

(1) 右図は点群を決定するチャートである。以下の分子の点群を判別し、「(a) C_1 」のように書け。

(a) H_2O , (b) CH_4 , (c) NH_3 , (d) PF_5 (三方両錐), (e) 1,2-ジクロエタン(アンチ配座)。(15 点)

(a) H_2O は 2 回回転軸 1 個 (C_2) が主軸であり、鏡映面が分子面を含むもの (σ_v) 1 個、鏡映面が分子面に垂直なもの (σ_v') が 1 個 (注: 二つの鏡映面はいずれも主軸を含むので σ_v であり、 σ_h や σ_d は無し)。反転中心は無し。回映軸も無し。

まず、直線分子でも高度な対称性でもないのので「その他」へ行く。

次に C_2 があるので「 C_n の存在有り」へ行く。

回映軸がないのと、それ以外にも対称要素があるので「 $S_{2n}+C_n$ 以外に対称要素有り」へ行く。

主軸に直交する C_2 は無いので、「主軸に直交する C_2 無し」へ行く。

σ_v があるので、「 σ_v 有り」へ行き、主軸が C_2 であることと併せて、点群は C_{2v} となる。

(b) CH_4 は正四面体型で、3 回回転軸 4 個 (C_3) が主軸であり、さらに 2 回回転軸は 3 個 (C_2)。鏡映面として 1 個の辺を含み対辺を二等分する面が 6 個 (いずれも主軸を含むので σ_v)。反転中心は無し。回映軸も無し。

講義では触れているが、主軸が 2 本以上ある場合は立方群と呼ばれる高度な対称性となるので、いきなり「高度な対称性」へ行って終了。今回の問題では T_d と O_h を判定できなくても仕方ないので、共に OK とするが、 T_d は tetrahedral で四面体群、 O_h は octahedral で八面体群のため、正解自体は T_d 。

(c) NH_3 は 3 回回転軸 1 個 (C_3) が主軸。鏡映面が N とひとつの H を共に含み、残りの 2 つの H と等距離にある面 (σ_v) が 3 個 (図ではそのうちの 1 個を示す。 σ_h や σ_d は無し)。反転中心は無し。回映軸も無し。

まず、直線分子でも高度な対称性でもないのので「その他」へ行く。

次に C_3 があるので「 C_n の存在有り」へ行く。

回映軸がないのと、それ以外にも対称要素があるので「 $S_{2n}+C_n$ 以外に対称要素有り」へ行く。

主軸に直交する C_2 は無いので、「主軸に直交する C_2 無し」へ行く。

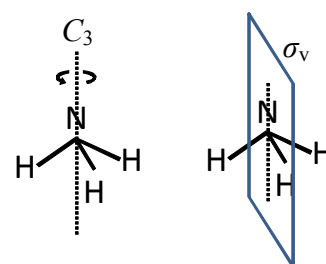
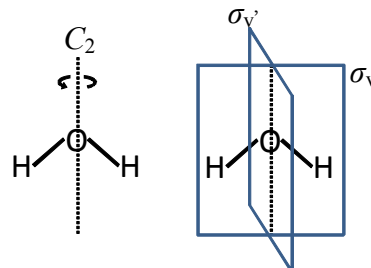
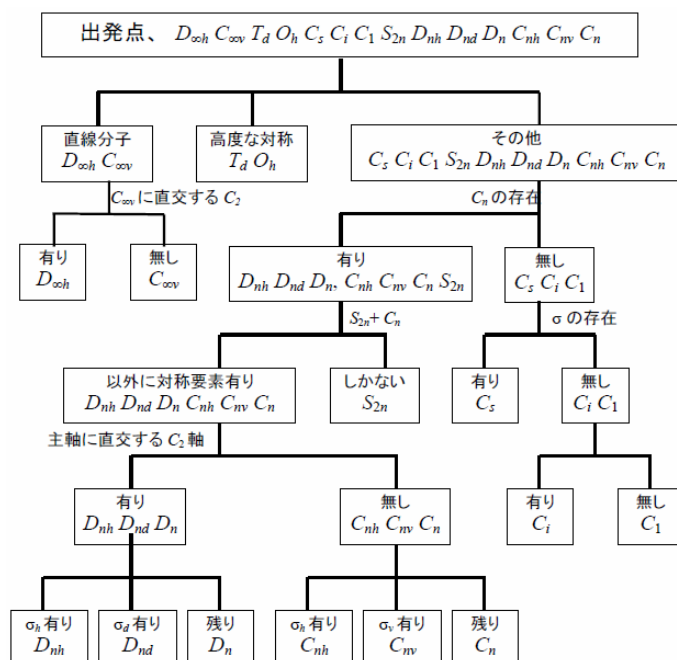
σ_v があるので、「 σ_v 有り」へ行き、主軸が C_3 であることと併せて、点群は C_{3v} となる。

(d) PF_5 (三方両錐)は 3 回回転軸 1 個 (C_3) が主軸。それに直交する形で、エクアトリアル位の F と P を結ぶ 2 回回転軸が 3 個 (C_2)。鏡映面として、三角錐同士を二分する σ_h が 1 個と、主軸に直交する C_2 軸を二分する鏡面 σ_d が 3 個。反転中心は無し。回映軸も無し。

