全体講評（物理）

理科「物理」の試験は、2/2〔理科１科目選択方式、および理科設問選択方式（２科目型)〕、2/5（理科設問選択方式)、2/7〔理科設問選択方式（理数重視)〕の３日程で実施した。いずれの日程でも記述式とマークセンス方式を併用し、大問３問で構成した。問題の内容は、物理基礎と物理の範囲の中から理工系学部において学びの基礎となる力学と電磁気学を中心として、熱、波、原子の分野から出題した。出題においてはただ単に物理の知識を問うだけではなく、基本的な知識をもとに複雑な物理現象を一つ一つ論理的に紐解く能力をはかることを意図した。また、物理現象や物理概念を表すグラフを選ぶ問題や具体的に数値を計算させる問題を出題することで、物理現象をただ単に数式を解いた結果として捉えるのではなく、現実的で身近なものとして認識できるかどうかを確認した。

2/2、2/5、2/7いずれの日程においても大問〔Ⅰ〕は力学分野、大問〔Ⅱ〕は電磁気学分野、大問〔Ⅲ〕はそれ以外の分野からの出題とした。力学からは、運動する三角台の斜面におかれた物体の運動、球の等加速度運動、球とばねにつながれた球の衝突、摩擦のある床面上に置かれた物体の力のつり合いなどに関する問題を出題した。電磁気学からは、点電荷のつくる電場、半導体、磁場中にある抵抗とコイルからなる回路、コンデンサー、磁場中の電子の運動などを出題した。大問〔Ⅲ〕では、光の屈折と干渉、弦の定常波（定在波)、ドップラー効果、気体の分子運動、原子の構造などに関する問題を出題した。

以下では、本年度の全日程の物理試験の採点結果に基づく所感を記述する。

１．教科書の公式通りに解答できる設問は正答率が非常に高かったのに対して、教科書とは異なる文字を用いた場合や、物理量を定数倍にした場合に正答率が下がる傾向が見られた。受験生には公式をただ丸暗記するのではなく、式が持つ物理的意味を理解することを心掛けて欲しい。

２．具体的な数値を計算する問題では、無解答や桁数を間違えた解答が多く見られ正答率が低かった。物理量の数値化は現象を正確に捉えられているかどうかを確認する上で非常に重要であるので、普段から電気素量などの基本的な物理量の値（桁）や単位を把握し、桁の違う数値の計算にも慣れる必要がある。

３．ベクトル量の成分への分解や、複数のベクトルの和についての理解が不足している解答が多く見られた。また、スカラー量を問うているのにベクトル量を答えたり、その逆を答えたりなど問題の読み取りが不十分な解答も多かった。物理では、ベクトル量（向きを持つ量）とスカラー量（大きさだけの量）を区別する必要があることを改めて認識して欲しい。

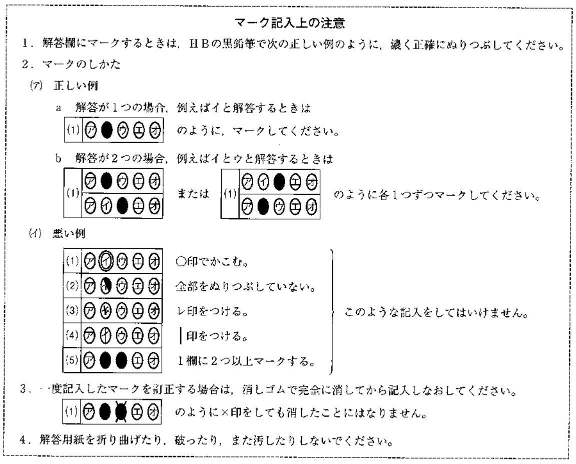
４．文字の書き間違い、判読不能な文字、曖昧な文字表現の解答が目立った。受験生には少なくとも他者が読み取れる文字を書くことを心掛けて欲しい。

2025 年度入学試験問題

物　　理

注意事項

Ⅰ　試験開始の指示があるまで問題用紙を開いてはいけません。
Ⅱ　解答用紙はすべて黒鉛筆(HB)〈シャープペンシルは，HB 0.5 mm 以上の芯であれば使用可〉で記入することになっています。
(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
Ⅲ　解答用紙右端の出席票に印刷されている受験番号を確認してください。間違いがなければ氏名欄に署名し，切取線から切り離してください。
Ⅳ　問題は 18 ページで大問 3 問です。
Ⅴ　試験時間および解答方法については，問題冊子裏面を確認してください。



〔Ⅰ〕 次の文の [(a)] ～ [(c)] に入れるのに最も適当な式を解答欄に記入しなさい。また，[(1)] ～ [(15)] に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。

図1のようになめらかで水平な床面上に原点をおき，水平右向きを正として x 軸，鉛直上向きを正として y 軸をとる。この床面に，傾き $\theta\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ のなめらかな斜面をもつ質量 M の三角台Aを置く。三角台Aの斜面上に質量 m の物体Bが置かれ，物体Bと三角台A上の固定された棒とは伸縮しない軽い糸でつながれている。糸と斜面は平行である。重力加速度の大きさは g とする。物体Bの大きさは無視でき，三角台Aは水平方向にのみ運動できる。三角台Aおよび物体Bの回転と空気抵抗は考えないものとする。棒と糸の質量は無視できるものとし，これらの空気抵抗は考えないものとする。

(i) 三角台Aと物体Bが静止しているとき，物体Bには垂直抗力，糸の張力および重力がはたらく。力のつり合いから物体Bが受ける垂直抗力の大きさは [(1)] であり，糸の張力の大きさは [(2)] である。

次に，三角台Aを大きさが a の加速度で x 軸正の向きに移動させたとき，物体Bは斜面上で静止したままであった。斜面上の観測者から物体Bを観察すると物体Bには垂直抗力，糸の張力，重力に加えて慣性力がはたらく。この慣性力の大きさ F は，$F =$ [(a)] である。垂直抗力の大きさを N，張力の大きさを T とし，物体Bにはたらく力のつり合いの式を考えると，斜面に垂直な方向で

$$N + F \times (\boxed{(3)}) - \boxed{(1)} = 0 \qquad \cdots\cdots①$$

であり，斜面に平行な方向で

$$T + F \times (\boxed{(4)}) - \boxed{(2)} = 0 \qquad \cdots\cdots②$$

である。

ここで，加速度の大きさ a を徐々に大きくすると式①にしたがって N が変化し，a がある大きさを超えたときに物体Bが斜面から離れた。このときの加速度の大きさは [(b)] であり，張力の大きさを m，g，θ で表すと [(5)] となる。

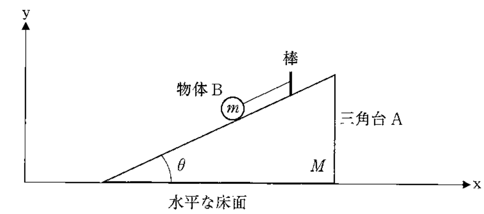


図1

〔解答群〕

(ア) $\sin\theta$	(イ) $\cos\theta$	(ウ) $\tan\theta$
(エ) $-\sin\theta$	(オ) $-\cos\theta$	(カ) $-\tan\theta$
(キ) $mg\sin\theta$	(ク) $mg\cos\theta$	(ケ) $mg\tan\theta$
(コ) $\dfrac{1}{\sin\theta}$	(サ) $\dfrac{1}{\cos\theta}$	(シ) $\dfrac{1}{\tan\theta}$
(ス) $-\dfrac{1}{\sin\theta}$	(セ) $-\dfrac{1}{\cos\theta}$	(ソ) $-\dfrac{1}{\tan\theta}$
(タ) $\dfrac{mg}{\sin\theta}$	(チ) $\dfrac{mg}{\cos\theta}$	(ツ) $\dfrac{mg}{\tan\theta}$

理科

(ii) 三角台Aと物体Bが静止している状態で糸を静かに切ると，物体Bは斜面を回転せずにすべりおりる。切断した糸は三角台Aおよび物体Bの運動に影響しないものとする。三角台Aが動けない場合と動ける場合について，物体Bの加速度を考えよう。

まず，図2のようにストッパーによって三角台Aが動かない場合を考える。この場合，物体Bの加速度のx成分は $-g\times\boxed{(6)}$ であり，そのy成分は $-g\times\boxed{(7)}$ である。

