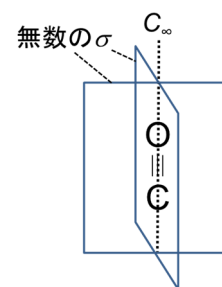


以下の問題について、途中経過も含めて解答を書け。必要に応じて図等を加え、対応した説明と共に解答すること。解答は講義で紹介した範囲の説明で構わないが、もちろんより深い理解の立場から解答しても構わない。

- (1) 次の(a)~(e)のうち、回転、鏡映、反転、回映の 4 種類の対称操作を考慮した場合、対称要素の数の合計が最も多い分子をひとつ選び、その解が適切である理由を図を用いて説明しなさい (10 点)。

(a) 一酸化炭素 (b) エチレン (c) ベンゼン (d) 水 (e) メタン

全ての分子についていちいち全部数え上げるのは少々残念なアプローチ。直線分子は、主軸の C_∞ を含む無数の鏡映 σ がある。一方、その他の分子では C_∞ が存在せず、それに付随する無数の対称要素は発生しないため、(a) が正解となる (以前の問題では直線分子かつ左右対称型分子だったが、今回は直線分子で左右対称ではないため、無数の C_2 は発生しないことに注意)。



- (2) 酸化物や有機物、共有結合性結晶などは一般的に絶縁体であるが、近年ではこれらに分類される物質に伝導性を付与する様々な方法が知られている。上記のいずれかを選択して明示し、伝導性を付与する方法について、例えば「有機物に対して伝導性を付与するためには～」などの形で説明せよ。(15 点)

酸化物、有機物、共有結合性結晶について、例えばドーピング (大元になる物質の主要元素と価電子数が異なる元素を添加すること) や、半導体 (絶縁体) であれば高温にする (ただし、元になる物質の性質を失わない条件下であることが必要 (例えば、液化したり分解したりする条件では適さない))、光励起を併用するなどが考えられる。

- (3) 磁性の種類として反磁性、常磁性、強磁性、反強磁性について紹介した。この 4 種類の磁性の内 2 種類について、各々他の 3 つには無い性質・要素を挙げてどのような特徴を持つか、「反磁性：～を原因として～という性質を持ち、これは他の 3 種類には見られない」のように説明せよ。(15 点)

例えば、

反磁性：電子の軌道運動を原因として、外部磁場に反発する性質が現れる。

常磁性：不対電子に由来するスピンにより、外部磁場印加により磁化を生じるが、スピン間に相互作用が働かないため、外部磁場を取り去ると再び磁化は 0 になる。

強磁性：強磁性的相互作用を原因として、系全体のスピンの自発的に同じ向きに揃う強磁性転移を示す。

反強磁性：反強磁性的相互作用を原因として、隣接するスピン同士が反平行に揃い、(外部磁場が小さい場合には) 揃った向きに平行に磁場をかけた場合には磁化率が小さく、垂直に磁場をかけた場合には磁化率が大きくなる磁気異方性が現れる。

など。

(4) (ア)～(オ)に当てはまる用語を選択肢から選び、正しい文を完成させ「(ア)圧電体」のように解答せよ。(15 点)

「誘電体は内部に ア を生じ得る物質であり、構造的には イ が存在しない場合に現れる可能性がある物性を示す。誘電体に対して交流電場を印加し、その応答性を調べると、ア を生じる原因が推測できる。特に原子内の電子分布が原子核に対して変位することによる電子分極、正負の電荷を持つイオンが互いに相対的に変位することによるイオン分極、分子配向の整列による双極子分極などが知られるが、印加する交流電場がより高い周波数の場合に応答するものからこれらを順に並べると、最も高周波の領域では ウ が、最も低周波の領域では エ が応答する。また誘電体のうち強誘電体は、ある温度以下で オ に分極を生じ、外部電場でその極性を反転することができることから、電気を蓄える素子として有用である」(15 点)

用語：イオン分極、回転軸、確率的、鏡映面、強制的、磁気分極、自発的、正電荷、絶縁性、双極子分極、対称中心、電気分極、電子分極、金属伝導性、負電荷

「誘電体は内部に (ア) 電気分極 を生じ得る物質であり、構造的には (イ) 対称中心 が存在しない場合に現れる可能性がある物性を示す。誘電体に対して交流電場を印加し、その応答性を調べると、(ア) 電気分極 を生じる原因が推測できる。特に原子内の電子分布が原子核に対して変位することによる電子分極、正負の電荷を持つイオンが互いに相対的に変位することによるイオン分極、分子配向の整列による双極子分極などが知られるが、印加する交流電場がより高い周波数の場合に応答するものからこれらを順に並べると、最も高周波の領域では (ウ) 電子分極 が、最も低周波の領域では (エ) 双極子分極 が応答する。また誘電体のうち強誘電体は、ある温度以下で (オ) 自発的 に分極を生じ、外部電場でその極性を反転することができることから、電気を蓄える素子として有用である」

(ア) 電気分極、(イ) 対称中心、(ウ) 電子分極、(エ) 双極子分極、(オ) 自発的

(5) 多様な同位体を持つ Hg の平均原子量 M を変化させて超伝導体の転移温度 T_c を測定したところ、 $T_c = M^{-1/2}$ の関係が見られた。このことから、何と何の間の相互作用が超伝導発現を担っていると考えられるか、発現機構の概略と共に説明せよ。(10 点)

伝導性に関わるので、運動する電荷が必要になり、電子が関与していることは予想される。また、原子の質量のほとんどを担っているのは原子核だが、その質量にも影響されているので、原子核が関与しているのも予想される。以上から電子と原子核の相互作用（もっと言えば電子－格子相互作用だが、問題文の範囲では原子核と格子が結びつけられなくてもやむを得ない）に由来する機構で超伝導現象が起きていると考えられる。

実際にはこの相互作用を介して 2 つの電子間に引力相互作用が働き、元来フェルミ粒子である電子がクーパー対と呼ばれる状態を形成することでボーズ粒子として扱うことができるようになり、系全体を同じ量子状態に置くことができる（一つの波動関数で表すことができる）結果、格子の電氣的ポテンシャルの影響を受けることなく電荷が移動する超伝導現象が現れる。