まず、直線分子でも高度な対称性でもないのので「その他」へ行く。

次に C_3 があるので「 C_n の存在有り」へ行く。

回映軸がないのと、それ以外にも対称要素があるので「 $S_{2n}+C_n$ 以外に対称要素有り」へ行く。



主軸に直交する C_2 が有るので、「主軸に直交する C_2 有り」へ行く。

σ_v , σ_h , σ_d についてきちんと説明していないため、今回はこの先の判定はどれでも良いことにするので、 D_3 , D_{3h} , D_{3d} のいずれも OK とするが、実際にあるのは σ_d なので正解自体は D_{3d} 。

(e) 対称操作は比較的単純で、回転軸無し、鏡面有り、反転中心有り、回映軸無し。

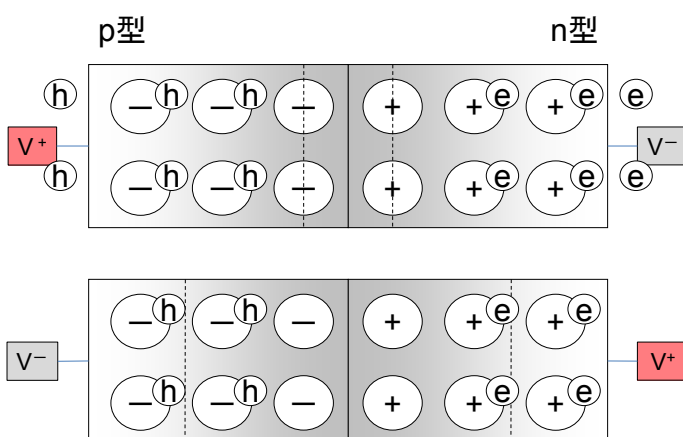
そのため空間群は、まず、直線分子でも高度な対称性でもないので「その他」へ行く。

次に C_n が無いので「 C_n の存在無し」へ行く。

鏡映面があるので、「 σ の存在有り」で $C_{\infty v}$ となる。

(2) p 型と n 型の半導体を接合すると、ダイオードを作ることができる。この半導体素子の図を描き、p 型側に正の電位、n 型側に負の電位を加えた場合と、それとは逆の電位を加えた場合の動作の違いについて説明せよ。
(15 点)

講義中に使用した右図を使い説明できればよい。上の図の場合、 V^+ 側からホール（正孔）が、 V^- 側から電子が注入され、それらが接合部に向かって移動するため、空乏帯が縮小して電流が流れる。逆に下の図では、 V^- 側にホールが汲み出され、 V^+ 側には電子が汲み出されて空乏帯が増大するため、電流が流れない。



(3) Curie の法則によれば磁化率 χ_C は、

$$\chi_C = \frac{C}{T}$$

C : Curie 定数
 T : 温度

Curie-Weiss の法則は

$$\chi_F = \frac{C}{T - \theta}$$

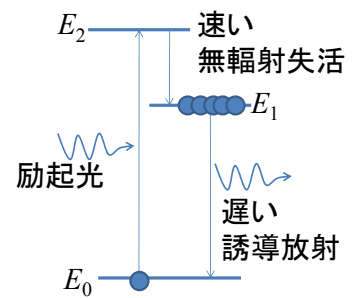
C : Curie 定数
 T : 温度、 θ : Weiss 定数

のようにかける。各々が適用される磁性の種類を述べ、両者の違いが現れる θ が、磁性体のどのような性質に由来するか説明せよ。(15 点)

Curie の法則は相互作用が無く、局在スピンによる常磁性に適用され、Curie-Weiss の法則は強磁性体や反強磁性体など、局在スピン同士に相互作用がある場合に適用される。 θ はワイス定数（ワイス温度）と呼ばれ、値が正の場合は強磁性的相互作用があることを、負の場合は反強磁性的相互作用があることを示唆しており、その絶対値は相互作用の大きさを表す。

(4) レーザーの原理について、以下の8つの単語の中から5つを用いて、図を示しながら説明せよ（遅い、再結合、速い、反転分布、プラズマ振動、無輻射失活、誘電分極、誘導放射）。3つは説明に関係ないので使用しないこと。（10点）

励起光の照射により、基底状態 E_0 から高エネルギーの E_2 に励起された電子は、速い無輻射失活により第一励起準位 E_1 へ遷移する。この時、 E_1 が E_0 に対してスピン禁制であれば、基底状態への脱励起は遅いため、励起光を照射し続けると、 E_0 への電子分布よりも E_1 への分布が大きくなる。このような状態を、基底状態への分布が一番大きい通常の分布に対して、反転分布と呼ぶ。こうして得られた分布に、 E_0 - E_1 間に相当する光を照射すると、共鳴により E_1 から E_0 に脱励起が起こるとともに、この準位間のエネルギーに相当し、位相のそろった光が放射される。この現象を誘導放射と呼び、増幅された光はレーザーとして利用することができる。



(5) (a)金、(b)鉄、(c)アルゴンが、（今のところ）超伝導体にならない理由を各々説明しなさい。（10点）

- (a) 金属相が極めて安定なため、超伝導転移は極端な低温でしか起こらないと考えられているため。
- (b) 磁性は超伝導状態を破壊するが、鉄では強磁性体として内部磁場が発生し、超伝導転移を阻害するため。
- (c) 超伝導相においては電子－格子相互作用が重要な役割を果たすが、希ガスの場合ガス同士の相互作用がほとんどなく、電子－格子相互作用が小さいため。