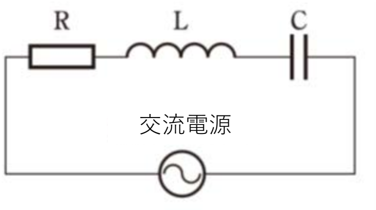
物理演習　第３ターム試験　<対象：12B ロ群>　2020.12.11（金）1 限

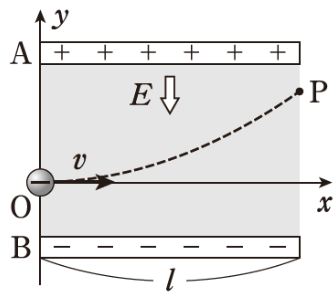
※ 問題用紙 1 枚両面印刷・解答用紙 1 枚両面印刷。
※ 数値で答えるものは**有効数字に気をつけて**，値を答える場合は**必ず単位を付ける**こと。
※ 途中式を記入する欄がある問題は、記入すれば誤答の場合でも途中点がつく場合がある。
※ 記述問題は基本的に文章で答えるものだが，図表などを書いて補足してもよい。
※ 余白と書かれた問題は，解答欄を用意していない。これらに対する答えは，解答用紙裏面の余白に，問題番号と共に記すこと。

1 図のように、40 Ω の抵抗 R、自己インダクタンス 0.20 H のコイル L、電気容量5.0×10^2 μF のコンデンサーC を直列に接続し、交流電源につないで電圧を印加した。交流電圧の実効値を 5.0×10^2 V, 周波数 $f=\frac{2.0\times10^2}{2\pi}$ Hz として、以下の問いに答えよ。



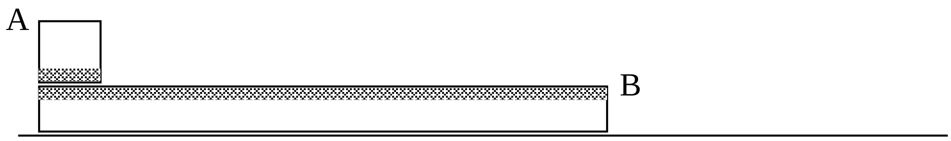
(1) コイルのリアクタンス X_L を求めよ。
(2) コンデンサのリアクタンス X_C を求めよ
(3) 回路のインピーダンス Z を求めよ。
(4) 回路を流れる交流電流の実効値 I_e はいくらか。
次に、電源の周波数をいろいろに変えて、流れる交流電流の大きさを測定した。
(5) 流れる電流の大きさが最大となる電源の周波数 f を求めよ。

2 図のように，x軸と平行な長さlの 2 枚の極板 AB 間に，y軸の負の向きに強さEの一様な電場をかける。質量m，電荷 $-e$の電子を，点 O からx軸の正の向きに速さvで進入させると, 電場によって曲げられ, 点 P で電場中から出た。



(1) 電場中での電子の加速度を求めよ。
(2) 電子が電場を通過する時間 t を求めよ。
(3) 点 P のy座標はいくらか。
(4) 電子の比電荷$\frac{e}{m}$を，yを含んだ式で表せ。
(5) $0\leqq x\leqq l$の区間に磁場をかけ電場に進入した電子を直進させたい。どのような磁場をかければよいか。向き（上・下・左・右・奥・手前のいずれか）と磁束密度の大きさを答えよ。

3 図のように、物体 A と板 B が床の上に置かれている。物体 A、板 B の長さはそれぞれ l_1 、l_2 であり、質量はそれぞれ m_1 、m_2 である。物体 A と板 B が接している面の動摩擦係数は μ' であり、板 B と床の間には摩擦がはたらかないものとする。物体 A に初速度 v_0 を与えた瞬間を $t=0$ とし、以下の問いに答えよ。なお、重力加速度は g とする。



(1) 物体 A の鉛直方向のつり合いの式と、水平方向の運動方程式を立てよ。なお、必要に応じて力の大きさを文字でおいてもよい。
(2) 板 B の鉛直方向のつり合いの式と、水平方向の運動方程式を立てよ。なお、必要に応じて

力の大きさを文字でおいてもよい。

(3) 物体A、板Bの加速度 a_1、a_2 をそれぞれ求めよ。

物体A、板Bの速さを v_1、v_2 とし、$v_1 = v_2$ になる瞬間の時刻を t' とする。

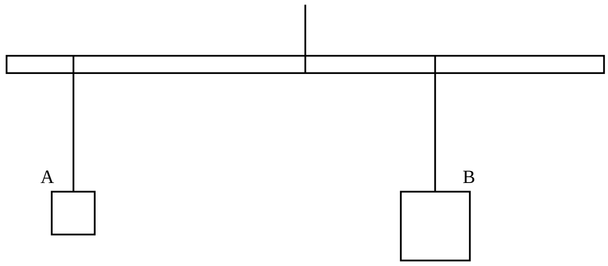
(4) v_1、v_2 について表した $v-t$ グラフの概形を示せ。なお、 $m_1 < m_2$ であるとする。

