

〔I〕 次の文中の空欄（ア）～（キ）にあてはまる式を解答用紙（一）の該当する欄に記入せよ。また、解答用紙（一）の解答図（I-A）に適切なグラフの概形を描け。ただし、重力加速度の大きさを g とする。また、衝突はすべて瞬間的であるとする。

図1のように、水平な床からの高さが h_0 の位置から質量 m の小球 A を自由落下させ、床に衝突させた。A と床の間の反発係数（はね返り係数）を e ($0 < e < 1$) とすると、衝突直後の A の速さは （ア） であり、この衝突により A が床から受けた力積の大きさは （イ） である。

次に、図2のように、一端を床に固定した軽いばねを鉛直に立て、他端に質量 M ($M > m$) の板 B を取りつけた。はじめ、B にはたらく重力とばねの弾性力がつり合い、B は静止していた。このときの B の位置を、つり合いの位置と呼ぶことにする。B の上面からの高さが h の位置から小球 A を自由落下させたところ、A は B に衝突し、衝突後の A と B はそれぞれ鉛直方向に運動した。A と B の間の衝突は弾性衝突で、運動はすべて同一直線上で行われるものとする。この1回目の衝突において、衝突直前の A の速さに対する衝突直後の A の速さの比は （ウ） である。

1回目の衝突後、板 B が初めて B のつり合いの位置に戻ってきた瞬間に、小球 A と B は2回目の衝突をした。1回目の衝突から2回目の衝突までの時間は （エ） であり、床と B をつなぐばねのばね定数は （オ） である。B のつり合いの位置を B の高さの基準とすると、1回目の衝突から2回目の衝突までの間に B が達する最下点の位置は、B の高さの基準から距離 （カ） だけ低い。鉛直上向きを運動量の正の向きとしたとき、2回目の衝突をする直前の A と B の運動量の和は （キ） である。

板 B の質量が小球 A の質量の3倍 ($M = 3m$) であったとき、A を自由落下させてから A と B が3回目の衝突をするまでの、A の高さの時間変化を表すグラフの概形を解答図（I-A）に描け。ただし、B がつり合いの位置にあるときの B の上面を A の高さの基準とし、A を自由落下させた時刻を $t = 0$ 、A と B の1回目の衝突時刻を $t = t_1$ とする。

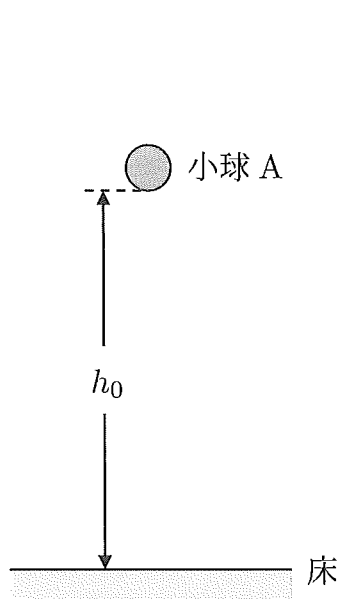


图 1

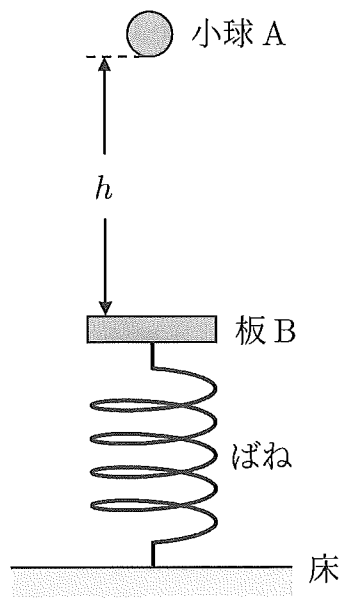


图 2

〔Ⅱ〕 次の文中の空欄（ア）～（ケ）にあてはまる式を解答用紙（二）の該当する欄に記入せよ。ただし，図1～3の交流電源 V が出力する交流電圧の角周波数を ω [rad/s] とする。

図1のように，電気容量 C [F] のコンデンサー C に交流電源 V を接続した。 C に流れる電流 I_1 [A] の正の向きを図の矢印の向きとする。 V が出力する交流電圧と電流 I_1 との間の最大値の関係や位相差を考えると，時刻を t [s] として， C に流れる電流 I_1 が $I_0 \sin \omega t$ [A] と表されるとき， C に加わる電圧（点 b に対する点 a の電位）は （ア） [V] と表される。

図2のように，自己インダクタンス L [H] のコイル L に交流電源 V を接続した。 L に流れる電流 I_2 [A] の正の向きを図の矢印の向きとする。先の場合と同様に考えると， L に流れる電流 I_2 が $I_0 \sin \omega t$ [A] と表されるとき， L に加わる電圧（点 b に対する点 a の電位）は （イ） [V] と表される。

