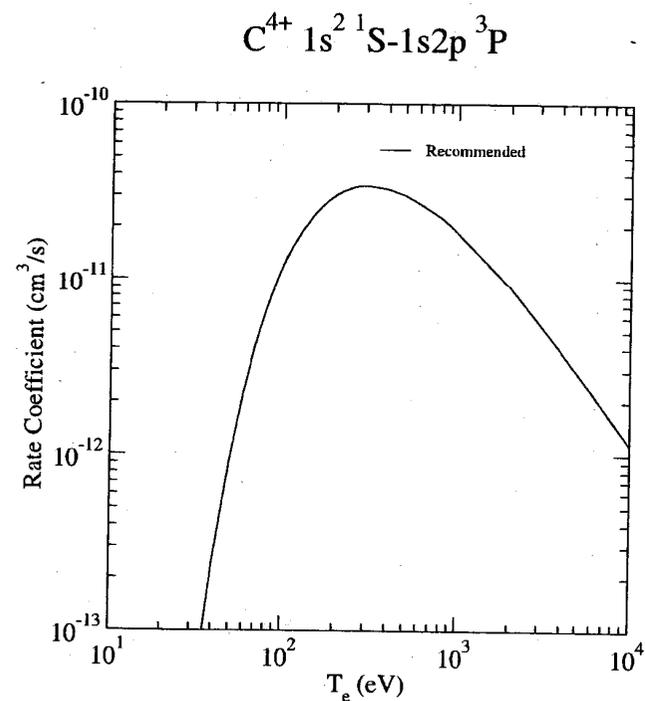
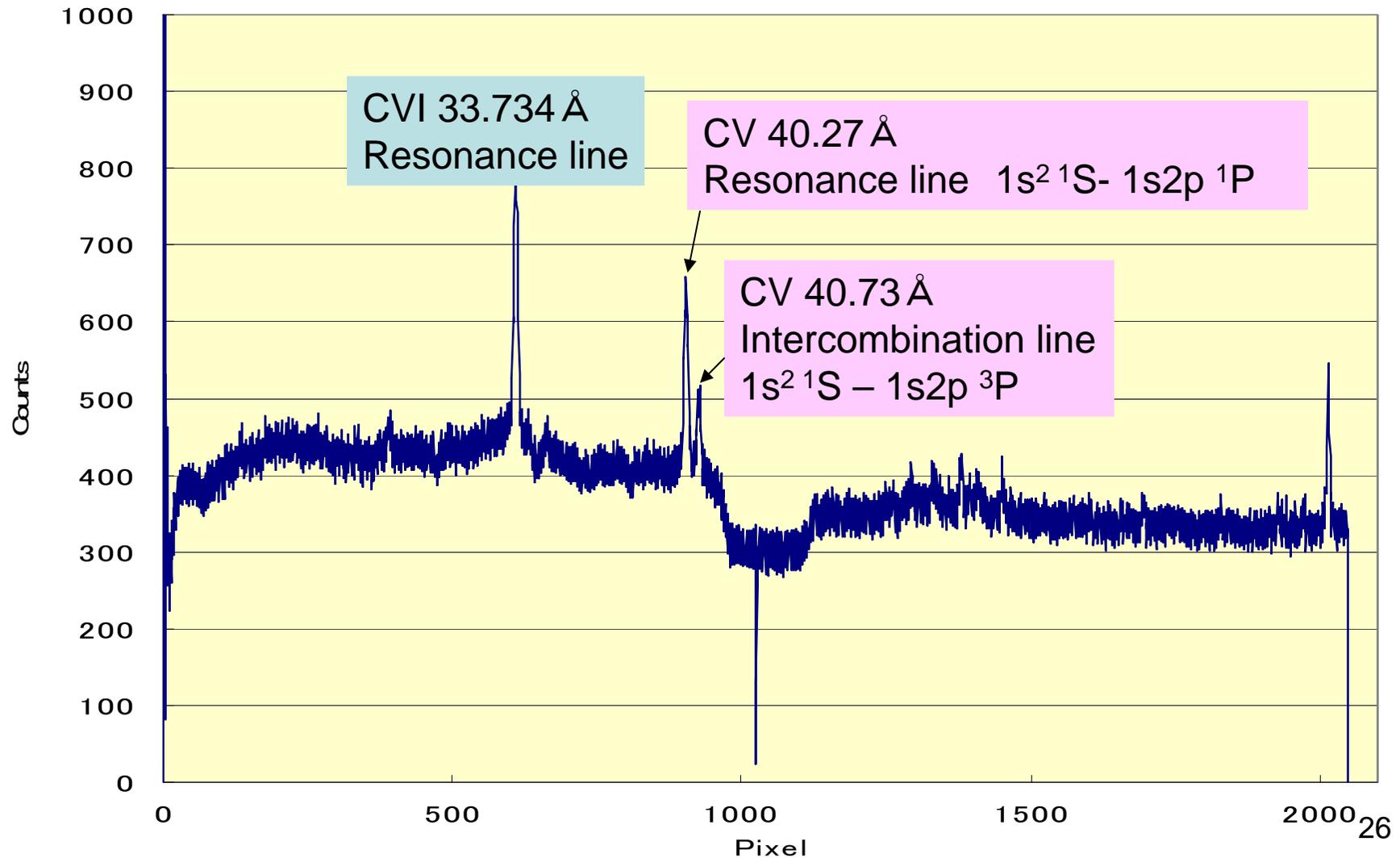


FIG. 22: Rate coefficient for electron-impact excitation.