次に，図3のようにストッパーがなく三角台Aがなめらかな水平な床面上を動く場合を考える。三角台Aの加速度のx成分を a_A，物体Bの加速度のx成分を a_x，y成分を a_y とする。物体Bには重力と大きさが N_1 の垂直抗力がはたらく。この垂直抗力の反作用が三角台Aにはたらき，三角台Aにはこの他に床から受ける大きさが N_2 の垂直抗力と重力がはたらく。ここで三角台Aは床面上を離れないのでy軸方向の力のつり合いの式は，$N_2 = N_1\times(\boxed{(8)}) + Mg$ となる。物体Bのx軸方向の運動方程式は

$$ma_x = N_1\times(\boxed{(9)}) \qquad \text{……③}$$

であり，y軸方向の運動方程式は

$$ma_y = N_1\times(\boxed{(10)}) - mg \qquad \text{……④}$$

である。三角台Aのx軸方向の運動方程式は

$$Ma_A = N_1\times(\boxed{(11)}) \qquad \text{……⑤}$$

である。

ここで，x軸方向に運動する三角台Aの速度を v_A，物体Bの速度のx成分を v_x，y成分を v_y とする。三角台Aに対する物体Bの相対速度のx成分を v'_x，y成分を v'_y とすると $v'_x=\boxed{(12)}$，$v'_y=v_y$ と表せる。物体Bは三角台Aの斜面上を運動するので，

$$\frac{v'_y}{v'_x}=\tan\theta \qquad \text{……⑥}$$

が成り立つ。三角台Aの初速度と物体Bの初速度はともにゼロであるから，糸を切り離した直後から時間 t だけ経過した後の速度は $v_A=a_At$，$v_x=a_xt$，$v_y=a_yt$ と表せる。これらの式と式⑥から加速度 a_A，a_x，a_y と角度 θ の関係が

$$\boxed{(c)}=\tan\theta \qquad \text{……⑦}$$

と求まる。式③～⑦から N_1 が求まるので，a_x，a_y を m，M，g，θ で表せる。物体Bの加速度のx成分およびy成分はそれぞれ，

$$a_x=-g\times\boxed{(6)}\times\boxed{(13)} \qquad \text{……⑧}$$

$$a_y=-g\times\boxed{(7)}\times\boxed{(14)} \qquad \text{……⑨}$$

となる。

最後に，静止状態から糸を静かに切った場合に物体Bが斜面をすべりおりるのに要する時間について考えよう。式⑨より，三角台Aが動ける場合に物体Bが斜面をすべりおりるのに要する時間は，三角台Aを固定した場合に物体Bが同じ高さからすべりおりる場合に比べて $\boxed{(15)}$ 。

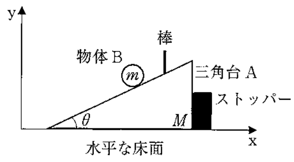


図2

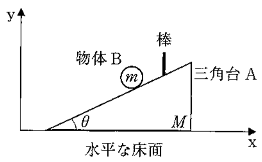


図3

〔解答群〕

(ア) $\sin\theta$　(イ) $-\sin\theta$　(ウ) $\cos\theta$　(エ) $-\cos\theta$

(オ) $\sin^2\theta$　(カ) $\cos^2\theta$　(キ) $\sin\theta\cos\theta$

(ク) v_x-v_A　(ケ) v_A-v_x　(コ) v_x+v_A

(サ) $\dfrac{m}{M+m\sin^2\theta}$　(シ) $\dfrac{M}{M+m\sin^2\theta}$　(ス) $\dfrac{M+m}{M+m\sin^2\theta}$

(セ) 短くなる　(ソ) 長くなる　(タ) 変わらない

〔Ⅱ〕 次の文の $\boxed{(a)}$ ～ $\boxed{(c)}$ に入れるのに最も適当な式を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(16)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお，$\boxed{(6)^{*}}$，$\boxed{(12)^{*}}$ については各問の文末の〔解答群*〕から，$\boxed{(7)^{**}}$，$\boxed{(8)^{**}}$ については各問の文末の〔解答群**〕から最も適当なものを選びなさい。

(i) 真空中に置いた点電荷がつくる電場(電界)について，真空中におけるクーロンの法則の比例定数を k とし，以下の問いに答えよ。

まず，図1のようにxy平面の原点Oに電気量 $2q$(ただし，$q>0$)をもつ点電荷を置いた場合について考える。このとき，x軸上の点$(x,\ 0)$（ただし，$x>0$）における電場の強さ E_1 は $E_1=\boxed{(a)}$ である。また，この点電荷がx軸上の点 $A\left(\frac{d}{2},\ 0\right)$（ただし，$d>0$）につくる電場の強さを E_a，点 $B(2d,\ 0)$ につくる電場の強さを E_b とすると，$\frac{E_b}{E_a}=\boxed{(1)}$ である。

次に，図2のように電気量 q をもつ点電荷を点$(0,\ d)$と点$(0,\ -d)$に固定した場合について考える。以降，それぞれの点電荷を Q_1，Q_2 と呼ぶ。Q_1 と Q_2 のそれぞれがx軸上の点$(x,\ 0)$につくる電場の強さは等しく $\boxed{(b)}$ である。一方，Q_1 と Q_2 のそれぞれがx軸上につくる電場の向きは異なり，それらの電場が重ね合わさると $\boxed{(2)}$ は強まり，$\boxed{(3)}$ は打ち消し合う。したがって，Q_1 と Q_2 によって点$(x,\ 0)$に生じた電場を重ね合わせた合成電場の強さ E_2 は $E_2=\boxed{(b)}\times\boxed{(4)}$ となる。また，点 $A\left(\frac{d}{2},\ 0\right)$ に生じる合成電場の強さを E_A，点 $B(2d,\ 0)$ に生じる合成電場の強さを E_B とすると，$\frac{E_B}{E_A}=\boxed{(5)}$ である。

$\frac{E_b}{E_a}$ と $\frac{E_B}{E_A}$ を比べると，$\frac{E_B}{E_A}$ が1により近く，図2の場合のほうが x に対する電場の変化の割合が小さい。これは2つの点電荷による合成電場である E_2 が，$\boxed{(b)}\times\boxed{(4)}$ のように変化し，特に Q_1 と Q_2 のそれぞれがx軸上につくる電場の $\boxed{(2)}$ と関係する $\boxed{(4)}$ が，x軸上で $\boxed{(6)^{*}}$ こと

が理由の1つである。

x が大きくなるにつれて E_2 は E_1 に近づくので，E_1 と E_2 の大小関係に注意すればx軸上における E_1 と E_2 の変化を表すグラフの概形は $\boxed{(7)^{**}}$ のようになる。

最後に，Q_1 と Q_2 による電位について考える。無限遠での電位を0とすると，点$(x,\ 0)$での電位 V は $V=\boxed{(c)}$ となる。また，xy平面上における等電位線の図は $\boxed{(8)^{**}}$ のように表せる。

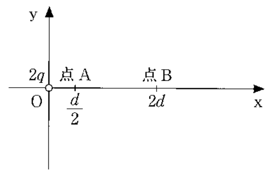


図1

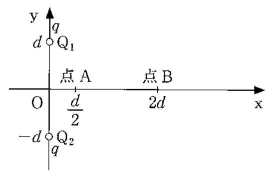


図2

〔解答群〕

(ア) $\dfrac{1}{32}$　(イ) $\dfrac{1}{16}$　(ウ) $\dfrac{1}{8}$　(エ) $\dfrac{1}{5}$

(オ) $\dfrac{1}{4}$　(カ) $\dfrac{1}{\sqrt{5}}$　(キ) $\dfrac{1}{2}$　(ク) $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$

(ケ) 1　(コ) $\dfrac{x}{\sqrt{x^2+d^2}}$　(サ) $\dfrac{d}{\sqrt{x^2+d^2}}$　(シ) $\dfrac{2x}{\sqrt{x^2+d^2}}$

(ス) $\dfrac{2d}{\sqrt{x^2+d^2}}$　(セ) x成分　(ソ) y成分

（解答群*と解答群**は次ページにあります）

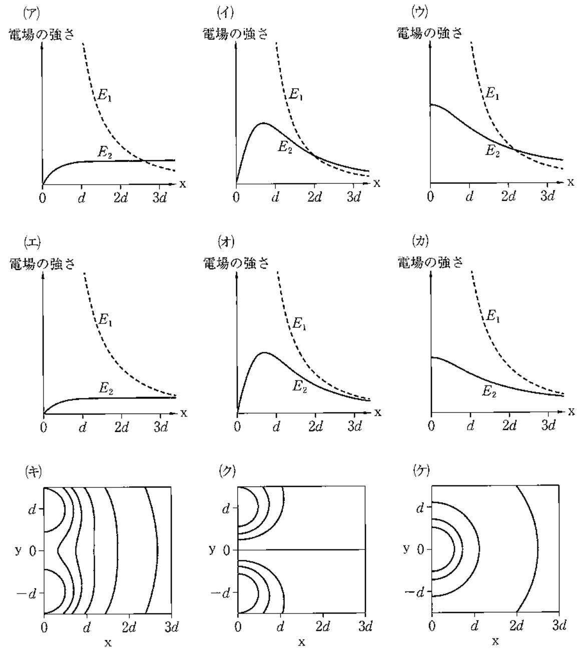
〔解答群*〕

(ア)　一定である

(イ)　原点から離れるほど減少する

(ウ)　原点から離れるほど増加する

〔解答群**〕



（問題は次ページに続きます）

(ii)　ケイ素(Si)の結晶に代表される半導体は，導体と不導体(絶縁体)の間の抵抗率を持つ物質である。ここでは半導体について考えてみよう。

(A)　Siは4個の価電子を持つが，Siの結晶に5個の価電子をもつリン(P)をわずかに加えると $\boxed{(9)}$ 。一方，Siに価電子が3個のホウ素(B)をわずかに加えると $\boxed{(10)}$ 。このような不純物を添加した半導体を，不純物半導体と呼ぶ。

