

## 令和3年度入学試験問題

# 物 理

### 注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答用紙の指定されたところに解答のみ記入しなさい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は4枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて12ページあります。問題は4ページから11ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出なさい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰りなさい。





1 図1に示すように、小物体 A, B, C が伸びない軽い糸で連結されている。小物体 A は台のあたり水平な面上に置かれている。小物体 A の右側につながれた糸は、水平に張られ、なめらかに回転する軽い滑車を経て小物体 B をつり下げている。さらに、小物体 B につながれた別の糸が小物体 C をつり下げている。小物体 A の左側には軽いばねがつながれており、ばねの他端には支柱が取り付けられている。すべての物体が静止した状態から、小物体 A につながっている糸とばねとが同一直線上となるように支柱を左方向へゆっくりと引っ張っていき、小物体 A が左へ動き出す直前で支柱を台に固定した。小物体の質量は3つとも  $m$  [kg]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、ばね定数を  $k$  [N/m]、小物体 A と面との間の動摩擦係数を  $\mu'$  とし、以下の問いに答えよ。ただし、空気抵抗は無視してよい。

- (a) 支柱を台に固定したとき、ばねは自然長から  $x_a$  [m] 伸びており、すべての物体は静止していた。答えには  $m, g, k, x_a$  のうち必要な記号を用いよ。
- (i) 小物体 A につながる糸の張力の大きさ  $T_a$  [N] を求めよ。
- (ii) 小物体 A に面から作用する摩擦力の大きさ  $F_a$  [N] を求めよ。
- (iii) 小物体 A と面との間の静止摩擦係数を求めよ。
- (b) 次に小物体 B と C の間の糸を切断すると、小物体 A が左へ動き出した。その後、小物体 A は右に動くことなく停止した。この間、糸はたるまず、小物体 B と滑車は接触しなかった。停止したとき、ばねは自然長より長く、自然長からの伸びは  $x_b$  [m] であった。
- (i) 物体が運動している間のばねの自然長からの伸びを  $x$  [m]、小物体 A につながる糸の張力の大きさを  $T$  [N] とする。小物体 A と小物体 B の加速度を  $a$  [m/s<sup>2</sup>] とする。ただし、 $a$  は小物体 A については図1の左向きを正とし、小物体 B については鉛直上向きを正とする。小物体 A が左へ動き始めてから停止するまでの間の小物体 A, B の運動方程式をそれぞれ記せ。答えには  $T, a, m, g, k, x, \mu'$  のうち必要な記号を用いよ。
- (ii) 問(b)(i)の運動方程式から  $T$  および  $a$  を求めよ。答えには  $m, g, k, x, \mu'$  のうち必要な記号を用いよ。
- (iii) 小物体 A が左へ動き始めてから停止するまでの間、摩擦力が小物体 A にした仕事  $W$  [J] を求めよ。答えには  $m, g, x_a, x_b, \mu'$  のうち必要な記号を用いよ。
- (iv)  $\mu'$  を求めよ。答えには  $m, g, k, x_a, x_b$  のうち必要な記号を用いよ。