14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(6) LHDのVUV分光計測例

#61453 - f4

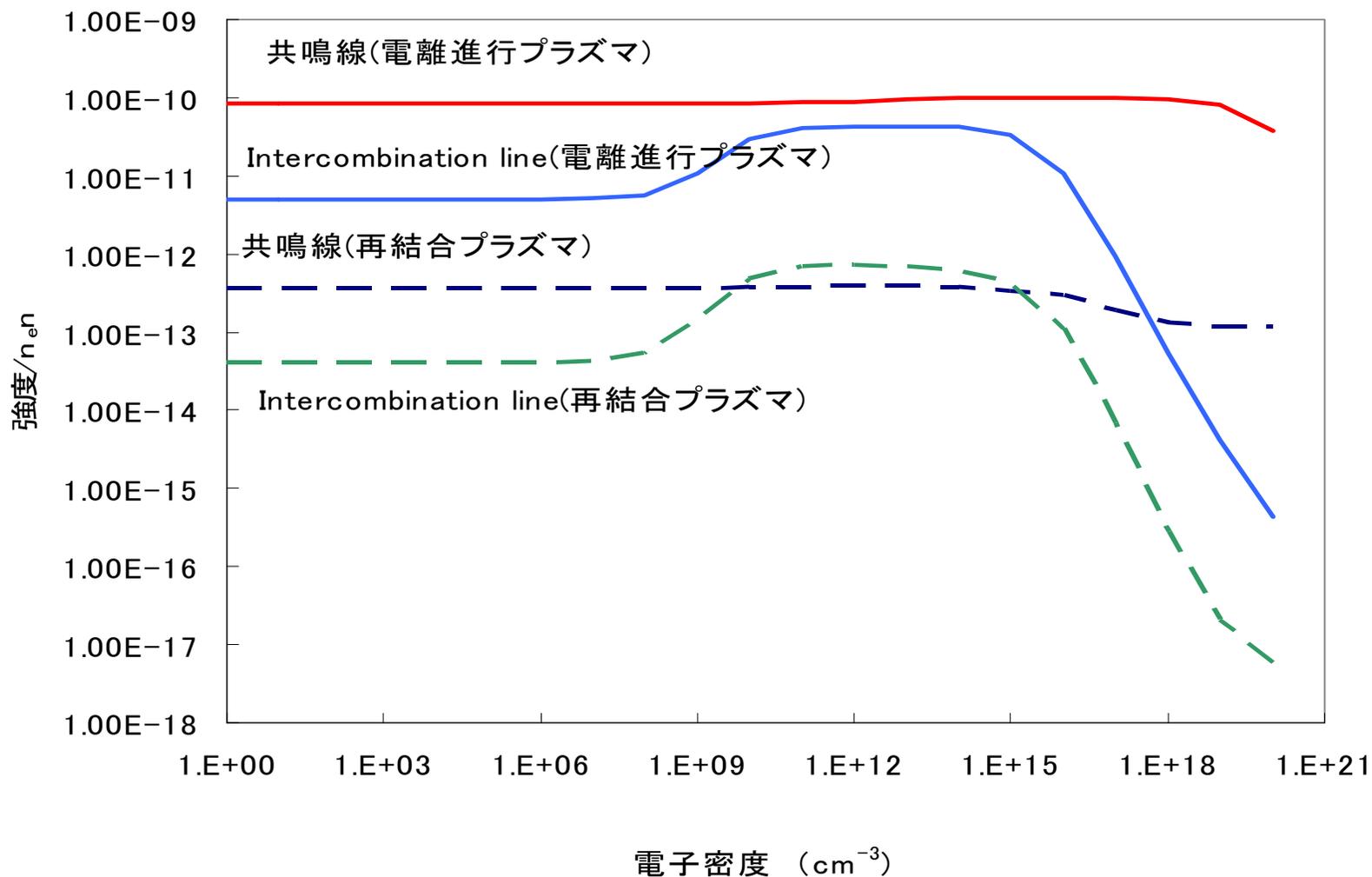


14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(7)