〔解答群〕

(ア)　電子がキャリアとなり，抵抗率が小さくなる

(イ)　正孔(ホール)がキャリアとなり，抵抗率が小さくなる

(ウ)　電子がキャリアとなり，抵抗率が大きくなる

(エ)　正孔(ホール)がキャリアとなり，抵抗率が大きくなる

(B)　Siの結晶にリンまたはホウ素のいずれかをわずかに加えた試料における，キャリアの電気量の正負や，単位体積当たりのキャリアの数を測定結果から求めることを考える。図3に示すように，直方体試料(幅 w，高さ h，長さ L)の各面に垂直に x 軸，y 軸，z 軸をとる。また，$z = 0$ と $z = w$ において z 軸と垂直な面をそれぞれ面P，面Qとする。この試料に対して x 軸正の向きに大きさ I の電流を流し，y 軸正の向きに磁束密度の大きさが B の一様な磁場(磁界)を加える。試料中のキャリアは電子か正孔(ホール)のいずれかであるため，キャリア1個あたりの電気量の大きさは電気素量 e に等しい(ただし，$e > 0$)。キャリアの平均の速さを v とすると，キャリアは磁場から大きさ $\boxed{(11)}$ のローレンツ力を受ける。電流 I が x 軸正の向きに流れることから，ローレンツ力を受けたキャリアは，$\boxed{(12)^*}$ に集まる。その結果，z 軸に沿って電場が生じる。キャリアはこの電場と磁場から力を受けるが，やがてこれらの力がつり合うと x 軸に沿って平均の速さ v で直進し始める。このとき，z 軸に沿って生じた電場の強さを E とすると，

$E =$ $\boxed{(13)}$ という関係が導かれる。ここで，試料中の単位体積当たりのキャリアの数を n とすると，キャリアの平均の速さ v は $v =$ $\boxed{(14)}$ $\times I$ と表せるため，面Pと面Qの間の電位差 V_H は $V_H =$ $\boxed{(15)}$ $\times I$ となる。ホール効果と呼ばれるこの現象を利用し，V_H を測定することで n を知ることができる。また，キャリアの電気量の正負によって z 軸に沿って生じる電場の向きが異なるため，面Pと面Qのどちらの電位が高いかを測定することでキャリアの電気量の正負を決定することもできる。いま面Pの電位が面Qの電位より高かったとすると，この半導体試料中のキャリアは $\boxed{(16)}$ であることがわかる。

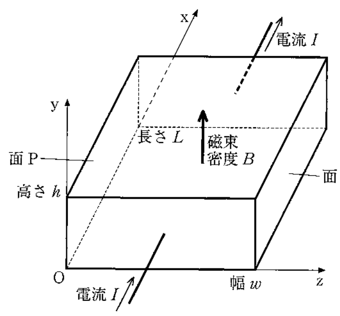


図3

（解答群と解答群*は次ページにあります）

〔解答群〕

(ア) evB　(イ) $\frac{eB}{v}$　(ウ) vB　(エ) $\frac{1}{enwh}$

(オ) $\frac{1}{enh}$　(カ) $\frac{1}{enw}$　(キ) $\frac{B}{enwh}$　(ク) $\frac{B}{enh}$

(ケ) $\frac{B}{enw}$　(コ) $\frac{vB}{enwh}$　(サ) $\frac{vB}{enh}$　(シ) $\frac{vB}{enw}$

(ス) $\frac{1}{enhB}$　(セ) $\frac{1}{enwB}$　(ソ) $\frac{1}{enwhB}$　(タ) 電子

(チ) 正孔

〔解答群*〕

(ア) キャリアが電子の場合は面Pに，キャリアが正孔の場合は面Q

(イ) キャリアが電子の場合は面Qに，キャリアが正孔の場合は面P

(ウ) キャリアの電気量の正負に関わらず面P

(エ) キャリアの電気量の正負に関わらず面Q

(問題は次ページに続きます)

〔Ⅲ〕 次の文の $\boxed{(a)}$ ～ $\boxed{(c)}$ に入れるのに最も適当な語句，数を解答欄に記入しなさい。また， $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(16)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお， $\boxed{(12)^*}$ については，文末の〔解答群*〕から，最も適当なものを選びなさい。

(i) 波の伝わり方について以下の設問に答えなさい。図1のように，波面を無数の波源の集まりであるとみなす。波面(AB)の各波源から球面波が出る。これらを素元波と呼び，波の進む前方の素元波に共通に接する面が，次の瞬間の波面(CD)になる。これを $\boxed{(a)}$ の原理という。この原理を用いて波の屈折を説明しよう。

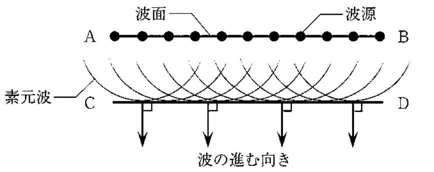


図1　素元波と波面

図2のように媒質1と媒質2が平面の境界で接しており，媒質1中の波の速さを v_1，媒質2中の波の速さを v_2 とする。平面波が境界に入射角 i で媒質2に入射する瞬間の波面をABとする。波面の一端BがDに達するのにかかる時間が t のとき，BDの長さは $\boxed{(1)}$ となる。この間に，波面の一端Aから出た素元波はAを中心とし，半径が $\boxed{(2)}$ の円(円O)の周上まで進んでいる。このとき，屈折波の波面は，AD上のAに近いほうから順々に出た素元波に共通に接する面であるから，Dから円Oに引いた接線DCに相当する。したがって，屈折角を r とすると，次の式が成立する。

$$\mathrm{AD} \times \boxed{(3)} = \mathrm{BD} = \boxed{(1)},$$

$$\mathrm{AD} \times \boxed{(4)} = \mathrm{AC} = \boxed{(2)}。$$

これらより，入射角，屈折角および両媒質の中の波の速さを用いた屈折の法則は，

$$\frac{\boxed{(3)}}{\boxed{(4)}} = \boxed{(5)} = n_{12}$$

となる。ここで，n_{12} を媒質1に対する媒質2の相対屈折率という。

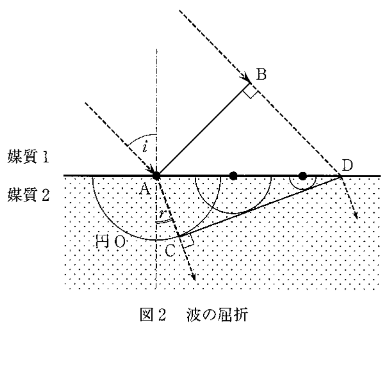


図2　波の屈折

〔解答群〕

(ア) v_1　(イ) v_2　(ウ) $\frac{v_1}{t}$　(エ) $\frac{v_2}{t}$

(オ) $\frac{t}{v_1}$　(カ) $\frac{t}{v_2}$　(キ) $v_1 t$　(ク) $v_2 t$

(ケ) $\frac{v_1}{v_2}$　(コ) $\frac{v_2}{v_1}$　(サ) $v_1 v_2$　(シ) $\frac{1}{v_1 v_2}$

(ス) $\sin i$　(セ) $\sin r$　(ソ) $\cos i$　(タ) $\cos r$

(ii) シャボン玉や水面上の油膜などの薄膜は，さまざまな色に色づいて見える。これは，光の干渉によって生じる現象である。ここでは，波長 380 nm（1 nm $= 10^{-9}$ m）から 770 nm の光を可視光線とし，真空中の光の速さを c とする。

(A) 図3のように単色光が媒質1から厚さ d の媒質2に垂直に入射する。媒質1と媒質2の境界面をPとし，媒質2と媒質3の境界面をQとする。境界面Pで反射した光ⓐと境界面Qで反射した光ⓑが媒質1において弱め合う条件を求めよう。これはカメラのレンズなどの反射光を減らすための反射防止膜の原理となる。媒質1，媒質2および媒質3における光の速さは，それぞれ v_1，v_2 および v_3 である。単色光の振動数を f とすると，真空中の波長は $\boxed{(6)}$ である。光が屈折率の大きい媒質から入射し，屈折率の小さな媒質との境界面で反射する場合，自由端での反射に相当する。一方，屈折率の小さな媒質から入射し，屈折率の大きな媒質との境界面で反射する場合，固定端での反射に相当する。

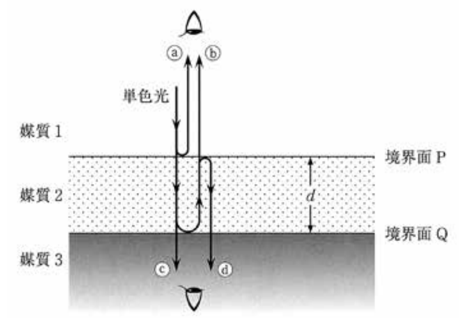


図3　薄膜における光の干渉

各媒質の光の速さは $v_1 > v_2 > v_3$ の関係があるとする。光が境界面Pで反射するとき，光の位相は $\boxed{(7)}$ 。境界面Qで反射するとき，光の位相は $\boxed{(8)}$ 。また，境界面Pや境界面Qを透過するとき，光の位相は $\boxed{(9)}$ 。境界面Pで反射した光ⓐと，境界面Qで反射した光ⓑの光路差（経路の光学距離の差）は $\boxed{(10)}$ であるから，媒質1においてそれらが弱め合う条件は，m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）を用いると，

$$\boxed{(10)} = \boxed{(11)} \quad (m = 0,\ 1,\ 2,\ \cdots) \qquad \cdots\cdots①$$