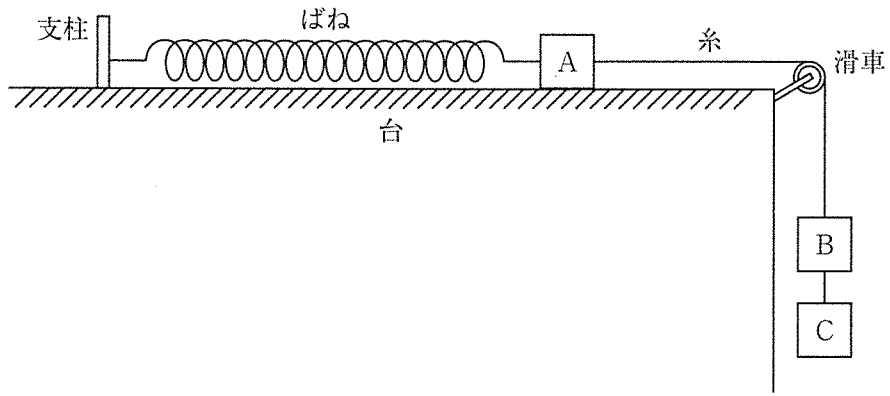


図 1

**2** 図1のように  $x$  軸上に、反射板 R、音源 S、観測点 A が順に並んでいる。 $x$  軸上で、S は  $x = x_S$ 、A は  $x = x_A$  の位置に固定されている。R は一定の速さ  $v_R$  で  $x$  軸上の正方向へ運動しており、時刻  $t = 0$  のとき R は  $x = 0$  を通過した。 $v_R$  は音の速さ  $V$  よりも小さい。 $t = 0$  以前も含めて、S は振動数  $f$  の音を常に出し続けている。以下の問いに答えよ。ただし、R が S の左側にある場合について考え、波の数は 1 波長分の音波を 1 つとし、R と S の間の距離は音の波長よりもじゅうぶん大きいとする。

(a) S から出て R に届く音を考える。

- (i) S から R へ向かう音のうち、 $t = 0$  の瞬間に S と R の間にある波の数  $n_1$  を  $f$ 、 $x_S$ 、 $x_A$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (ii)  $t = 0$  に S から出た音は、その後、時刻  $t_1$  に R に届いた。 $t_1$  を  $x_S$ 、 $x_A$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (iii)  $t = 0$  から  $t = t_1$  までの間に、R で反射された音の波の数  $n_2$  を  $f$ 、 $x_S$ 、 $x_A$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (iv) R で観測される音の振動数  $f_1$  を  $f$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。

(b) R で反射された音について考える。

- (i) 問(a)(ii)の  $t = t_1$  での R と A の間の距離  $d$  を  $x_A$ 、 $v_R$ 、 $t_1$  のうち必要なものを用いて書け。
- (ii)  $t = t_1$  に R により反射された音は、その後、時刻  $t_2$  に A に届いた。 $t = t_1$  から  $t = t_2$  までの時間  $\Delta t = t_2 - t_1$  を、前問の  $d$  と  $x_S$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (iii)  $t = t_1$  から  $t = t_2$  までの間に、R で反射された音の波の数  $n_3$  を、前問の  $\Delta t$  と  $f$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (iv) R で反射された音の波長  $\lambda_2$  を  $d$ 、 $v_R$ 、 $\Delta t$  および問(a)(iv)の  $f_1$  のうち必要なものを用いて書け。
- (v) R で反射され A で観測される音の振動数  $f_2$  を  $f$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。
- (vi) R で反射され A に届く音と S から直接 A に届く音により、A でうなりが観測された。1 秒あたりに観測されるこのうなりの回数を  $f$ 、 $V$ 、 $v_R$  のうち必要なものを用いて書け。

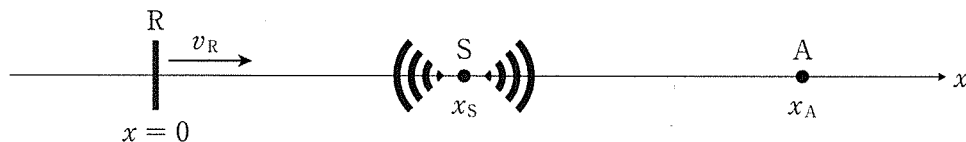


図 1

(下書き用紙)

**3** ドーナツ状の鉄心に巻数  $N_1$  のコイル1と巻数  $N_2$  のコイル2が図1のように巻いてある。コイル1には、電源が接続されている。コイル2には、抵抗値  $R[\Omega]$  の抵抗とスイッチ  $S$  が直列に接続されている。