図3のように，交流電源 V ，自己インダクタンス L_1 [H]， L_2 [H] のコイル L_1 ， L_2 ，電気容量 C_1 [F]， C_2 [F] のコンデンサー C_1 ， C_2 からなる回路がある。 L_1 と L_2 に流れる電流を I_L [A]， C_1 と C_2 に流れる電流を I_C [A] とし，それぞれの図の矢印の向きを正の向きとする。 C_1 と C_2 の合成容量は （ウ） [F] であるから， V から回路全体に加えている電圧（点 b に対する点 a の電位）を $V_0 \sin \omega t$ [V] とすると， I_C は （エ） [A] となり，点 b に対する点 c の電位は （オ） [V] と求められる。図3において， L_1 と L_2 は相互誘導が起こらないように配置されている。直列に接続された L_1 と L_2 には共通の電流 I_L が流れ，それぞれ自己誘導による起電力が生じる。点 b に対する点 a の電位を $V_0 \sin \omega t$ [V] とすると， I_L は （カ） [A] となり，点 b に対する点 d の電位は （キ） [V] と求められる。 C_1 ， C_2 ， L_1 ， L_2 の間に，ある関係が成り立つとき，点 c の電位と点 d の電位が等しくなる。この関係は， $C_2 =$ （ク） と表される。この関係が成り立つ回路において ω を変化させると，ある ω で $I_C + I_L = 0$ となり，交流電源からの電流が0となる。このときの ω は， L_1 と C_1 を用いて，（ケ） [rad/s] と表される。

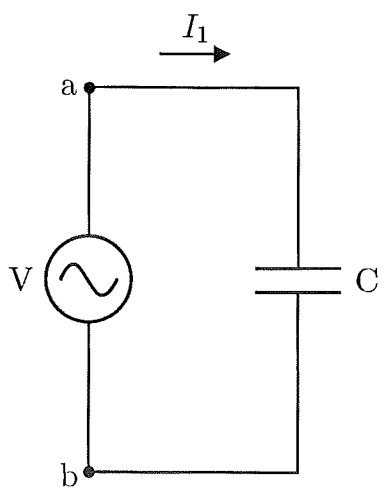


图 1

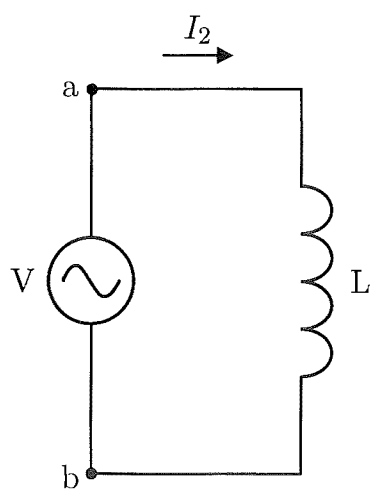


图 2

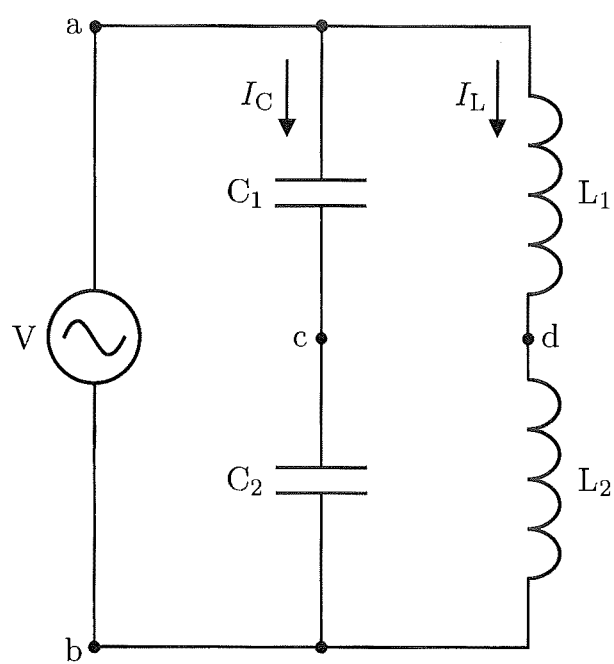


图 3

〔 III 〕 次の文中の空欄 (ア) ～ (ケ) にあてはまる式を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。また、文中の空欄 (a) ～ (d) にあてはまるグラフの概形を解答群から選び、その番号を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。ただし、静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k_0 、電子の質量を m 、電気素量を e 、プランク定数を h とする。

ラザフォードは実験の結果から、正に帯電している小さな原子核のまわりを電子が回っていると考えた。最も簡単な水素原子の模型として、電気量 $+e$ をもつ原子核のまわりを1つの電子が半径 r 、速さ v で等速円運動しているとしよう。電子と原子核との間にはたらく静電気力の大きさは、 r 、 k_0 、 e を用いて、(ア) と表される。この静電気力が向心力となって電子が等速円運動していることから、電子の軌道半径 r は、 v 、 k_0 、 m 、 e を用いて、(イ) と表される。電子の円運動を特徴づける物理量の1つに電子の角運動量の大きさ L がある。電子の角運動量の大きさ L は、 $L = mrv$ により定義される。電子の軌道半径 r は、この L と k_0 、 m 、 e を用いて、(ウ) と表される。また、無限遠を基準とする静電気力による電子の位置エネルギーは、 r 、 k_0 、 e を用いて、(エ) と表され、この位置エネルギーと電子の運動エネルギーの和である全エネルギー E は、 L 、 k_0 、 m 、 e を用いて、 $E =$ (オ) と表される。