Resonance Line と Intercombination Line

の強度の電子密度依存性

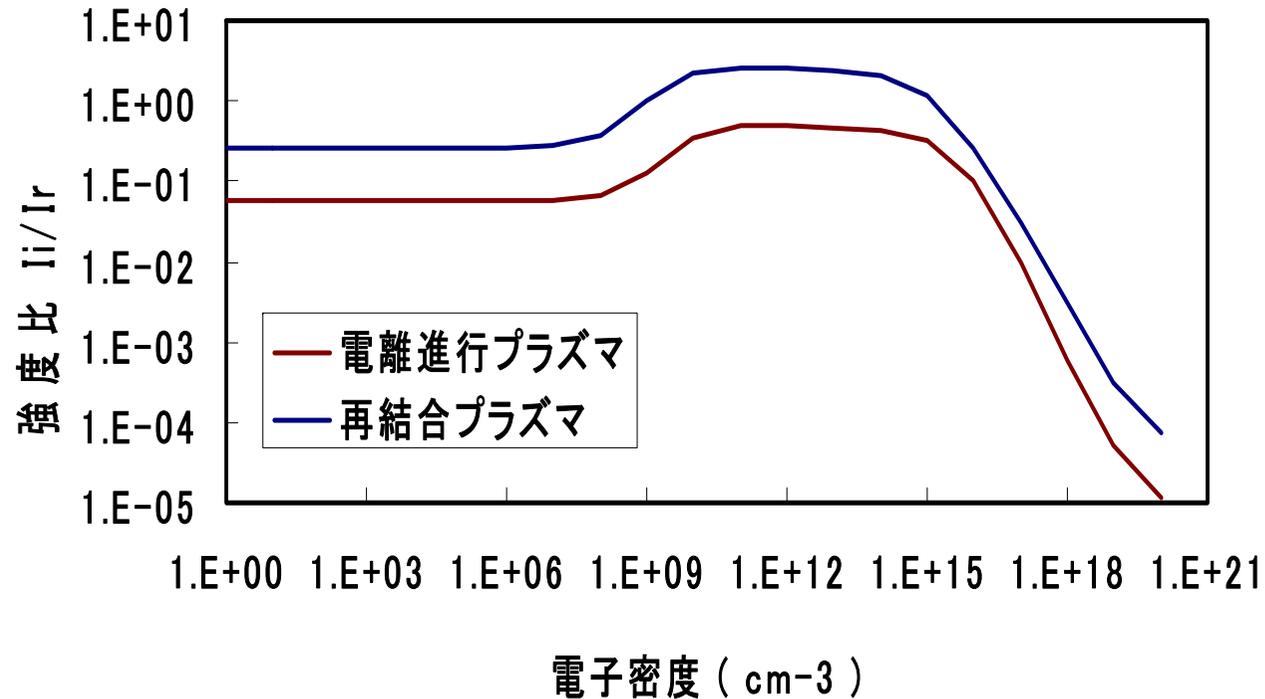
CV $T_e=200\text{eV}$



14.He様炭素イオンの衝突輻射モデル(8)