鉄心内の磁束  $\Phi$  [Wb] は、図1に示す磁束線の矢印の向きを正とする。コイル1およびコイル2に流れる電流  $I_1$  [A] と  $I_2$  [A] は図1の矢印の向きを正とする。コイル1がつくる磁束は、コイル1の電流  $I_1$  と  $N_1$  に比例する。同様にコイル2がつくる磁束も電流  $I_2$  と  $N_2$  に比例する。鉄心内の磁束  $\Phi$  は鉄心外部に漏れず、鉄心の円周方向に一様とする。磁束  $\Phi$  はコイル1とコイル2がつくる磁束の足し合わせとなり以下の式で表される。

$$\Phi = \alpha(N_1 I_1 + N_2 I_2) \quad (1)$$

ここで  $\alpha$  [Wb/A] は正の比例定数である。

$\Delta t$  [s] 間における磁束  $\Phi$  の変化量を  $\Delta\Phi$  [Wb] とすると、コイル1に生じる誘導起電力  $V_1$  は以下の式で表される。

$$V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

$V_1$  は図1の矢印の向きを正とする。

スイッチ  $S$  が開いているときと閉じているときの2通りの実験を行った。

以下の問いには、特に指示のない限り、 $R$ 、 $\alpha$ 、 $N_1$ 、 $N_2$  および以下の設問中の  $V_0$ 、 $T$  のうち、必要なものを用いて答えよ。ただし、コイルと導線の抵抗は無視できる。

(a) スイッチ  $S$  が開いている場合の実験を考える。電源により電流  $I_1$  を調整し、図2のように、コイル1に生じる誘導起電力  $V_1$  [V] が、時刻  $t = 0$  [s] から時刻  $t = 2T$  [s] までは  $-V_0$  [V] に、時刻  $t = 2T$  [s] からは  $0$  [V] となるようにした。時刻  $t = 0$  [s] では  $\Phi = 0$  [Wb] である。以下の文中の

(ア) ~ (ウ) と (オ) ~ (コ) には、あてはまる適切な式を解答欄に記入せよ。

(エ) は選択肢の中から適切な語句を選択し、解答欄に記入せよ。

スイッチ  $S$  が開いているので  $I_2 = 0$  であり、鉄心内の磁束  $\Phi$  [Wb] は、式(1)より以下の式で表される。

$$\Phi = \alpha N_1 I_1 \quad (3)$$

時刻  $t = T$  [s] のときの磁束  $\Phi$  [Wb] と電流  $I_1$  [A] を求めてみる。時刻  $0 < t < 2T$  では式(2)より  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  は (ア) [Wb/s] となるので、時刻  $t = T$  [s] では、磁束  $\Phi$  は (イ) [Wb]、電流  $I_1$  は (ウ) [A] となる。時刻  $t > 2T$  では  $\Phi$  は (エ) : 増加する・変わらない・減少する。時刻  $t = 3T$  [s] のときの磁束  $\Phi$  は (オ) [Wb]、電流  $I_1$  は (カ) [A] となる。

ここで、図1のコイルの自己インダクタンスと相互インダクタンスについて考える。 $\Delta t$  [s] 間に電流  $I_1$  が  $\Delta I_1$  [A] 変化したとする。式(2)と式(3)より、 $V_1 =$  (キ)  $\times \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$  が得られる。この式を、自己インダクタンス  $L_1$  [H] を用いて、 $V_1 = -L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$  と表す。自己インダクタンス  $L_1$  は (ク) [H] である。コイル2の誘導起電力  $V_2$  [V] は、時間  $\Delta t$  [s] の間に磁束  $\Phi$  が  $\Delta\Phi$  [Wb] 変化したとすると、 $V_2 =$  (ケ)  $\times \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  となる。ここで、 $V_2$  は図1の矢印の向きを正とする。 $\Delta t$  [s] 間の電流  $I_1$  の変化量  $\Delta I_1$  [A] と、コイル1とコイル2の間の相互インダクタンス  $M$  [H] を用いて、 $V_2$  を  $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$  と表す。相互インダクタンス  $M$  は (コ) [H] である。