となる。ここで，媒質2が反射防止膜としてはたらくための媒質2の厚みを式①を用いて求めよう。媒質1は絶対屈折率 1.00 の空気とし，媒質2を絶対屈折率 1.35 のフッ化マグネシウム（MgF_2）とする。媒質3を絶対屈折率 1.50 のガラスとしたとき，真空中の波長 540 nm の光に対する反射防止膜（媒質2）の最小の厚みを有効数字3桁で求めると $\boxed{(b)}$ [nm] となる。この条件のもとでは，媒質2から媒質3へ反射せずに透過した光ⓒと，境界面Qと境界面Pで1回ずつ反射して媒質3へ透過した光ⓓの位相のずれが $\boxed{(12)^*}$ 。

〔解答群〕

(ア) cf	(イ) $\dfrac{f}{c}$	(ウ) $\dfrac{c}{f}$	(エ) $2d$
(オ) $2cd$	(カ) $2v_1d$	(キ) $2v_2d$	(ク) $\dfrac{2v_1d}{c}$
(ケ) $\dfrac{2v_2d}{c}$	(コ) $\dfrac{2cd}{v_1}$	(サ) $\dfrac{2cd}{v_2}$	(シ) $m\dfrac{c}{f}$
(ス) $m\dfrac{v_1}{f}$	(セ) $m\dfrac{v_2}{f}$	(ソ) $m\dfrac{f}{c}$	(タ) $m\dfrac{f}{v_1}$
(チ) $m\dfrac{f}{v_2}$	(ツ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{c}{f}$	(テ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{v_1}{f}$	(ト) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{v_2}{f}$
(ナ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{c}$	(ニ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{v_1}$	(ヌ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{v_2}$	
(ネ) 変化しない	(ノ) π だけ変化する		

〔解答群*〕

(ア) ないため強め合っている	(イ) $\dfrac{\pi}{2}$ のため強め合っている
(ウ) $\dfrac{3\pi}{4}$ のため弱め合っている	(エ) π のため弱め合っている

(B) 図4のように振動数 f の単色光が，媒質1から厚さ d の媒質2に向けて角度 i で入射すると屈折角 r で媒質2中を進んだ。媒質1，媒質2および媒質3における光の速さは，それぞれ v_1，v_2 および v_3 である。各媒質の光の速さは $v_1 > v_2$ と $v_2 < v_3$ の関係がある。境界面Qで反射した光と境界面Pで反射した光の媒質1における干渉を考える。境界面Qで反射する光の位相は $\boxed{(13)}$ 。Aから観測点Fにいたる光学距離（AC + CE + ED + DF）と，BからFにいたる光学距離（BD + DF）の差が光路差となる。ACとBDの光学距離は同じであるから，Dの境界面Qに対する対称点D'を考えると，光路差は $\boxed{(14)}$ である。したがって，媒質1においてこれらが強め合う条件は，m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）を用いると，

$$\boxed{(14)} = \boxed{(15)} \quad (m = 0,\ 1,\ 2,\ \cdots) \qquad \cdots\cdots②$$

となる。ここで，式②を用いて強め合う光の波長を求めてみよう。媒質1を絶対屈折率 1.00 の空気とし，媒質2を厚みが 350 nm，絶対屈折率が $\sqrt{2}$ のガラスとする。媒質3は絶対屈折率 1.30 の水とする。光が入射角 $i = 45°$ で境界面Pに入射したとき，強め合う可視光の波長を有効数字3桁で求めると $\boxed{(c)}$ [nm] となる。必要であれば，$\sqrt{2} = 1.414$，$\sqrt{3} = 1.732$ を用いなさい。単色光の代わりに白色光を用いて入射角を 45° から大きくしていくと強め合う光の色は，$\boxed{(c)}$ [nm] の色から $\boxed{(16)}$ 変化する。

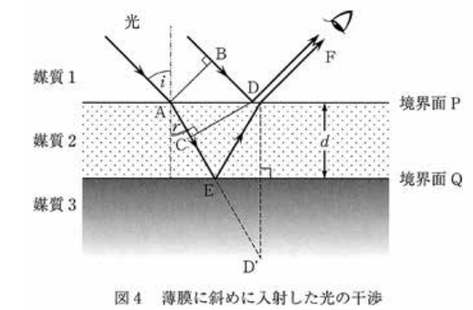


図4　薄膜に斜めに入射した光の干渉

〔解答群〕

(ア) $2cd\cos r$	(イ) $2v_1d\cos r$	(ウ) $2v_2d\cos r$	(エ) $\dfrac{2v_1d\cos r}{c}$
(オ) $\dfrac{2v_2d\cos r}{c}$	(カ) $\dfrac{2cd\cos r}{v_1}$	(キ) $\dfrac{2cd\cos r}{v_2}$	(ク) $2cd\sin r$
(ケ) $2v_1d\sin r$	(コ) $2v_2d\sin r$	(サ) $\dfrac{2v_1d\sin r}{c}$	(シ) $\dfrac{2v_2d\sin r}{c}$
(ス) $\dfrac{2cd\sin r}{v_1}$	(セ) $\dfrac{2cd\sin r}{v_2}$	(ソ) $m\dfrac{c}{f}$	(タ) $m\dfrac{v_1}{f}$
(チ) $m\dfrac{v_2}{f}$	(ツ) $m\dfrac{f}{c}$	(テ) $m\dfrac{f}{v_1}$	(ト) $m\dfrac{f}{v_2}$
(ナ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{c}{f}$	(ニ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{v_1}{f}$	(ヌ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{v_2}{f}$	(ネ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{c}$
(ノ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{v_1}$	(ハ) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{f}{v_2}$		
(ヒ) 変化しない	(フ) π だけ変化する		
(ヘ) 橙，赤の順に	(ホ) 緑，青の順に		

（以上）

2025年度入学試験問題

物　　理

注　意　事　項

Ⅰ　試験開始の指示があるまで問題用紙を開いてはいけません。

Ⅱ　解答用紙はすべて黒鉛筆(ＨＢ)〈シャープペンシルは，ＨＢ 0.5 mm 以上の芯であれば使用可〉で記入することになっています。
(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)

Ⅲ　解答用紙右端の出席票に印刷されている受験番号を確認してください。間違いがなければ氏名欄に署名し，切取線から切り離してください。

Ⅳ　問題は20ページで大問3問です。

Ⅴ　試験時間および解答方法については，問題冊子裏面を確認してください。

マーク記入上の注意

1．解答欄にマークするときは，ＨＢの黒鉛筆で次の正しい例のように，濃く正確にぬりつぶしてください。

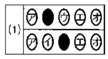
2．マークのしかた

(ア)　正しい例

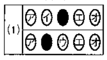
a　解答が1つの場合，例えばイと解答するときは

のように，マークしてください。

b　解答が2つの場合，例えばイとウと解答するときは

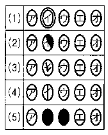


または



のように各1つずつマークしてください。

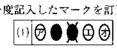
(イ)　悪い例



○印でかこむ。
全部をぬりつぶしていない。
レ印をつける。
｜印をつける。
1欄に2つ以上マークする。

このような記入をしてはいけません。

3．一度記入したマークを訂正する場合は，消しゴムで完全に消してから記入しなおしてください。



のように×印をしても消したことにはなりません。

4．解答用紙を折り曲げたり，破ったり，また汚したりしないでください。

〔Ⅰ〕 次の文の $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(c)}}$ に入れるのに最も適当な数，式を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(15)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお，$\boxed{(9)^*}$ ～ $\boxed{(11)^*}$ については，文末の〔解答群*〕から，$\boxed{(15)^{**}}$ については，文末の〔解答群**〕から最も適当なものを選びなさい。

(i) 図1のような，水平なテニスコートにおいて，相手のコートから飛んできたボールを打ち返し，自分のコートの地面に落とすことなく，相手のコート内(右端を含む)の地面に落とすための条件をモデル化して考えよう。テニスコートの端から端までの距離を $2a$，中央にあるネットの上端の地面からの高さを k とする。

図1のテニスコートの左端を原点Oとし，水平右向きを正として x 軸，鉛直上向きを正として y 軸をとり，ボールの運動は xy 平面内に限られるものとする。自分のコートのちょうど左端($x=0$)で，水平に速さ v_0 でボールを打ち返したものとし，そのときのボールの地面からの高さを h とする。ただし，$h>k$ とする。

打ち返された後の運動中のボールの xy 平面上における位置を $(x,\ y)=(X,\ Y)$ とする。ボールの大きさ，ボールの回転，ボールにはたらく空気抵抗は無視する。また，重力加速度の大きさを g とする。

打ち返されたボールがネットを越えるためには，$X=a$ であるとき，$Y>k$ であればよい。ボールが打ち返されてから，$X=a$ となるまでにかかる時間は $\boxed{(1)}$ であることから，打ち返されたボールがネットを越えるための v_0 の条件は，$v_0>\boxed{(2)}$ である。