Resonance Line と Intercombination Line の強度比の電子密度依存性

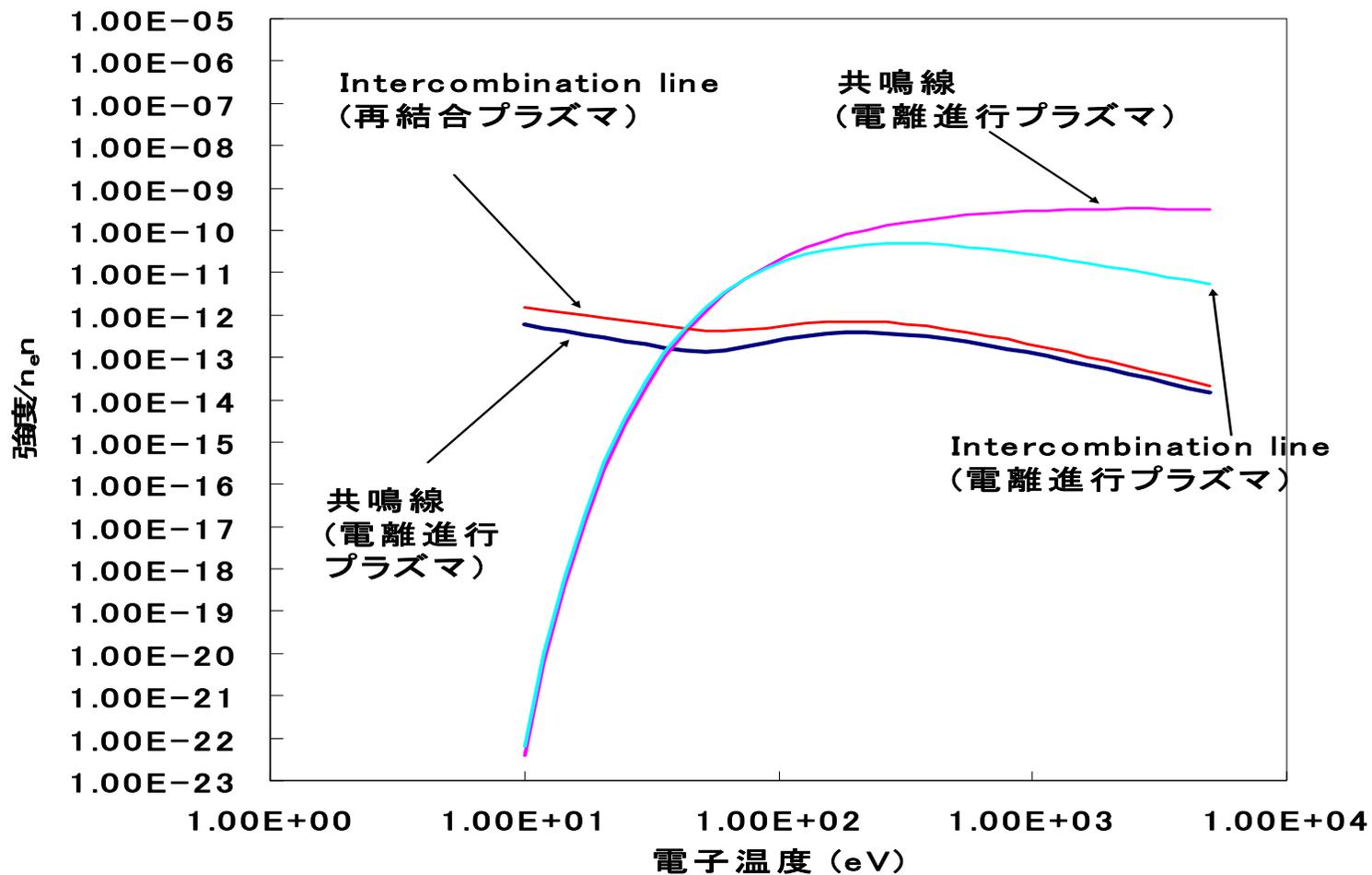
スペクトル線の強度比の電子密度依存性 ($T_e=200\text{eV}$)



14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(9)

Resonance Line と Intercombination Line の強度の電子温度依存性

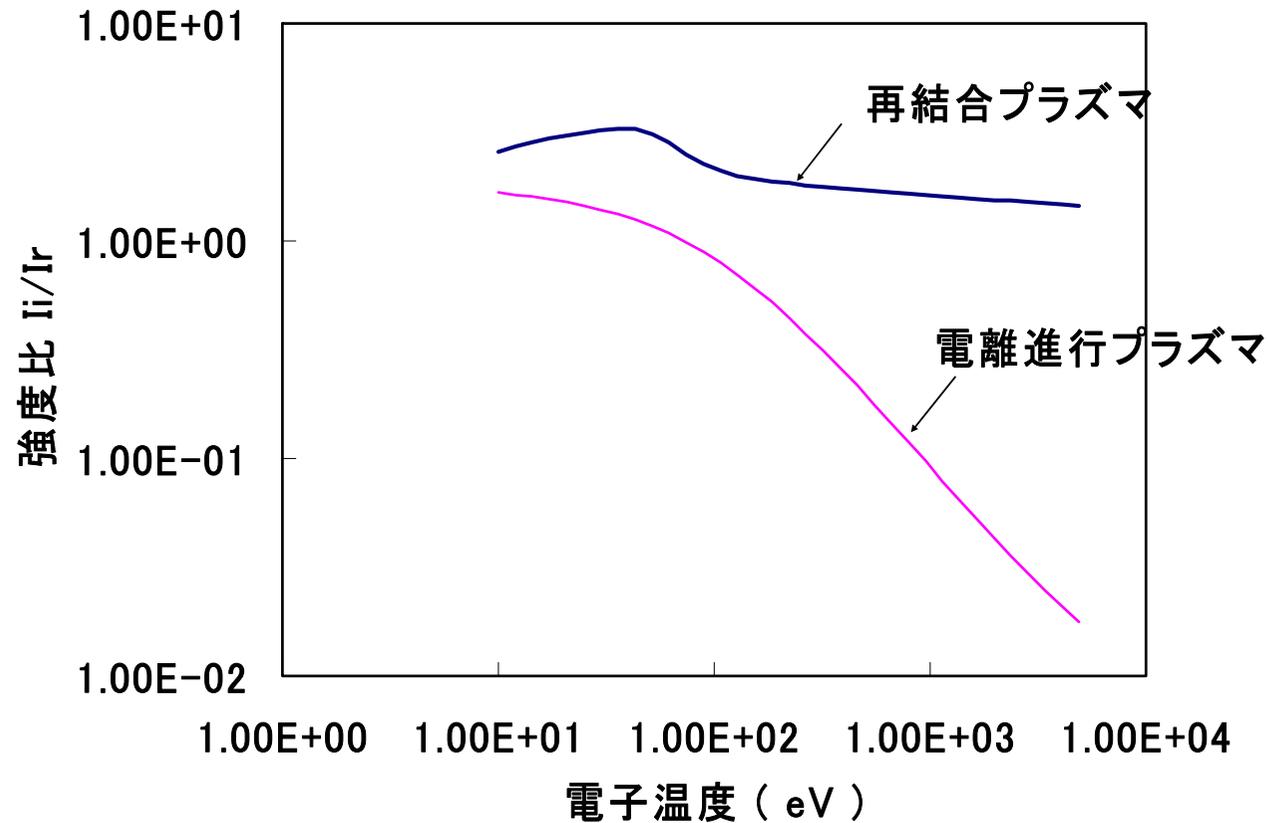
($n_e = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$)