- (b) 次にスイッチSが閉じている場合の実験を考える。問(a)と同様に、電源により電流  $I_1$  を調整し、誘導起電力  $V_1$  を図2のように変化させた。時刻  $t = 0$  [s] では  $\phi = 0$  [Wb] である。
- (i) 時刻  $t = T$  [s] のときのコイル2の両端に生じる誘導起電力  $V_2$  [V] と電流  $I_2$  [A] を求めよ。
- (ii) 時刻  $t = T$  [s] のときの電流  $I_1$  [A] を求めよ。

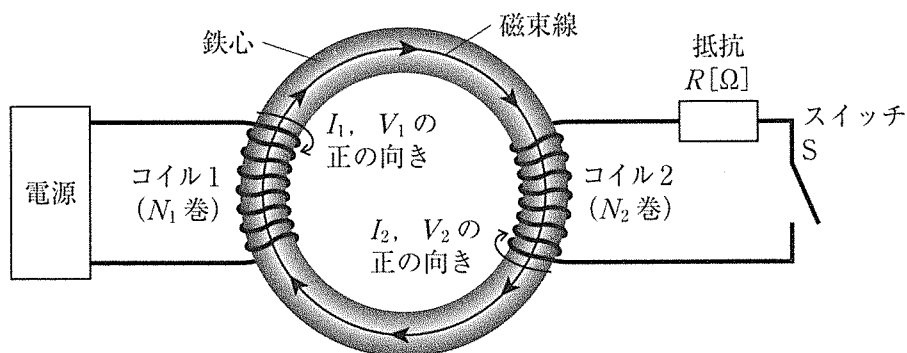


図1

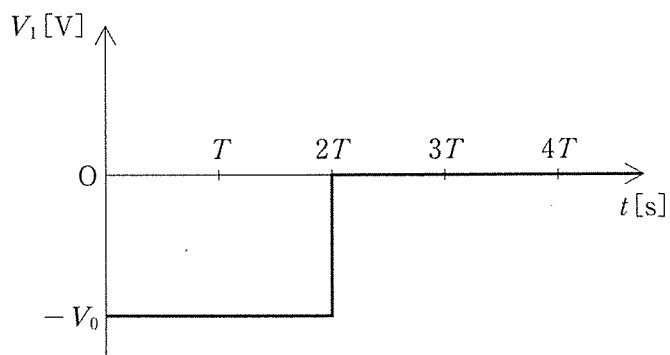


図2

4 X線の発生とX線回折に関する実験を行った。電子の電気量の大きさを $e$ [C]とする。以下の文章を読み、(ア)～(キ)にあてはまる適切な式または語句、数値を該当する解答欄に記入せよ。答えには $e$ および以下の設問に出てくる $V$ ,  $n$ ,  $d$ ,  $\theta$ ,  $\lambda$ より必要な記号を用いよ。(イ)と(ウ)には適切な語句を選択し、解答欄に記入せよ。

(a) 図1に示すように、内部を真空にしたX線管の陰極を熱し、陰極から放出された電子(熱電子)を高電圧 $V$ [V]で加速して陽極に衝突させることでX線を発生させた。X線の波長と強度の関係を調べたところ、図2に示すようなX線スペクトルが得られた。X線スペクトルは連続的に変化する連続X線と、鋭いピークの固有(特性)X線からなっている。

陽極の金属原子の内側の軌道にある電子は、入射電子と衝突することで入射電子のエネルギー(ア) [J]の一部を受け取る。衝突によって内側の軌道の電子がたたき出されると、その空いた軌道に外側の軌道の電子が落ちることで固有X線が発生する。また、陽極に入射した電子が陽極の原子によって軌道を曲げられたとき連続X線が放射される。

連続X線の最短波長は、入射電子のエネルギーがすべて光子になるとして求められる。加速電圧を大きくしたとき、連続X線の最短波長は(イ):長くなり・変わらず・短くなり, 図2における2本の固有X線の波長は(ウ):長くなる・変わらない・短くなる。

