（令 8 理物後）　　　# 小　論　文

（問題部分は 1 ～ 5 ページ）

・ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意　解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

小論文　　400 点

I　図のように，質量 $2m$ の小物体 A と質量 m の小物体 B が，ばね定数 k のばねでつながれて，なめらかな水平面上に置かれている。ばねは最初自然長 ℓ の状態にある。x 軸の左側から質量 m の小物体 C を速さ v_0 で小物体 A と衝突させる。ただし，運動は x 軸に沿ってのみ起き，衝突は弾性衝突とする。また，ばねの重さと小物体の大きさは無視できるものとする。以下の問 1 〜 5 に答えなさい。文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば，それらを表す記号を定義し，解答欄に明示しなさい。(配点 140 点)

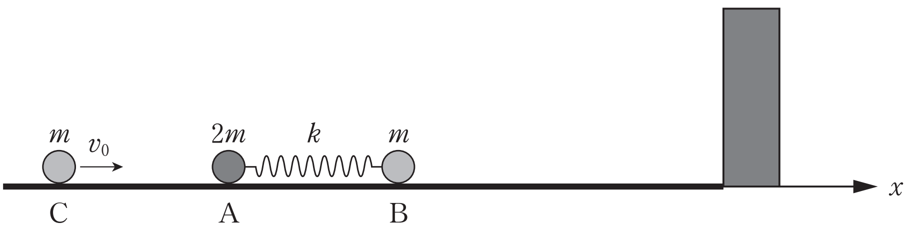
問 1　小物体 C と小物体 A の衝突直後の速度を求めなさい。

問 2　壁に到達するまでの間，衝突後の小物体 A と小物体 B の重心の運動がどうなるのかを説明しなさい。

問 3　衝突後，壁に到達するまでは，重心からみたとき小物体 A と小物体 B はそれぞれ単振動しているものとみなせる。最初の振動でのばねの最大の縮みを計算しなさい。

問 4　重心からみて，小物体 B が 1 周期分だけ振動したとき，小物体 B が壁に到達した。最初の時点で，小物体 B は壁からどれだけ離れていたのか，答えなさい。

問 5　小物体 B はやがて壁から離れる。この後，小物体 B が再び壁に衝突することはありえるか。理由とともに答えなさい。



Ⅱ　図1のように，幅 w，長さ ℓ，厚さ d の直方体の導体に電池をつないで，側面 X_a と X_b の間に電圧 V を加えたところ，電流 I が流れた。自由電子の電気量を $-e$ (e は電気素量)とし，単位体積あたりの自由電子の数を n とする。以下の問1～5に答えなさい。文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば，それらを表す記号を定義し，解答欄に明示しなさい。(配点 130 点)

問 1　導体内を流れる自由電子の速さを v とすると，自由電子は陽イオンなどから大きさ kv(k は比例係数，$k > 0$)の抵抗力を受ける。この抵抗力と，側面 X_a と X_b の間に生じる電場からの力がつりあっている。この関係を用いてオームの法則を導きなさい。

問 2　オームの法則は，導体に流れる電流が十分に小さいときに成り立つが，電流を大きくすると成り立たなくなる。銅やタングステンなどの金属に大きな電流を流し，オームの法則に従わないときの，電流と電圧の関係の概略をグラフに描きなさい。ただし，横軸を電流，縦軸を電圧とする。また，なぜそうなるか理由を説明しなさい。

つぎに，問1と同じ導体を図2のように水平面に置き，鉛直上向きに磁束密度の大きさ B の磁場を加えたところ，導体の側面 Y_a と Y_b の間に電位差が生じた。

問 3　この現象の発見者にちなんだ名称を答えなさい。また，電気伝導を担う粒子(キャリア)が電子の場合，側面 Y_a と Y_b ではどちらの電位が高いか。理由とともに答えなさい。さらに，側面 Y_a と Y_b の電位差を V_y としたときの単位体積あたりのキャリアの数 n を，V_y，I，B，e，d を用いて答えなさい。

問 4　半導体は，(a) 真性半導体，(b) n 型半導体，(c) p 型半導体に分類できる。シリコン結晶に微量のアルミニウムを含んだ半導体は，(a)～(c)のうちどの半導体に属するか答えなさい。また，その理由も説明しなさい。

問 5　図 2 の導体を問 4 でとりあげた半導体にかえて，側面 Y_a と Y_b の間の電位差を測定した。側面 Y_a と Y_b ではどちらの電位が高いか。理由とともに答えなさい。