一方，打ち返されたボールがコートの右端($x=2a$)を含む相手のコート内の地面に落ちるためには，$Y=0$ であるときに，$X\leqq 2a$ であればよい。ネットが存在しないと仮定して，ボールが打ち返されてから $Y=0$ となるまでにかかる時間は $\boxed{(3)}$ であることから，打ち返されたボールが相手のコートの右端($x=2a$)を含むコート内の地面に落ちるための v_0 の条件は，$v_0\leqq\boxed{(4)}$ である。

以上の v_0 に関する2つの条件から，打ち返されたボールがネットを越えて，相手のコート内の地面に落ちるためには，h は少なくとも $\boxed{(5)}\times k$ より大きくなければならない。

また，$a=12$〔m〕，$k=1.0$〔m〕，$h=2.5$〔m〕で，$g=9.8$〔m/s^2〕としたとき，ボールを相手コートのちょうど右端($x=2a$)に落とすための，打ち返された直後のボールの速さ v_0 は，有効数字二桁で $\boxed{\text{(a)}}$〔m/s〕となる。

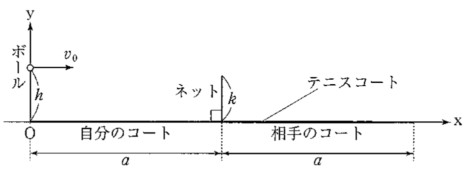


図1

〔解答群〕

(ア) $\dfrac{a}{2v_0}$　(イ) $\dfrac{a}{v_0}$　(ウ) $\dfrac{3a}{2v_0}$

(エ) $\dfrac{2a}{v_0}$　(オ) $\sqrt{\dfrac{h}{2g}}$　(カ) $\sqrt{\dfrac{h}{g}}$

(キ) $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$　(ク) $2\sqrt{\dfrac{h}{g}}$　(ケ) $a\sqrt{\dfrac{g}{2(h-k)}}$

(コ) $a\sqrt{\dfrac{g}{h-k}}$　(サ) $a\sqrt{\dfrac{2g}{h-k}}$　(シ) $2a\sqrt{\dfrac{g}{h-k}}$

(ス) $a\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$　(セ) $a\sqrt{\dfrac{g}{h}}$　(ソ) $a\sqrt{\dfrac{2g}{h}}$

(タ) $2a\sqrt{\dfrac{g}{h}}$　(チ) $\dfrac{4}{3}$　(ツ) $\dfrac{3}{2}$

(テ) $\dfrac{8}{5}$　(ト) 2

(ii) 図2のように，水平でなめらかな床面に固定された鉛直な壁面が二つある。二つの壁面の間にある質量 m の小球Aと質量 $3m$ の小球Bの運動について考える。小球Bは，一端を右側の壁面に固定されたばね定数 k の軽いばねの他端に取り付けられ，床面に静止した状態で置かれている。このとき，ばねは自然の長さで，まっすぐ水平に取り付けられている。この小球Bが置かれた位置を原点Oとし，水平右向きを正として x 軸をとる。小球A，Bは x 軸に沿って運動するものとし，速度は x 軸の正の向きを正とする。小球A，Bの間の反発係数，および小球Aと左側の壁面の間の反発係数は，ともに1とする。また小球A，Bの大きさは無視できるとする。

いま，小球Aを床面に置いて水平右向きに速度 $v(v>0)$ ですべらせたところ，小球Bに衝突した。衝突直後の小球Aの速度を v_1，小球Bの速度を v_2 とすると，運動量保存の法則より，［(b)］が成り立ち，小球A，Bの間の反発係数が1であることより，$1=$［(6)］が成り立つ。よって，衝突直後の小球A，Bの速度はそれぞれ $v_1=$［(7)］$\times v$，$v_2=$［(8)］$\times v$ である。

その後，小球Aは左側の壁面に衝突した後，原点Oに戻ってきた。この間に，小球Bはばねを縮めたのちに原点Oに戻ってきた。そして，小球A，Bは原点Oにおいて2回目の衝突をした。小球A，Bが1回目の衝突をした時刻を $t=0$ とし，原点Oにおいて2回目の衝突をしたときの時刻を $t=T$ としたとき，時刻 $t=0$ から $t=T$ における，小球Aの運動エネルギーを表すグラフの概形は［(9)*］，小球Bの運動エネルギーを表すグラフの概形は［(10)*］，小球Bにつながれたばねの弾性エネルギーを表すグラフの概形は［(11)*］となる。また，この間でのばねの自然の長さからの縮みの最大値を m，k，v を用いて表すと［(c)］となり，原点Oにおいて小球A，Bの2回目の衝突が起こったことから，原点Oから左側の壁面までの距離 L を m，k，v を用いて表すと，$L=$［(12)］となる。

小球A，Bが原点Oにおいて2回目の衝突をした直後の，小球Aの速度は［(13)］$\times v$，小球Bの速度は［(14)］$\times v$ である。さらに2回目の衝突後も，小球A，Bは衝突を繰り返した。小球Bの位置を $x=X$ としたとき，時刻 $t=0$ 以降の X を表すグラフの概形は［(15)**］となる。

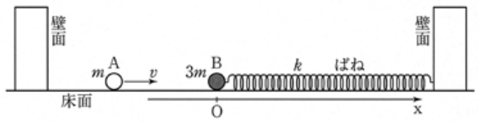


図2

〔解答群〕

(ア) $-\dfrac{v_1-v_2}{v}$　(イ) $-\dfrac{v_2-v_1}{v}$　(ウ) $-\dfrac{2v}{v_1-v_2}$

(エ) $-\dfrac{2v}{v_2-v_1}$　(オ) -1　(カ) $-\dfrac{1}{2}$

(キ) $-\dfrac{1}{3}$　(ク) $-\dfrac{1}{4}$　(ケ) 0

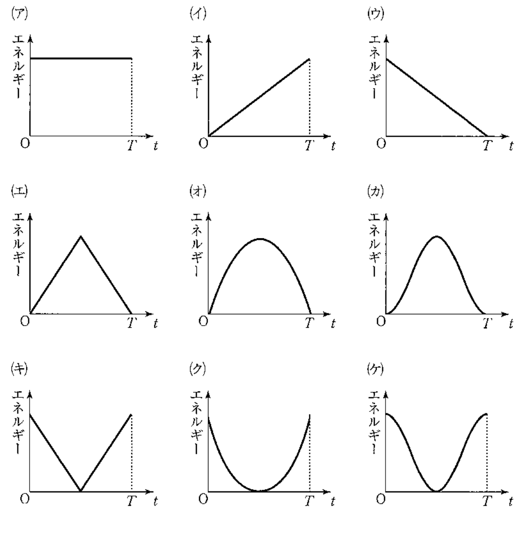
(コ) $\dfrac{1}{4}$　(サ) $\dfrac{1}{3}$　(シ) $\dfrac{1}{2}$

(ス) 1　(セ) $\dfrac{\pi}{4}v\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　(ソ) $\dfrac{\pi}{4}v\sqrt{\dfrac{3m}{k}}$

(タ) $\dfrac{\pi}{2}v\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　(チ) $\dfrac{\pi}{2}v\sqrt{\dfrac{3m}{k}}$

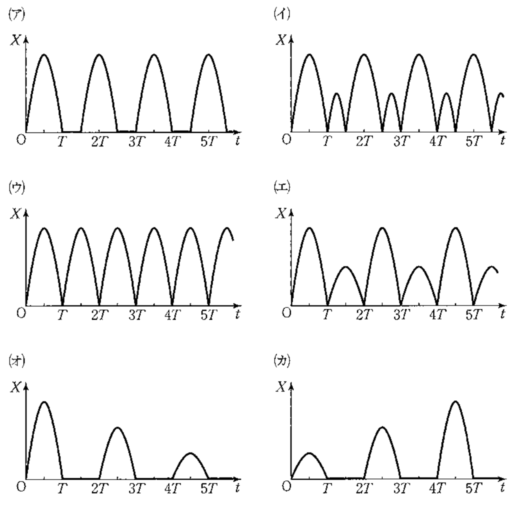
（解答群*は次ページにあります）

〔解答群*〕



（解答群**は次ページにあります）

〔解答群**〕



〔Ⅱ〕 次の文の $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(c)}}$ に入れるのに最も適当な式を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(12)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお，$\boxed{(11)^*}$ については，文末の〔解答群*〕から，$\boxed{(12)^{**}}$ については，文末の〔解答群**〕から最も適当なものを選びなさい。

(i) 図1のように，長さ D，断面積 S の円柱形の一様な金属の導体に，内部抵抗が無視できる起電力 V の電池をつないだ。このとき，導体中の電場(電界)の強さは $\boxed{(1)}$ となる。導体中の自由電子の質量を m，電気量を $-e(e>0)$ として，自由電子が受ける力が電場からの静電気力のみとすると，自由電子は，図1の左向きに加速度の大きさ $\boxed{(2)}$ で加速し続けることになる。しかし実際には，導体を流れる電流は一定であり，自由電子は静電気力とともに，それとつり合う別の力を受けていると考えられる。以下では，電池をつないで回路に一定の電流が流れているときについて考える。