加速電圧を $3.50 \times 10^4$  VにしてX線を発生させた。プランク定数を $h = 6.63 \times 10^{-34}$  J·s, 真空中の光速を $c = 3.00 \times 10^8$  m/s, 電子の電気量の大きさを $e = 1.60 \times 10^{-19}$  Cとして、真空中における連続X線の最短波長を有効数字3桁で求めると(エ) mとなる。

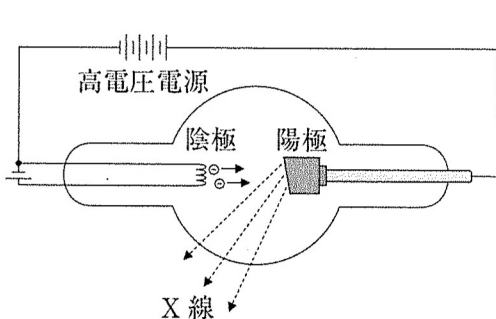


図1

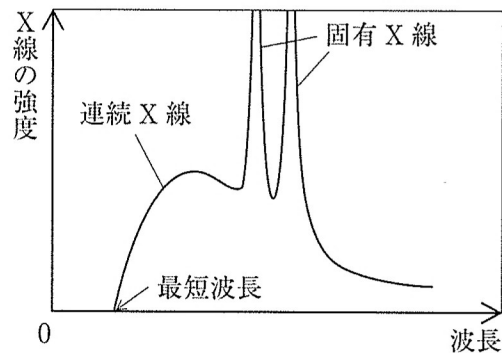


図2

(b) 図3に示すように結晶中では、原子が平面上に規則正しく配列した格子面(結晶面)が平行に等間隔 $d$ [m]で並んでいる。格子面にX線を入射させると、X線は何層にもわたる格子面の多くの原子によって散乱される。このとき、1つの格子面を構成する原子で散乱されるX線のうち、反射の法則をみたす方向に進む反射X線は同位相になって強め合う。また、隣り合う格子面における反射X線が同位相であれば、それぞれの格子面で反射されるX線は強め合う。入射X線と格子面のなす角を $\theta$ とすると、格子面Aと格子面Bに入射して反射されるX線の経路差は $d$ ,  $\theta$ を用いて(オ) [m]となる。この経路差がX線の波長の整数倍になるときに反射X線が強め合うので、入射X線の波長 $\lambda$ [m],

整数  $n$ ,  $d$ ,  $\theta$  を用いて, 反射 X 線が強め合う条件は (カ) となる。

隣り合う格子面が  $3.43 \times 10^{-10}$  m 間隔で並んでいる物質表面に波長  $1.54 \times 10^{-10}$  m の X 線を入射させた。 $\theta$  を  $0^\circ$  から大きくしていくと, 角度  $\theta_1$  で最初に強い反射がおこった。このときの反射 X 線が強め合う条件は (カ) の式で  $n = 1$  として,  $\theta_1$  にもっとも近い角度を下の正弦・余弦関数表から選ぶと (キ) となる。

