

第1問 以下の問に答えよ。

- (1) 現在の宇宙に存在する元素のなかでは水素とヘリウムが圧倒的に多い。それ以外の元素では炭素、窒素、酸素の存在量が比較的多い。これら3つの元素は、宇宙のどこで生成されたか答えよ。また、そこではこの3つの元素はどのような役割を果たしているか。簡単に説明せよ。
- (2) 真空中で電子のビームを飛ばして金箔に当て、透過した電子を写真乾板で検出したら、同心円状のパターンが見えた。このパターンは何に由来するもので、これは電子のどのような性質を示しているか。
- (3) 水素原子の中の電子の波動関数を軌道と呼ぶ。軌道の形としては様々なものが可能であるが、節の数でそのエネルギーが異なると解釈できる。 $1s$ 、 $3p$ 、 $2s$ 、 $3s$ 、 $2p$ と呼ばれる軌道をエネルギーの順に分類し、それが節の数に対応していることを示せ。また、これらを球対称なものとそうでないものに分けよ。

第2問 原子、分子に関する以下の問に答えよ。

- (1) 水素原子以外の多電子原子の軌道も水素原子に準じて考えることができ、その軌道を $1s$ 、 $3p$ 、 $2s$ 、 $3s$ 、 $2p$ 等々と呼ぶことができる。しかしそれらの間の軌道エネルギーの関係は水素原子の場合と異なっている。ここに挙げた5つの軌道の軌道エネルギーの相対関係を示せ。水素原子と異なっている理由を示す言葉を二つ挙げよ。
- (2) 多電子原子は(1)で考えた軌道に、必要な数の電子を配置することでその電子構造を考えることができる。その時に考慮すべき原理を一つ挙げ、その意味を簡単に説明せよ。
- (3) sp 、 sp^2 、 sp^3 の混成軌道で結合を説明できる最も簡単な炭化水素をそれぞれ一つずつ挙げよ。また、 sp^2 混成軌道からできる分子の π 軌道のおおよその形を書け。
- (4) 2-ブテンには $trans$ 型と cis 型の二つの構造異性体が存在する。この二つは通常の下条件下では互いに移り変わることはないが、紫外線を照射すると移り変わることができる。その理由を簡単に説明せよ。

