

必要なら次の物理定数を用いなさい。 プランク定数： $h=6.63 \times 10^{-34}$  Js、真空の誘電率： $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$ 、電子の質量： $m=9.11 \times 10^{-31}$  kg、電子の電荷： $e=1.60 \times 10^{-19}$  C、光速： $c=3.00 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$ 、リュードベリ定数： $R=13.6 \text{eV}$ 、

1. 以下の設問に答えなさい。

- ボーアは水素原子のモデルとして、静止した陽子を中心として円運動する電子（質量： $m$ 、軌道半径： $r$ 、速度： $v$ ）を考えた。このとき、電子の円運動での遠心力  $mv^2/r$  は、陽子と電子の静電引力  $f(r)$  とつり合う。このときの、静電引力  $f(r)$  を式で表しなさい。
- 電子のド・ブロイ波長の整数倍が、電子の円運動の円周長に一致することを条件とすると、電子のもつ角運動量  $mv r$  は、どのように表されるか？量子数  $n$  を用いて答えなさい。
- (a)、(b) の結果を用いて、電子のとりうる軌道半径  $r$  を数式で表しなさい。
- 量子数  $n=2$  のときの電子の軌道半径を計算して、その数値を 単位で答えなさい。
- 量子力学の結果によると、水素原子の電子のようすは、波動関数によって表され、水素原子の  $1s$  波動関数 = 軌道 (orbital) の動径分布関数  $P(r)$  は、 $P(r) = 4r^2 e^{-2r/a_0} / a_0^3$  で与えられる（ただし、 $a_0$  はボーア半径である）。電子を見出す確率が最も高くなる半径  $r$  を求めなさい。ただし、求める過程の式も答えること。
- 水素原子に対するボーアのモデルにおいて得られる、 $n=1$  での電子の動径分布(i)と、量子力学を解いて得られる  $n=1$  での電子の動径分布(ii)を、それぞれ描きなさい。ただし、横軸を半径  $r$ 、縦軸を動径分布  $P(r)$  とすること。

2. 水素原子の軌道エネルギーが  $\epsilon_n = -R/n^2$  であることを参考にして以下の設問に答えなさい。

- 基底状態において  $3d$  軌道に電子をもつ最も原子番号の小さい元素を元素記号で答えなさい。
- $2p$  状態にある電子が取りうる量子数(主量子数  $n$ , 方位量子数  $l$ , 磁気量子数  $m_l$ , スピン磁気量子数  $m_s$ )の値をすべて書きなさい。
- 水素原子の  $N$  殻からの原子発光のうち、バルマー系列の波長を  $\text{nm}$  単位で求めなさい。
- 基底状態の  $\text{Li}$  原子の第3イオン化エネルギーを  $\text{eV}$  単位で求めなさい。

3. 次の(ア)～(コ)に、最も適した語句、記号、または数を入れて文章を完成しなさい。

炭素の同素体として、(ア) 混成の炭素からなる(イ)と、(ウ) 混成の炭素からなる(エ)が古くから知られている。(イ)では、全ての原子価電子が結合電子として局在化し、その電気伝導性は低い。(エ)の結合は不飽和で、混成していない不安定な  $2p$  軌道由来の(オ)結合を含み、その電子は非局在化するので高い電気伝導性を示す。1985年に第3の同素体として、 $\text{C}_{60}$  (右図)が発見された。六員環に共有された炭素間の結合距離は  $1.391$  とベンゼンの値に近く、五員環の炭素間の結合距離は  $1.455$  と、ブタジエンの中央一重結合部分より少し短い。このため、この炭素の混成は(カ)と考えられる。合計(キ)個の炭素の原子価電子によって、(ク)本の骨格の結合ができ、さらに(ケ)個の不安定な  $2p$  軌道由来の電子は非局在化した軌道に入る。3重に縮重したLUMOのエネルギーは低く、電子親和力は  $2.65 \text{eV}$  と大きな値となる。このため、Kなどのアルカリ金属を添加することにより、 $\text{C}_{60}$  は  $-6$  価までの負イオンとなり、Kとの強い(コ)結合性を示す。