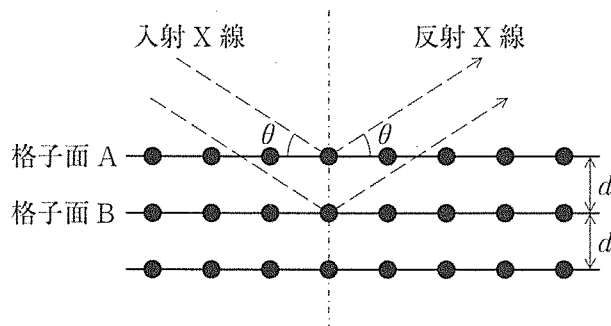


図 3

正弦・余弦関数表

$\theta$	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\theta$	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\theta$	$\sin \theta$	$\cos \theta$
$0^\circ$	0.0000	1.0000	$30^\circ$	0.5000	0.8660	$60^\circ$	0.8660	0.5000
$1^\circ$	0.0175	0.9998	$31^\circ$	0.5150	0.8572	$61^\circ$	0.8746	0.4848
$2^\circ$	0.0349	0.9994	$32^\circ$	0.5299	0.8480	$62^\circ$	0.8829	0.4695
$3^\circ$	0.0523	0.9986	$33^\circ$	0.5446	0.8387	$63^\circ$	0.8910	0.4540
$4^\circ$	0.0698	0.9976	$34^\circ$	0.5592	0.8290	$64^\circ$	0.8988	0.4384
$5^\circ$	0.0872	0.9962	$35^\circ$	0.5736	0.8192	$65^\circ$	0.9063	0.4226
$6^\circ$	0.1045	0.9945	$36^\circ$	0.5878	0.8090	$66^\circ$	0.9135	0.4067
$7^\circ$	0.1219	0.9925	$37^\circ$	0.6018	0.7986	$67^\circ$	0.9205	0.3907
$8^\circ$	0.1392	0.9903	$38^\circ$	0.6157	0.7880	$68^\circ$	0.9272	0.3746
$9^\circ$	0.1564	0.9877	$39^\circ$	0.6293	0.7771	$69^\circ$	0.9336	0.3584
$10^\circ$	0.1736	0.9848	$40^\circ$	0.6428	0.7660	$70^\circ$	0.9397	0.3420
$11^\circ$	0.1908	0.9816	$41^\circ$	0.6561	0.7547	$71^\circ$	0.9455	0.3256
$12^\circ$	0.2079	0.9781	$42^\circ$	0.6691	0.7431	$72^\circ$	0.9511	0.3090
$13^\circ$	0.2250	0.9744	$43^\circ$	0.6820	0.7314	$73^\circ$	0.9563	0.2924
$14^\circ$	0.2419	0.9703	$44^\circ$	0.6947	0.7193	$74^\circ$	0.9613	0.2756
$15^\circ$	0.2588	0.9659	$45^\circ$	0.7071	0.7071	$75^\circ$	0.9659	0.2588
$16^\circ$	0.2756	0.9613	$46^\circ$	0.7193	0.6947	$76^\circ$	0.9703	0.2419
$17^\circ$	0.2924	0.9563	$47^\circ$	0.7314	0.6820	$77^\circ$	0.9744	0.2250
$18^\circ$	0.3090	0.9511	$48^\circ$	0.7431	0.6691	$78^\circ$	0.9781	0.2079
$19^\circ$	0.3256	0.9455	$49^\circ$	0.7547	0.6561	$79^\circ$	0.9816	0.1908
$20^\circ$	0.3420	0.9397	$50^\circ$	0.7660	0.6428	$80^\circ$	0.9848	0.1736
$21^\circ$	0.3584	0.9336	$51^\circ$	0.7771	0.6293	$81^\circ$	0.9877	0.1564
$22^\circ$	0.3746	0.9272	$52^\circ$	0.7880	0.6157	$82^\circ$	0.9903	0.1392
$23^\circ$	0.3907	0.9205	$53^\circ$	0.7986	0.6018	$83^\circ$	0.9925	0.1219
$24^\circ$	0.4067	0.9135	$54^\circ$	0.8090	0.5878	$84^\circ$	0.9945	0.1045
$25^\circ$	0.4226	0.9063	$55^\circ$	0.8192	0.5736	$85^\circ$	0.9962	0.0872
$26^\circ$	0.4384	0.8988	$56^\circ$	0.8290	0.5592	$86^\circ$	0.9976	0.0698
$27^\circ$	0.4540	0.8910	$57^\circ$	0.8387	0.5446	$87^\circ$	0.9986	0.0523
$28^\circ$	0.4695	0.8829	$58^\circ$	0.8480	0.5299	$88^\circ$	0.9994	0.0349
$29^\circ$	0.4848	0.8746	$59^\circ$	0.8572	0.5150	$89^\circ$	0.9998	0.0175
						$90^\circ$	1.0000	0.0000