電磁気学によると、電子のような荷電粒子は円運動すると電磁波を放射してエネルギーを失う。電子がエネルギーを失い続けると、やがて電子は原子核に落ち込んでしまい、安定な原子は存在しないことになる。ボーアは、電子の角運動量の大きさ L が、 n を正の整数として、 $L_n = n \frac{h}{2\pi}$ というときとびとびの値をとるとき、水素原子は定常状態となり、電子は電磁波を放射しないと仮定した。この $L = L_n$ の条件を量子条件といい、 n を量子数という。量子数 n の定常状態にあるときの電子の全エネルギー E は、エネルギー準位と呼ばれ、 $E = E_n$ と書かれる。また、ボーアは、電子が量子数 n のエネルギー準位 E_n の定常状態から、量子数 n' のそれより低いエネルギー準位 $E_{n'}$ の定常状態に遷移するとき、1つの光子が放出されると仮定した。この光子の振動数は、エネルギー保存の法則より、 E_n 、 $E_{n'}$ 、 h を用いて、(カ) と表される。

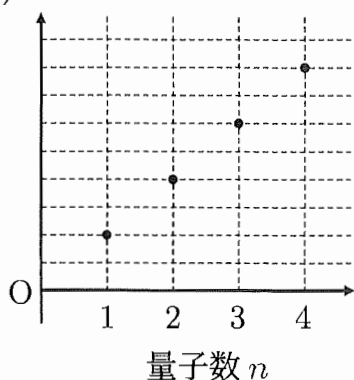
ボーアの原子模型が提唱された後にド・ブロイは、電子の波動性 (電子波) を提唱した。電子波の波長は、 v 、 m 、 h を用いて、(キ) と表される。量子数 n の定常状態にあるとき、電子波の波長 λ_n は、 L_n 、 k_0 、 h 、 m 、 e を用いて、(ク) と表される。また、上で考えた量子数 n の定常状態からより低いエネ

ルギー準位をもつ量子数 n' の定常状態に遷移するとき放出される光子の振動数は、 h , m , λ_n , $\lambda_{n'}$ を用いて、(ケ) と表される。

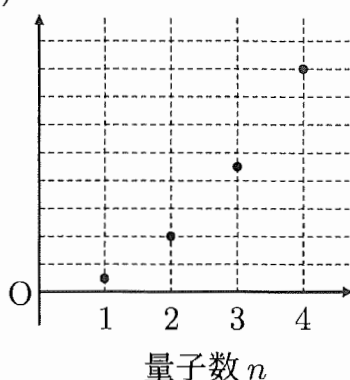
量子数 n の定常状態にある電子の軌道半径 r_n , 速さ v_n , 電子波の波長 λ_n , エネルギー E_n のそれぞれと量子数 n の関係を表すグラフの概形として最も適切なものを解答群の中からそれぞれ選ぶと、軌道半径 r_n は (a), 速さ v_n は (b), 電子波の波長 λ_n は (c), エネルギー E_n は (d) である。

[解答群]

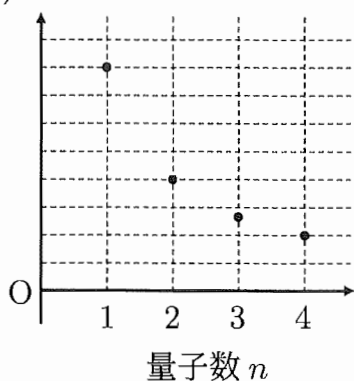
(1)



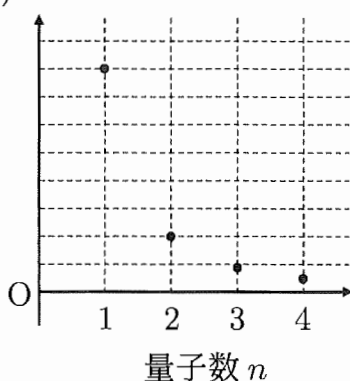
(2)



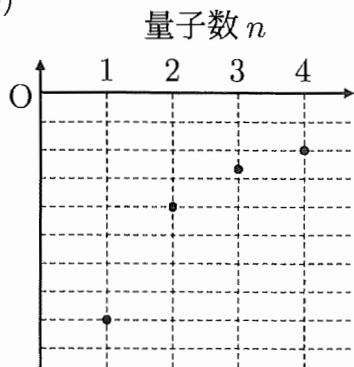
(3)



(4)



(5)



(6)