このとき，導体内で自由電子は原子(あるいは陽イオン)と衝突しながら進むが，すべての自由電子の速度を平均すると，図1の左向きに一定の速さで進むと考えてよい。この左向きの一定の速さを v とする。自由電子が速さ v で進んでいるとき，導体内の原子から速さ v に比例した大きさ kv(k は正の定数)の抵抗力を図1の右向きに受けるものとすると，自由電子が電場から受ける力とこの抵抗力がつり合っていることから，$v=$ $\boxed{\text{(a)}}$ と表される。

ここで，導体の単位体積あたりの自由電子の数を n とすると，回路に流れる電流の大きさ I は，$I=$ $\boxed{(3)}$ $\times v$ と表されるため，この導体の抵抗率 ρ は，$\rho=$ $\boxed{(4)}$ と表される。

また，自由電子は電場から力を受けながら，速さ v で運動するため，この力が1個の自由電子にする仕事の仕事率は，$\boxed{(5)}$ となる。これは単位時間あたりに自由電子が電場から得るエネルギーと等しいため，導体内のすべての自由電子が単位時間あたりに電場から得るエネルギーは，$\boxed{(6)}$ となる。

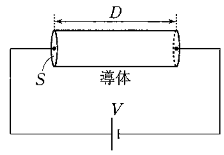


図1

〔解答群〕

(ア) $\dfrac{V}{2D}$	(イ) $\dfrac{V}{D}$	(ウ) $\dfrac{2V}{D}$	(エ) $\dfrac{eV}{2D}$
(オ) $\dfrac{eV}{D}$	(カ) $\dfrac{2eV}{D}$	(キ) $\dfrac{eV}{2mD}$	(ク) $\dfrac{eV}{mD}$
(ケ) $\dfrac{2eV}{mD}$	(コ) enS	(サ) $\dfrac{nS}{e}$	(シ) $\dfrac{eS}{n}$
(ス) $\dfrac{e^2n}{k}$	(セ) $\dfrac{k}{e^2n}$	(ソ) $\dfrac{kn}{e^2}$	(タ) $\dfrac{e^2}{kn}$
(チ) $\dfrac{e^2}{kD^2}V^2$	(ツ) $\dfrac{kD^2}{e^2}V^2$	(テ) $\dfrac{e^2D^2}{k}V^2$	(ト) $\dfrac{k}{e^2D^2}V^2$
(ナ) $\dfrac{e^2nS}{kD}V^2$	(ニ) $\dfrac{knS}{eD}V^2$	(ヌ) $\dfrac{e^2S}{nkD}V^2$	(ネ) $\dfrac{kS}{neD}V^2$

(ii) 図2のように，水平で一様な磁束密度の大きさ B の磁場(磁界)中に，じゅうぶんに長い金属製のレール2本が，間隔 d で磁場に垂直になるように，鉛直に固定されている。さらに，スイッチ S_1 につながれた抵抗値 R の抵抗，スイッチ S_2 につながれた自己インダクタンス L のコイルを2本のレールの間に水平につないで固定し，長さ d，質量 m の導体棒を，水平を保ちながら2本のレールと接触したまま鉛直方向になめらかに動くことができるようにした。空気抵抗，レールと導体棒の間の摩擦，抵抗以外の電気抵抗，回路を流れる電流がつくる磁場の影響，磁場がコイルに与える影響は無視し，重力加速度の大きさを g とする。最初，スイッチ S_1，S_2 は開かれており，導体棒を支えて静止させる。この状態をはじめの状態とする。このときの導体棒の位置を原点Oとし，鉛直下向きを正として x 軸をとる。また，導体棒が下向きに運動しているとき導体棒に発生する誘導起電力を正とする。

まず，スイッチ S_1 だけを閉じて，導体棒を静かに放したところ，導体棒はレールに沿って下向きに運動を始めた。導体棒が運動することにより，導体棒には誘導起電力が生じ，導体棒と抵抗を含む回路に電流が流れる。導体棒を流れる電流の大きさを I とすると，このときの導体棒が磁場から受ける力の大きさは $\boxed{(7)}$ となる。導体棒が落下するにつれて流れる電流が大きくなっていき，導体棒はやがて一定の速さで落下するようになった。一定の速さで落下するようになった後，導体棒を流れる電流の大きさは，m，g，B，d を用いて $\boxed{(8)}$ と表され，このときの導体棒の速さを v とすると，導体棒に生じる誘導起電力の大きさは $\boxed{\text{(b)}}$ $\times v$ なので，v は $v=$ $\boxed{(9)}$ と表される。また，このとき，単位時間あたりに抵抗で発生するジュール熱は，m，g，B，d，R を用いて $\boxed{(10)}$ と表される。

次に，はじめの状態に戻してから，スイッチ S_2 だけを閉じて導体棒を静かに放したところ，導体棒はレールに沿って下向きに運動を始めた。導体棒が動き始めた後のある時刻から短い時間 Δt の間に，導体棒の位置は Δx 変化し，導体棒を流れる電流は Δi 変化した。このときの導体棒に生じる誘導起電力 V_d は，$V_d=$ $\boxed{\text{(b)}}$ $\times\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ となり，このときのコイルに生じる誘導起電力 V_L は，

$V_L=-L\dfrac{\Delta i}{\Delta t}$ となる。$V_d+V_L=0$ より，$\dfrac{\Delta i}{\Delta x}=\dfrac{\boxed{\text{(b)}}}{L}$ となるため，導体棒の位置を x とすると，回路に流れる電流 i は，$i=\dfrac{\boxed{\text{(b)}}}{L}\times x$ と表されることがわかる。よって，このときの導体棒にはたらく力がつり合う位置を $x=x_0$ とすると，m，g，B，d，L を用いて $x_0=$ $\boxed{\text{(c)}}$ と表される。x の変化に伴う導体棒にはたらく力の合力 F のグラフの概形は，鉛直下向きの力を正とすると $\boxed{(11)^*}$ となる。したがって，導体棒は原点Oの位置から落下を始め，$\boxed{(12)^{**}}$ ことがわかる。

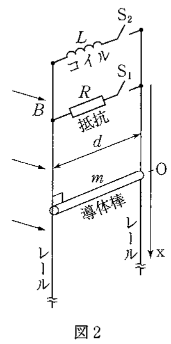


図2

(解答群，解答群*および解答群**は次ページにあります)

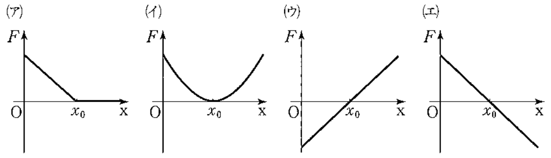
〔解答群〕

(ア) IBd　(イ) $2IBd$　(ウ) $\dfrac{mg}{Bd}$　(エ) $\dfrac{Bd}{mg}$

(オ) $\dfrac{mBd}{g}$　(カ) $\dfrac{mgB}{d}$　(キ) $\dfrac{(Bd)^2}{mgR}$　(ク) $\dfrac{mgR}{(Bd)^2}$

(ケ) $\dfrac{mg}{(Bd)^2R}$　(コ) $\left(\dfrac{mg}{Bd}\right)^2R$　(サ) $\left(\dfrac{Bd}{mg}\right)^2R$

〔解答群*〕



〔解答群**〕

(ア) 加速しながら落下を続ける

(イ) $x = x_0$ に達すると，この位置で静止する

(ウ) $x = x_0$ に達すると徐々に減速し，ある位置で静止する

(エ) $x = x_0$ に達して以降，一定の速さで落下を続ける

(オ) $x = x_0$ を中心とする単振動を続ける

(問題は次ページに続きます)

〔Ⅲ〕 次の文の $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(c)}}$ に入れるのに最も適当な式，数，語句を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(15)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを２回以上用いてもよい。なお，$\boxed{(14)^*}$ には文末の〔解答群*〕から最も適当なものを選び，その記号をマークしなさい。

(i) 図１のように，弦を滑車に通し，一端にはフックを取り付け，他端は天井に固定された棒(固定棒)に結びつける。滑車はレール上を自由に移動できる棒(可動棒)に取り付けられている。フックにおもりを吊るして弦をピンと張り，低周波発振器に接続された振動発生装置の先をＡ点で弦に接触させた。またＡから見て弦と滑車が最初に接触する位置をＢ点とする。可動棒の位置を変化させるとAB間の長さを変えることができる。Ａ点に振動を加えても弦はたるまないものとし，振動発生装置の振動数と弦の振動数は同じとする。この装置を使って弦の振動について考えよう。弦を伝わる波の速さ v〔m/s〕は，弦にかかる張力 T〔N〕と弦の線密度(単位長さ当たりの質量)ρ〔kg/m〕を用いて