14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(10)

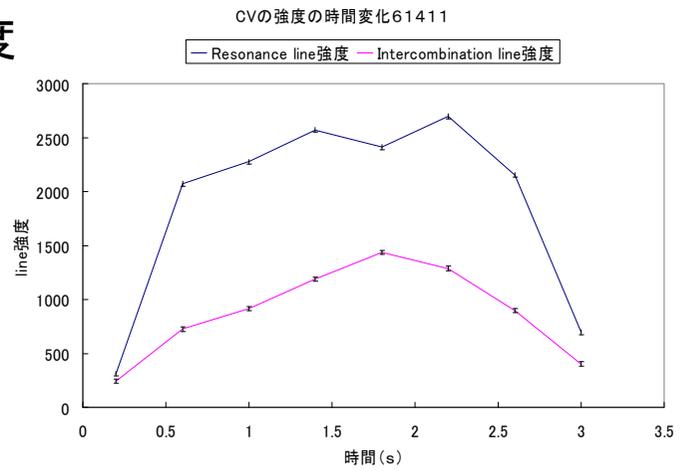
Resonance Line と Intercombination Line の強度比の電子温度依存性

スペクトル線の強度比の電子温度依存性 ($n_e=10^{12} \text{ cm}^{-3}$)

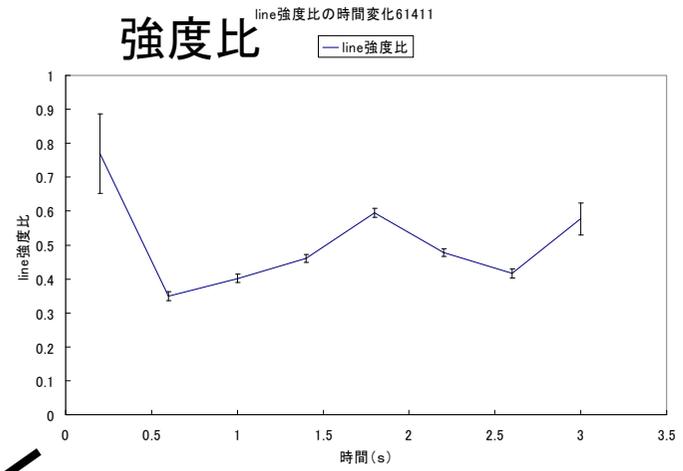


14. He様炭素イオンの衝突輻射モデル(11) モデルを使った解析例

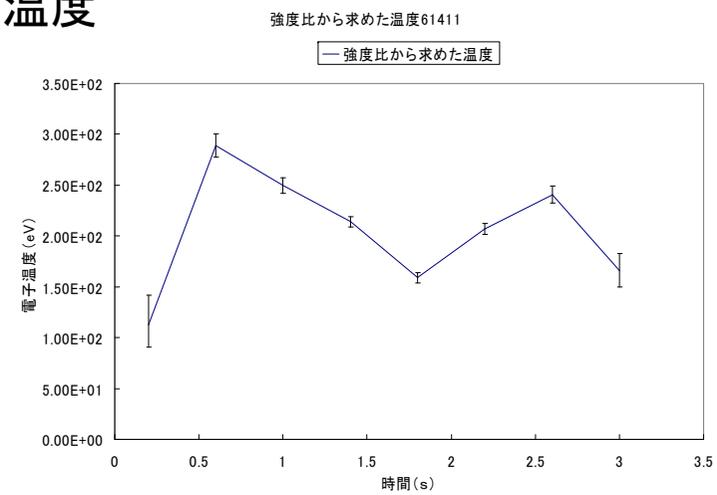
強度



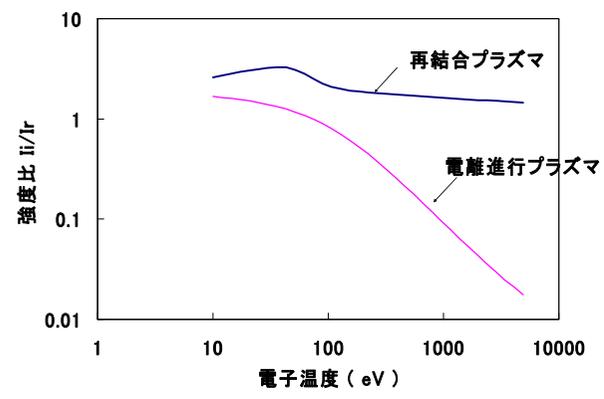
強度比



電子温度



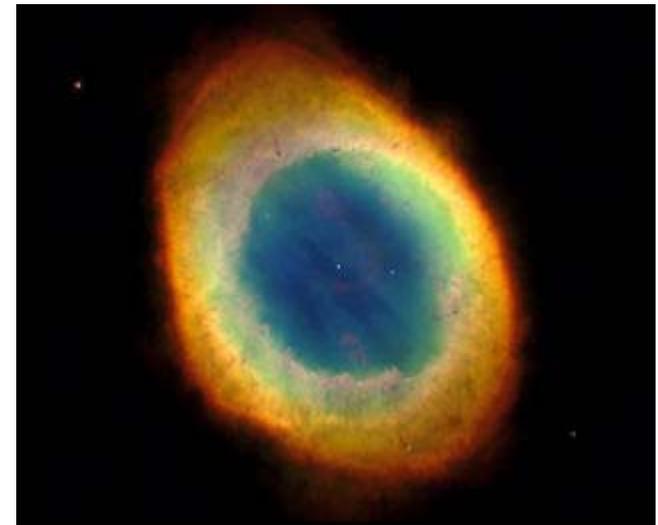
スペクトル線の強度比の電子温度依存性 ($n_e=10^{12} \text{ cm}^{-3}$)



15.いろいろな例(1)

- Metastable state (準安定状態)がある場合: 例: He様イオンの $1s2s^3S_1$ など、基底状態への放射遷移確率が小さいレベル=緩和時間が長い→他の励起状態と同じに定常近似 ($dn/dt=0$)では扱えない
→基底状態と同じに、時間発展を扱う必要がある。

- 再結合プラズマの例: 光電離によって出来るプラズマ(惑星状星雲などの天体プラズマ): 電子密度が低いため、電子衝突過程があまり効かないが、恒星からの紫外線によって光電離している。再結合過程が重要。
衝突輻射モデルの式に、光電離の項を加える必要がある。



惑星状星雲 M57

15.いろいろな例(2)

- 荷電交換反応によるスペクトル線:たとえば、中性水素ビームのHとNeXIイオン(裸イオン)が荷電交換し、NeX(H様イオン)からのスペクトル線を測定した場合:Hとの衝突による励起状態への電荷移行に起因する。
再結合の項の代わりに、荷電交換反応による項をつかう。
(電子密度ではなくH密度に比例する形 $X(p)n_H n_i$)
- 光学的に厚いプラズマ:プラズマの中での光の吸収と再放出を考えないといけない→輻射輸送の取り扱いが必要
escape factor (α) として取り入れる方法がある。
 $A'(p,q) = \alpha A(p,q)$ (A係数が減少するとする)

II. 原子分子データベース

- 解析には、波長、A係数、断面積、反応速度係数などの原子データが必要
⇒データベースが便利
- データベースのリスト: <http://dpc.nifs.ac.jp/dblinks1.html>
<https://dbshino.nifs.ac.jp> にもリスト
- 文献データベース
 NIFS AM, ORNL: <https://dbshino.nifs.ac.jp> (利用には登録が必要)