(5) t' を求めよ。

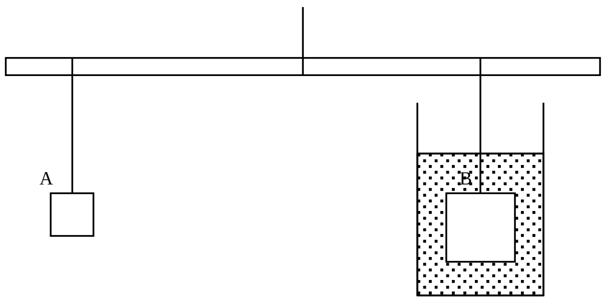
(6) 最終的に物体Aが板Bからはみ出さない v_0 の最大値はいくらか。

4 なめらかな水平面上に，等しい質量 m の小球A，Bがある。Aが速さ v で等速直線運動をして，静止しているBに正面衝突をした。反発係数 e が，次の(1)～(3)の場合，衝突後のA，Bの速さと，衝突のときの力学的エネルギーの変化量をそれぞれ求めよ。

(1)　$e=1$　　(2)　$e=\frac{3}{5}$　　(3)　$e=0$



5 長さ100cmの定規、120gのおもりA、未知のおもりBがある。定規の中央（左端から50cm）を支点として定規をたこ糸で吊り、左端から10cmの点におもりA、左端から70cmの点におもりBを吊り下げたところつりあった。また、おもりBを水に沈め、吊り下げる位置を再度調整したところ、左端から80cmの点で再度つり合った。以下の問いに答えよ。なお、水の密度は $1.0\times10^3\ \mathrm{kg/m^3}$ である。



(1) おもりBの質量はいくらか。

(2) おもりBの体積はいくらか。

(3) おもりBの材料の密度はいくらか。

6 次に示す文章は、ボーアの原子模型とリュードベリ定数について説明したものである。空欄に入る式を答えよ。

ボーアは、軌道上の電子が取り得る電子のド・ブロイ波長は、軌道の長さの整数倍しか取り得ないことを仮定した。これは、電子の軌道半径を r 、電子のド・ブロイ波長をλとすると、

$$2\pi r = n\lambda \quad (\text{ただし } n=1,2,3,\cdots) \qquad \cdots (1)$$

である。プランク定数を h とすると、ド・ブロイ波長は一般的に

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad \cdots (2)$$

であることから、電子の粒子としての質量をm、速さをvとすると、(1)に(2)を代入して、

$$mvr = \boxed{ア} \qquad \cdots (3)$$

であり、この式はボーアの量子条件を表している。また、ボーアは量子条件と一緒に振動数条件も示した。これは、電子が別の定常状態に遷移するときに光子 1 つを吸収または放出するため、状態遷移におけるエネルギー差分 ΔE_n の大きさと、吸収・放出される光子 1 つのエネルギーの大きさが同じであると仮定したものである。エネルギー保存より、振動数条件は

$$\Delta E_n = h\nu \qquad \cdots (4)$$

と示される。

これらの条件より、水素原子における電子の軌道半径を求めよう。水素原子の原子核が $+e$ の電気量を、電子が $-e$ の電気量を持つと考えて、電子が原子核のまわりを等速円運動すると考えるなら、電子の運動方程式は

$$\boxed{\text{イ}} = \boxed{\text{ウ}} \qquad \cdots (5)$$

と示せる。 電子の軌道は量子条件を満たすものだけが認められるため、(5)の運動方程式に(3)の量子条件を代入し、 v を消去して解くと

$$r = \boxed{\text{エ}} \qquad \cdots (6)$$

であるとわかる。

この電子の持つ全エネルギーは、粒子の運動エネルギーと静電気力による位置エネルギーの和で示すことができる。これらの運動エネルギー K と位置エネルギー U はそれぞれ

$$K = \boxed{\text{オ}} \qquad \cdots (7)$$
$$U = \boxed{\text{カ}} \qquad \cdots (8)$$

と表せることから、その和は、

$$E_n = K + U = \boxed{\text{キ}} \qquad \cdots (9)$$

である。これに(6)式を代入すると、量子数 n の状態にある電子が持つ全エネルギー E_n を求めることができる。

$$E_n = \boxed{\text{ク}} \qquad \cdots (10)$$

翻って、リュードベリ定数について考えよう。ある電子が量子数 n_1、エネルギー E_{n1} の状態から 量子数 n_2、エネルギー E_{n2} の状態に遷移したとき、そのエネルギー差分 ΔE_n は (9) 式を利用して、

$$\Delta E_n = E_{n2} - E_{n1} = \boxed{\text{ケ}} \qquad \cdots (11)$$

である。一方、振動数条件(4)より、光速度を c とすると波の基本式は

$$c = \nu\lambda \qquad \cdots (12)$$

になるため、これを(4)式に代入すると、

$$\Delta E_n = h\nu = \boxed{\text{コ}} \qquad \cdots (13)$$

である。リュードベリが着目したのは $\frac{1}{\lambda}$ である。この量は、(13)式と(11)式から、

$$\frac{1}{\lambda} = \boxed{\text{サ}} \qquad \cdots (13)$$

と導出でき、右辺の定数部分がリュードベリ定数 R_∞ と同じである。

$$R_\infty = \boxed{\text{シ}} \qquad \cdots (14)$$

7 余白チャレンジ問題

(1) LC 共振回路において、コイルのインダクタンスをL、コンデンサの電気容量をCとしたとき、共振周波数 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ となる理由について、文章・図・式を使って説明せよ。

(2) ある放射性物質の原子核が $t = 0$ の時点で N_0 個存在した。1 秒間に全体の λ 倍（$0 \leqq \lambda \leqq 1$）だけ崩壊するとき、t 秒後に崩壊せずに残っている原子核の数 N を求めよ。なお、ネイピア数を e とする。

(3) 高校の 3 年間で、あなたが最も楽しいと感じた科学的活動について、100 字程度で説明しなさい。