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

で与えられる。

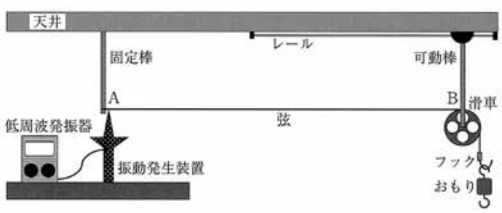


図１　弦の定常波(定在波)発生装置

(A) はじめに線密度が ρ_1〔kg/m〕の弦１を取り付け，質量 m_1〔kg〕のおもりを吊るして，弦の振動を確認する。AB間の長さを ℓ_1〔m〕とし，低周波発振器の振動数を調整したところ，振動数が f_1〔Hz〕のときAB間に腹が１つの基本振動の定常波(定在波)が発生した(図２の定常波ⓐ)。この基本振動の定常波の波長は $\boxed{(1)}$〔m〕であり，弦を伝わる波の速さは ℓ_1 と f_1 を用いて $\boxed{(2)}$〔m/s〕である。

次にAB間の長さを ℓ_1〔m〕に保ちながら低周波発振器の振動数を大きくしていくと，やがて図２の定常波ⓑが発生した。このとき定常波の波長は $\boxed{(3)}$〔m〕であり，周期は f_1 を用いて $\boxed{\text{(a)}}$〔s〕である。

再び低周波発振器の振動数を f_1〔Hz〕に戻してから，可動棒を動かしてAB間の長さを ℓ_2〔m〕($\ell_2 < \ell_1$)にすると定常波が見えなくなった。そこで，低周波発振器の振動数を調整したところ，振動数が f_2〔Hz〕のときに基本振動の定常波ⓐが発生した。f_2 は $\boxed{(4)}$ $\times f_1$〔Hz〕で与えられる。

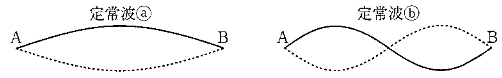


図２　AB両端を節とする定常波

〔解答群〕

(ア) $\dfrac{\ell_1}{2}$　(イ) ℓ_1　(ウ) $2\ell_1$　(エ) $\dfrac{\ell_1 f_1}{2}$　(オ) $\ell_1 f_1$

(カ) $2\ell_1 f_1$　(キ) $\dfrac{\ell_1}{2f_1}$　(ク) $\dfrac{\ell_1}{f_1}$　(ケ) $\dfrac{2\ell_1}{f_1}$　(コ) $\left(\dfrac{\ell_1}{\ell_2}\right)^2$

(サ) $\left(\dfrac{\ell_2}{\ell_1}\right)^2$　(シ) $\dfrac{\ell_2}{\ell_1}$　(ス) $\dfrac{\ell_1}{\ell_2}$　(セ) $\sqrt{\dfrac{\ell_2}{\ell_1}}$　(ソ) $\sqrt{\dfrac{\ell_1}{\ell_2}}$

(B) 今度はおもりを変更することを考えよう。線密度が ρ_1[kg/m] の弦 1 を用いて，AB 間の長さを ℓ_1[m] とし，おもりを質量 m_2[kg] ($m_2 > m_1$) のものに取り替えた。低周波発振器の振動数を調整したところ振動数が f_3[Hz] のときに基本振動の定常波ⓐが発生した。f_3 は $\boxed{(5)}$ $\times f_1$[Hz] で与えられる。

最後に弦の張り替えを考えよう。弦 1 と同じ材質で太さの異なる弦 2 に張り替えた。AB 間の長さを ℓ_1[m] とし，おもりの質量を m_1[kg] としたとき，基本振動の定常波ⓐが発生する低周波発振器の振動数は $\dfrac{f_1}{2}$[Hz] となった。これより弦 1 と弦 2 の断面がともに円形とすると，弦 2 の直径は弦 1 の直径の $\boxed{(6)}$ 倍であると考えられる。

〔解答群〕

(ア) $\sqrt{\dfrac{m_1}{m_2}}$　(イ) $\sqrt{\dfrac{m_2}{m_1}}$　(ウ) $\dfrac{m_1}{m_2}$　(エ) $\dfrac{m_2}{m_1}$　(オ) $\left(\dfrac{m_1}{m_2}\right)^2$

(カ) $\left(\dfrac{m_2}{m_1}\right)^2$　(キ) $\dfrac{1}{4}$　(ク) $\dfrac{1}{2}$　(ケ) $\sqrt{\dfrac{1}{2}}$　(コ) 1

(サ) $\sqrt{2}$　(シ) 2　(ス) 4

(C) ここまでの実験に基づき，弦 1 や弦 2 と同じ材質の弦を用いて基本振動の定常波ⓐを発生させるとき，解答群の組み合わせの中で低周波発振器の振動数が最も大きくなるのは $\boxed{(7)}$ である。

〔解答群〕

	おもりの質量[kg]	弦の直径[m]	AB 間の長さ[m]
(ア)	7.5×10^{-1}	9.0×10^{-4}	7.5×10^{-1}
(イ)	5.0×10^{-1}	6.0×10^{-4}	7.5×10^{-1}
(ウ)	5.0×10^{-1}	9.0×10^{-4}	6.0×10^{-1}
(エ)	7.5×10^{-1}	9.0×10^{-4}	6.0×10^{-1}

(ii) 原子の構造と原子核について考えよう。図 3 はヘリウム原子の構成模型で，表 1 は原子を構成する粒子の性質をまとめたものである。

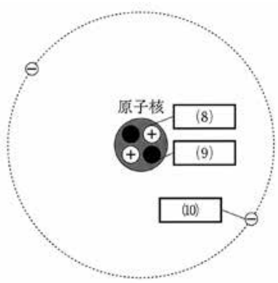


図 3　ヘリウム原子の構成模型

表 1　ヘリウム原子の構成粒子の性質

粒子	電気量[C]	質量[kg]
(8)	$+1.6 \times 10^{-19}$	1.7×10^{-27}
(9)	0	1.7×10^{-27}
(10)	-1.6×10^{-19}	9.1×10^{-31}

原子の中心には正に帯電した半径 10^{-15} m 程度の大きさの原子核が存在する。原子核は正の電荷をもつ $\boxed{(8)}$ と，電気量が 0 C の $\boxed{(9)}$ から構成され，これら原子核を構成する粒子は核子と呼ばれている。また，原子核を中心とした半径 10^{-10} m 程度の領域には，負の電荷をもつ $\boxed{(10)}$ が存在する。

ヘリウム原子の原子核は，2 個の $\boxed{(8)}$ と 2 個の $\boxed{(9)}$ から構成されており，原子核の大きさと表 1 を参考にすると，これら核子間にはたらく静電気力と万有引力の大きさをそれぞれ見積もることができる。

まず静電気力を考えてみる。$\boxed{(8)}$ は大きさの無視できる点電荷であるとし，2 個の $\boxed{(8)}$ が原子核内で 2.0×10^{-15} m だけ離れているとする。このとき静電気力の大きさを有効数字 2 桁で求めると $\boxed{(b)}$ [N] となる。ただし，真空中におけるクーロンの法則の比例定数は 9.0×10^9 N·m²/C² である。

次に万有引力を考える。万有引力定数は 6.7×10^{-11} N·m²/kg² であるから，2.0×10^{-15} m だけ離れた，大きさの無視できる 2 個の核子間にはたらく万有引力の大きさは $\boxed{(11)}$ [N] となる。

このように，静電気力と万有引力の大きさは大きく異なることがわかる。$\boxed{(8)}$ 間の静電気力による斥力に打ち勝って核子どうしが結びつくのは，静電気力や万有引力以外に $\boxed{(c)}$ と呼ばれる力がはたらいているためである。さらに現在では，核子は $\boxed{(12)}$ と呼ばれる素粒子から構成されることも明らかになっている。

〔解答群〕

(ア) ニュートリノ　(イ) 光子　(ウ) 電子　(エ) 中性子

(オ) 陽子　(カ) π 中間子　(キ) クォーク　(ク) 9.7×10^{-50}

(ケ) 9.7×10^{-35}　(コ) 9.7×10^{-8}　(サ) 2.8×10^{-50}　(シ) 2.8×10^{-35}

(ス) 2.8×10^{-8}　(セ) 4.8×10^{-50}　(ソ) 4.8×10^{-35}　(タ) 4.8×10^{-8}

(iii) ヘリウム原子の原子核は別名α粒子と呼ばれ，これは正の電荷を帯びた放射線であるα線の正体がヘリウム原子核の流れだったことに由来する。このほか，負の電荷を帯びたβ線の正体が電子の流れ，電気的に中性のγ線の正体が電磁波であることが知られている。

いま，放射性物質から同じ方向に飛び出してくる放射線に対して一様な磁束密度をもつ磁場をかけた。図4は粒子の曲がり方の違いを模式的に示したものである。このとき，β線の軌跡(進み方)が図4のBであるとすると，図4のように紙面右向きをx軸正の向き，紙面上向きをy軸正の向き，xy平面に対し紙面の裏から表に向かう向きをz軸正の向きとして，磁場の向きは $\boxed{(13)}$ である。また $\boxed{(14)^*}$ ことから，α線とβ線それぞれの粒子の運動エネルギーが等しいとすると，α線の軌跡は図4の $\boxed{(15)}$ になると考えられる。