 IAEA AMBDAS : <http://www-amdis.iaea.org/AMBDAS>
 ADS : <http://ads.nao.ac.jp/> (日本のミラーサイト:天文関係の文献データベース。論文のPDFファイルも見られる。)
 GAPHYOR: <http://gaphyor.lpgp.u-psud.fr/gaphyor/> (原子、分子の光や電子との衝突過程、化学反応の文献DB)

原子分子数値データベース

数値データベース

NIST Atomic Spectroscopic Data :
<http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/index.html> (波長、A係数、エネルギーレベル)

NIFS AMDIS: <https://dbshino.nifs.ac.jp> (電子衝突電離、励起、再結合)

IAEA GENIE: <http://www-amdis.iaea.org/GENIE/> (電子衝突電離、励起、波長)

- TIPbase : <http://cdsweb.u-strasbg.fr/tipbase/home.html> (IRON project: 主に鉄イオンのエネルギーレベル、A係数、衝突強度、実効的衝突強度)
- TOPbase: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/topbase.html> (Opacityのデータベース)

分子のデータベース

- Internetで公開されているものはあまり多くない。
- 波長など分光関係
NIST (赤外、電波) :
<http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents-mol.html>
CfA (VUV) : <http://cfa-www.harvard.edu/amdata/ampdata/cfamols.html>
- 衝突過程
NIFS AMOL, CMOL: <https://dbshino.nifs.ac.jp/>
IAEA ALADDIN : <http://www-amdis.iaea.org/ALADDIN/>
NIST 電子衝突電離・励起断面積 :
<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Ionization/Xsection.html>
CAMDB イオン-分子衝突 : <http://www.camdb.ac.cn/m/c/>
KAERI/NIFS 微分断面積 :
<http://dprose.nifs.ac.jp/amods/htdocs/impact/IMPACT.html>
- **HITRAN** (分子の大気吸収に関するデータベース):
<http://www.cfa.harvard.edu/HITRAN/>