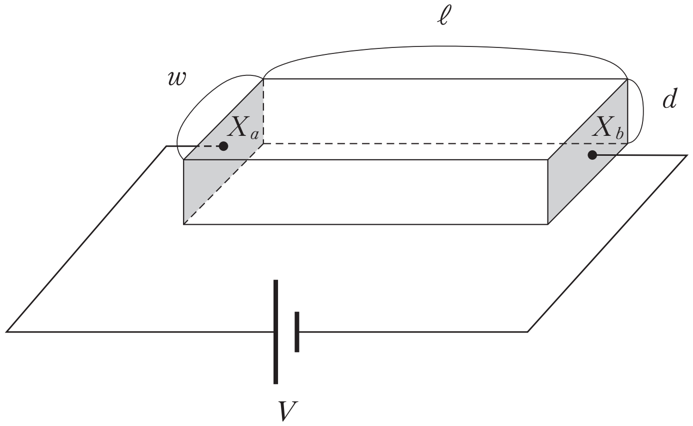


図 1

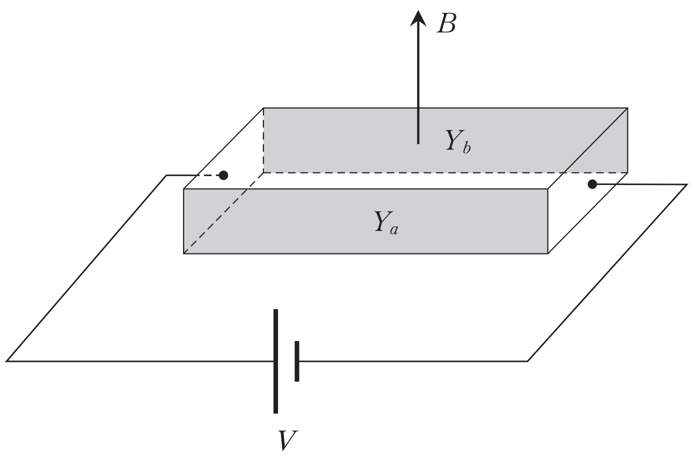


図 2

Ⅲ　大学で学ぶ量子力学では，物体の存在が確率的に表されるなど，直感に反するような現象も記述される。例えば，「シュレーディンガーの猫」という思考実験がある。これは，放射線によって起動される装置と猫を密閉した箱に閉じ込めておくと，猫の生存が確率的に記述されるというものである。この思考実験を題材として次のような実験について考えてみよう。以下の問 1 〜 5 に答えなさい。文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば，それらを表す記号を定義し，解答欄に明示しなさい。（配点 130 点）

問 1　放射性同位体の原子核は確率的に崩壊する。N_0 個の放射性同位体の原子核が崩壊によって $\frac{1}{2}N_0$ 個になるまでの時間 T を半減期という。時刻 $t = 0$ で N_0 個の原子核が存在したとき，時刻 t での原子核の数 $N(t)$ を求めなさい。

問 2　問 1 の解が $N(t) = N_0\,e^{-\lambda t}$ と表されるとき，λ を T で表しなさい。

問 3　時刻 t での単位時間あたりの崩壊数 $-\dfrac{\Delta N(t)}{\Delta t}$ が $\lambda N_0\,e^{-\lambda t}$ となることを説明しなさい。ただし，$\Delta N(t)$ は時刻 t において微小時間 Δt の間に変化する原子核の数である。

ここで図のような実験装置を考え，放射性同位体から放出された α 粒子が標的に到達すると，装置が動作して「猫」が即座に倒れるとする。1 回の崩壊で 1 個の α 粒子が放出される場合を考え，α 粒子の放出される方向に偏りがないものとする。

問 4　放射性同位体から距離 L の所にある半径 r の円状の標的に，1 回の崩壊で α 粒子が到達する確率を求めなさい。ただし，$L \gg r$ とし，放射性同位体は十分に小さく，標的の中心を通る法線上にあるものとする。また，装置全体は真空中に設置され，α 粒子は標的に到達するまで直進するものとする。

問 5　問 4 において，$L = 1\ \mathrm{m}$，$r = 1 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}$ とし，$T = 4 \times 10^{2}$ 年の放射性同位体を $1 \times 10^{-14}\ \mathrm{mol}$ 用いた実験を行った場合に，1 日後に「猫」が倒れている確率を求め，その意味するところを考察しなさい。必要であれば，$\log_e 2 = 0.69$，アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$ を用いること。また，$|x| \ll 1$ の場合に $e^x = 1$ であることを用いてよい。