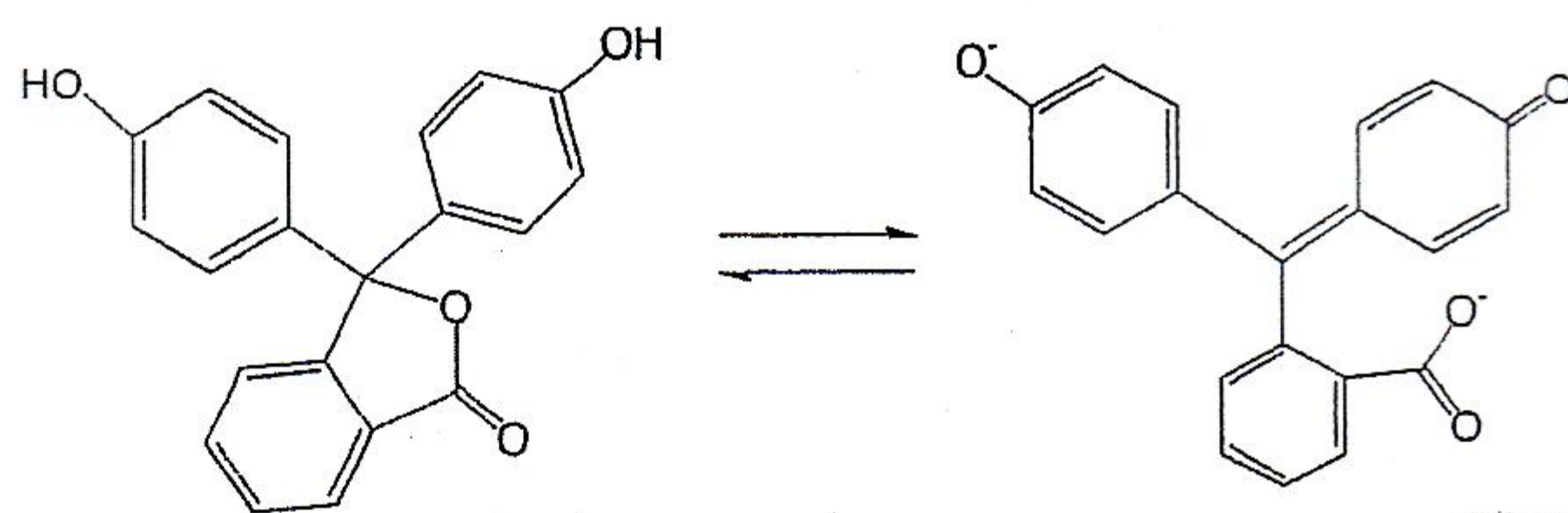
第3問 光（電磁波）と物質に関する以下の問に答えよ。

- (1) 波長 400 nm の光の振動数を求めよ。この波長の光の光子1個のエネルギーを求めよ。但し、光速は $3.0 \times 10^8\text{ m s}^{-1}$ 、プランク定数は $6.6 \times 10^{-34}\text{ J s}$ である。
- (2) 色の付いた物質を作るのには、炭化水素化合物の共役2重結合や、遷移金属の配位化合物を利用することができる。共役2重結合を利用する場合、色を変えるために

注意：以下の事項を守らない場合、不正行為とみなされることがある。

- ※学生証、時計、および筆記用具以外のものを机の上に置かない。筆入れなども鞆等にしまい、鞆は机の中、脇の椅子または床の上に置く。
- ※携帯電話等を時計の代わりに使用してはならない。
- ※特に出題者からの持ち込み可の指定がないかぎり、教科書、参考書、ノート等は鞆にしまう。
- ※解答用紙や計算用紙は所定の枚数以上に取らない。
- ※解答用紙は未記入であっても全て提出すること。

は何を制御すればよいか。一方、遷移金属の場合には、金属原子のどのような軌道が関与して色が付くのか。



(3) フェノールフタレインは、酸性

溶媒中とアルカリ性溶媒中で図のように構造を変える。図の二つの構造のうち、色が付いているのはどちらか。右、左で答えよ。色が付く理由も簡単に書け。

(4) 暗黒星雲の内部を観測するのに、電波望遠鏡は強力な手段である。電波望遠鏡は、暗黒星雲の中の何を観測することができるのか。

第4問 化学反応に関する以下の問に答えよ。

(1) 大気中のオゾンの生成反応は



の二つである。これらは、片方が高度が高い方が効率的に進む反応で、もう片方が逆に高度が低い方が効率的に進む反応になっている。どちらがどちらか。また、その理由を簡単に説明せよ。

(2) Chapman Cycle では、オゾンの消失に関わる反応をあと二つ考え、全体で定常状態になっていると考える。その反応式を示し、それぞれ (c)、(d) とせよ。

(3) (a)~(d) の反応で、オゾンが地上の生命にとって不可欠な役割を果たしていることに直接対応するのはどれか。それはどのような役割か。

(4) 多くの化学反応の反応速度は Arrhenius の式、

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

で表すことができる。式中の E_a を何と呼ぶか。また、その意味を説明する反応のポテンシャル曲線を書き、 E_a を示せ。一方、 A の大小はどのような要因で決まると考えられるか。

(5) 熱力学第二法則では、宇宙のエントロピーは増加するとされる。化学反応の進行方向を考察するには、ギブスの自由エネルギー変化 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ を用いることができる。(適当な式変形の後) それぞれの項の意味を示し、熱力学第2法則と関連付けて反応の進行条件を述べよ。

第5問 分子間には、化学結合程強くはないが、弱い引力が存在する。以下の問に答えよ。

(1) 飽和炭化水素は、炭素鎖が長いものほど沸点が高い。その理由を簡単に説明せよ。

(2) 疎水性相互作用で、油（炭化水素化合物）が集合する最大の要因を挙げ、そのメカニズムを説明せよ。構造水という言葉を参考にせよ。