そのほかのデータベース

- **Plasma-Gate**: <http://plasma-gate.weizmann.ac.il> (リンクリストがある)
- **CHIANTI**: <http://www.solar.nrl.navy.mil/chianti.html> (天体プラズマの分光診断のためのデータベースとソフトウェア (IDLを使って、スペクトルを計算できる))
- **CDS**: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/> (天文のカタログ・データベース。原子分子データも登録されている(主に論文に出版されたデータ)。 VizieR: <http://vizier.nao.ac.jp/vizier/> (日本のミラーサイト)でatomic dataを探せる。(カタログ名指定のところ、Moreにして、次のページでカタログマップで指定)
- **JEAMD**: <http://www-jt60.naka.jaea.go.jp/HOME-J.html> (核融合プラズマに関する原子分子データの評価済みデータ。グラフが表示され、データそのものは得られない)

文献データベース

NIFS AM

IAEA AMBDAS

AM - Microsoft Internet Explorer
[Detailed Search] [Help]

AM DATABASE

search data clear form

Maximum number of data sets to extract 50

Please input author and/or keyword.

Year of publication: From: 2006 To: 2006

AUTHOR(S)

KEY WORD

The system ignores difference of upper, lower case but if comma or hyphen etc. is used, the word must be in brackets, e.g., to search for "Einstein, A", write [Einstein, A].

Push search button to begin search.

AMBDAS
Atomic and Molecular Bibliographical Database

Search Clear

Available Reactant/Surface Codes	Reactant Code	Ion Charge
? Reactant 1	<input type="text"/> H, Na, H2O, HF	<input type="text"/> 2, 26, -1
Reactant 2	<input type="text"/> H, Na, H2O, HF	<input type="text"/>
? Isoelectr. Sequence	<input type="text"/> H, Be, Ca	
? Surface	<input type="text"/> Mg, Ag2O, Metal	

Attention: the codes are case-sensitive, i.e., 'HF' is Hafnium and 'HF' is Hydrogen-Fluorine

Examples are given in green

Category	Process
Structure and Spectra	---- Structure and Spectra ----
Photon Collisions	Line Shapes and Shifts
Electron Collisions	Structure, Spectra
Heavy Particles Collisions	Interatomic Potentials
Surface Interactions	Polarizabilities, Electric moments
Beam Heating and Fueling of Plasmas	Energy Levels, Wavelengths

Bibliography

? Author's name	<input type="text"/> Mot., N*Mot., *Mot*	2 nd author's name	<input type="text"/>
? Keywords/Patterns	<input type="text"/>	res*ance, *electron impact*	
Years	<input type="text"/> .. <input type="text"/> 98, 1998, 02, 2002	Reference Type	<input type="text"/>

Sort by Year: | Abstract/Comment: | Search Case Sensitive: The maximal allowed number of references is 200.

AMBDAS ALADDIN Comments Home

著者名や、キーワードなどで文献を検索、文献情報(雑誌名、タイトルなど)が得られる

数値データベース

NIFS AMDIS EXCITATION

AMDIS EXCITATION

Search Data Form Clear

When the hit number exceeds 20, results will be classified by Initial State Final State

Atomic Number:
Element*:
Ionic State:
Number of electrons: (if you want to search for isoelectronic sequence.)

Initial state: Configuration: or or
Multiplicity(2S+1):
Orbital Ang Momentum(L): or or
Statistical Weight(2J+1):

Final state: Configuration: or or
Multiplicity(2S+1):
Orbital Ang Momentum(L): or or
Statistical Weight(2J+1):

Cross section Rate coefficient

Theoretical Experimental Evaluated
Author*:
Year of Publication: From: To: (YYYY)

Additional conditions for search: [\[Type Table\]](#) [\[Journal Table\]](#)

ページが表示されました インターネット

IAEA GENIE

GENIE - Microsoft Internet Explorer

http://www-amdis.iaea.org/GENIE/

GENIE
A General Internet Search Engine for Atomic Data

Transition Probabilities
Wavelengths
Energy Levels

Ion: H I

Enter wavelength in Å:
From: to:

Electron Impact Cross Sections
and/or Rate Coefficients

Ion: H I

Select the process:
Excitation Ionization

[IAEA ALADDN Database](#) [?](#)
[NIFS AMDIS Database](#) [?](#)
[CAMBD Collisional Processes](#) [?](#)

Go for sigma/R リセット

Go for A/E/lambda リセット

[Comments](#) | [ALADDN](#) | [AMBDAS](#) | [A+M Data Unit](#) | [IAEA](#)

イオン種、原子過程、(始状態、終状態)などで検索、断面積などの数値データが得られる。

NIST: Atomic Spectra Database – home page – Microsoft Internet Explorer

http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/index.html

Physics Laboratory
Physical Reference Data
National Institute of Standards and Technology

Home Products and Services Physical Reference Data Research Areas Contact Search

Version History - Disclaimer Help for Users with Text Browsers

NIST ATOMIC SPECTRA DATABASE

Version 3.1.0

Welcome to the NIST Atomic Spectra Database, NIST Standard Reference Database #78. The spectroscopic data may be selected and displayed according to wavelengths or energy levels by choosing one of the following options:

LINES Spectral lines and associated energy levels displayed in wavelength order with all selected spectra intermixed or in multiplet order. Transition probabilities for the lines are also displayed where available.

LEVELS Energy levels of a particular atom or ion displayed in order of increasing energy above the ground state.

Additional information about the database may be obtained through the following links:

- [Introduction](#) Introduction to the Atomic Spectra Database.
- [List of Spectra](#) Overview of data contained in the database.
- [Ground States and Ionization Energies](#) Table of Ground States and Ionization Energies for Neutral Atoms.
- [Bibliography](#) Bibliography of data sources used for this database.
- [Help](#) On-line help in using the database.

This database provides access and search capability for NIST critically evaluated data on atomic energy levels, transition probabilities that are reasonably up-to-date. The [Atomic Energy Levels Data Center](#) and [Data Center for Atomic Spectra](#) have carried out these [critical compilations](#). Both Data Centers are located at the [National Institute of Standards and Technology \(NIST\)](#).

Principal Developers (Currently Active):
Yu. Ralchenko,¹ A.E. Kramida,¹ and J. Reader¹

Data Compilers (Currently Active):
Atomic Energy Levels and Wavelengths:
A.E.Kramida,¹ W.C. Martin,¹ A. Musgrove,¹ E.B. Saloman,¹ C.J. Sansonetti,¹ J. Reader,¹ and
Atomic Transition Probabilities:
D.E. Kelleher,¹ A.E.Kramida,¹ J.R. Fuhr,¹ L. Podobedova,³ and W.L. Wiese¹

NIST原子スペクトルデータベース

Lines: スペクトル線の波長
Levels: エネルギー準位

NIST: Atomic Spectra Database Lines Form – Microsoft Internet Explorer

http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

ASD DATA INFORMATION
LINES LEVELS LIST OF SPECTRA GROUND STATES & IONIZATION ENERGIES Bibliography Help

NIST
National Institute of Standards and Technology
Physics Laboratory

NIST Atomic Spectra Database Lines Form

Best viewed with the latest versions of Web browsers and JavaScript enabled

Spectrum: e.g., Fe I or Na, Mg, Al or mg i-iii

Lower Wavelength: or Upper Wavenumber (in cm⁻¹):

Upper Wavelength: or Lower Wavenumber (in cm⁻¹):

Units: A

Dynamic Plots

Line Identification Plot:

Saha-LTE Spectrum:

Doppler Broadening Parameters

Electron Temperature T_e (eV): Number of points: (≤ 20000)

Electron Density N_e (cm⁻³): Ion Temperature T_i (eV): ($\neq T_e$)

Grotrian Diagram

Java subwindow size:
 640 x 640 800 x 640 1024 x 768 1280 x 1024

Group by configurations | Term multiplicity
 Show only radiatively linked levels

(requires JavaScript)

Output Options

Format output: HTML (formatted)

No JavaScript

Energy Level Units: cm-1

Additional Criteria

Lines: All
 Only with transition probabilities
 Only with energy level classifications
 Only with observed wavelengths

データベースのデモ

- 文献データベース
NIFS AM, ORNL: <https://dbshino.nifs.ac.jp>
IAEA AMBDAS : <http://www-amdis.iaea.org/AMBDAS>
- 数値データベース
NIFS AMDIS: <https://dbshino.nifs.ac.jp> (電子衝突電離、励起、再結合)
IAEA GENIE: <http://www-amdis.iaea.org/GENIE/> (電子衝突電離、励起、波長)

その他

- プロセスプラズマ関連のデータベース
電気学会が作成したデータベース(CD-ROM)がある。公開については検討中
- 大気化学関連のデータベース
JPL: <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov/>
IUPAC: <http://www.iupac-kinetic.ch.cam.ac.uk/> など
- 原子核反応のデータベース
JENDL: http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/jendl/Jendl_J.html 評価済み核データライブラリー
- 科学技術振興機構(JST)(<http://www.jst.go.jp>)で、インターネットでアクセスできる日本の科学技術情報源(URL)を取りまとめた総合案内ウェブサイト集を作成 "Science Links Japan": <http://sciencelinks.jp/>
Databases by field のなかのPhysics の下にNIFSのがある。

FINE