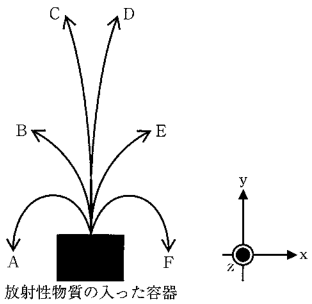


図4　放射線の軌跡と磁場の関係

〔解答群〕

(ア) x軸正の向き　(イ) x軸負の向き　(ウ) y軸正の向き　(エ) y軸負の向き
(オ) z軸正の向き　(カ) z軸負の向き　(キ) A　(ク) B
(ケ) C　(コ) D　(サ) E　(シ) F

〔解答群*〕

(ア) 電荷の正負によって曲がる向きが決まり，質量が大きい方が曲がりやすい
(イ) 電荷の正負によって曲がる向きが決まり，質量が大きい方が曲がりにくい
(ウ) 電荷の正負によって曲がる向きが決まり，曲がりやすさは質量によらない
(エ) 曲がる向きが電荷の正負によらず，質量が大きい方が曲がりやすい
(オ) 曲がる向きが電荷の正負によらず，質量が大きい方が曲がりにくい

（以上）

入学試験問題

物　　理

注　意　事　項

Ⅰ　試験開始の指示があるまで問題用紙を開いてはいけません。
Ⅱ　解答用紙はすべて黒鉛筆(ＨＢ)〈シャープペンシルは，ＨＢ 0.5 mm 以上の芯であれば使用可〉で記入することになっています。
(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
Ⅲ　解答用紙右端の出席票に印刷されている受験番号を確認してください。間違いがなければ氏名欄に署名し，切取線から切り離してください。
Ⅳ　問題は 20 ページで大問 3 問です。
Ⅴ　試験時間および解答方法については，問題冊子裏面を確認してください。

マーク記入上の注意

1．解答欄にマークするときは，ＨＢの黒鉛筆で次の正しい例のように，濃く正確にぬりつぶしてください。
2．マークのしかた
(ア)　正しい例
a　解答が１つの場合，例えばイと解答するときは
(1)　のように，マークしてください。
b　解答が２つの場合，例えばイとウと解答するときは
(1)　または　(1)　のように各１つずつマークしてください。
(イ)　悪い例
(1)　○印でかこむ。
(2)　全部をぬりつぶしていない。
(3)　レ印をつける。
(4)　｜印をつける。
(5)　１欄に２つ以上マークする。
このような記入をしてはいけません。
3．一度記入したマークを訂正する場合は，消しゴムで完全に消してから記入しなおしてください。
(1)　のように×印をしても消したことにはなりません。
4．解答用紙を折り曲げたり，破ったり，また汚したりしないでください。

〔Ｉ〕次の文の $\boxed{(a)}$，$\boxed{(b)}$ に入れるのに最も適当な式を，$\boxed{(c)}$ に入れるのに最も適当な数を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(13)}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを２回以上用いてもよい。

(i)　密度が一様な質量 m の直方体が，水平であらい床面上に置かれている。直方体の各辺の長さは 3ℓ，2ℓ，L であり，図１(a)はこの直方体を鉛直方向に上から下に見た図である。図１(b)は，直方体の６つの面のうち２辺の長さが 3ℓ と 2ℓ の面に平行で直方体の重心を通る断面を表している。直方体には大きさ F の力が，図１(a)と(b)に示すように作用している。この力は図１(b)の断面内にあり，その方向は床に平行である。なお，重力加速度の大きさを g とする。

F が小さいとき直方体は静止しているが，F を大きくしていくと直方体は力の方向にすべる，または，図１(b)の断面上の点Ａを通る直方体の辺を軸として回転し始める。静止している状態では，直方体にはたらく重力，大きさ F の力，床面から直方体にはたらく垂直抗力および摩擦力の４つの力とそれらによる力のモーメントがつり合っている。図１(b)において，点Ａのまわりの４つの力のモーメントのつり合いについて考える。大きさ F の力による力のモーメントは，大きさが $\boxed{(1)}$ $\times \ell F$ であり，直方体を $\boxed{(2)}$ に回転させようとする。重力による力のモーメントは，大きさが $\boxed{(3)}$ $\times \ell mg$ であり，直方体を $\boxed{(4)}$ に回転させようとする。垂直抗力による力のモーメントの大きさは，この力の大きさに作用点から点Ａまでの距離 x を乗じて求められる。さらに摩擦力による力のモーメントを考えると，これら４つの力のモーメントのつり合いより，$x=$ $\boxed{(a)}$ である。

F が小さく直方体が静止している状態から F を大きくしていくと，F が F_0 より大きくなったとき，直方体は回転することなくすべり始めた。このとき，直方体と床との間の静止摩擦係数を μ とすると，$F_0=$ $\boxed{(5)}$ $\times mg$ が成り立つ。また，直方体が回転することなくすべり始めるための μ の条件は，$\mu<$ $\boxed{(6)}$ である。

次に，図２に示すように，この直方体を水平からの傾斜角度 θ を調整することができるあらい斜面上にのせて，傾斜角度 θ を０から徐々に大きくしていく。直方体と斜面との間の静止摩擦係数がじゅうぶん大きい場合，θ が θ_0 を超えると，直方体はすべることなく回転し始めた。このとき，$\tan\theta_0=$ $\boxed{(7)}$ である。

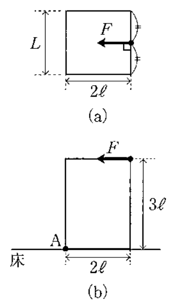


図１

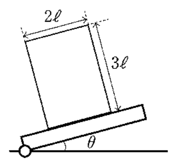


図２

〔解答群〕

(ア) $\frac{1}{4}$	(イ) $\frac{1}{3}$	(ウ) $\frac{1}{2}$	(エ) $\frac{2}{3}$
(オ) 1	(カ) $\frac{4}{3}$	(キ) $\frac{3}{2}$	(ク) 2
(ケ) 3	(コ) 4	(サ) $\frac{1}{\sqrt{10}}$	(シ) $\frac{2}{\sqrt{10}}$
(ス) $\frac{3}{\sqrt{10}}$	(セ) $\frac{\mu}{2}$	(ソ) μ	(タ) 2μ
(チ) 時計回り	(ツ) 反時計回り		

理　科

(ii) 図3のように，曲面と水平面と半径 r の半円筒面からなる面をもつ台が水平な床面上に固定されている。図はこの台の鉛直断面を表し，点A～Eと点Oはこの断面上にある。曲面と水平面は点Bの位置で，水平面と半円筒面は点Cの位置でなめらかにつながっている。点Oは半円筒面の軸の位置を表し，点C，O，Eは同一鉛直線上，点O，Dは同一水平面上にある。質量 m の小球を点Aにおき，静かにはなすと小球は初速度0で曲面上をすべり始め，図に示す断面内を運動する。ただし，重力加速度の大きさを g とし，小球と曲面，水平面，半円筒面との間には摩擦はなく，小球の回転および空気抵抗は無視できるものとする。また，図3には小球が点Aからすべりだすときと，点Dを通過し半円筒面上を運動するようすを示している。点Oを通る水平面を基準に鉛直上向きを正として高さを表すこととし，点Aと小球の位置の高さをそれぞれ h，x とする。

$h=r$ の場合，小球を点Aから静かにはなすと，小球は点B，C，Dを通過して，点Eに達する前に半円筒面からはなれる。このとき，小球がBC間を運動している間の速さは $\boxed{\text{(8)}}$ である。小球が点Cを通過した直後から半円筒面に沿って円運動をするが，この面上のある点を通過したときの半径方向(小球から点Oに向かう向きを正とする)の小球の加速度の大きさ a は，その点を通過したときの速さ v で小球が等速円運動をしたときの加速度の大きさと等しいと考えてよい。したがって，a は v を用いて，$a=\boxed{\text{(9)}}$ と表される。小球に作用する力は重力と半円筒面からの垂直抗力である。垂直抗力の大きさを N とし，重力の半径方向の成分(小球から点Oに向かう向きを正とする)を F とすると，半径方向の運動方程式は N，F，a，m を用いて次のように表される。

$$ma=\boxed{\text{(b)}}$$

小球が点Cを通過した直後，小球の速さは $\boxed{\text{(8)}}$ であるため，運動方程式より，垂直抗力の大きさ N は $\boxed{\text{(10)}}$ $\times mg$ であることがわかる。

小球に作用する垂直抗力の大きさは，小球が点Cを通過し半円筒面に沿って運動して小球の位置が高くなるにつれて小さくなる。$h=r$ の場合，小球が点Eに達する前に垂直抗力の大きさが0となり，その直後に小球は半円筒面からはなれる。小球が点Dを通過し，半円筒面からはなれず高さ x の位置を円運動しているときの小球の速さは $\boxed{\text{(11)}}$ であり，小球に作用する重力の半径方向の成分の大きさは $\boxed{\text{(12)}}$ $\times mg$ である。垂直抗力の大きさが0となるときの高さを $x=x_0$ とすると，$x_0=\boxed{\text{(c)}}$ $\times r$ である。

$h=r$ の場合は小球は点Eに達する前に半円筒面からはなれる。一方，半円筒面からはなれることなく点Eに達するための h の条件は，$h\geqq\boxed{\text{(13)}}$ $\times r$ である。

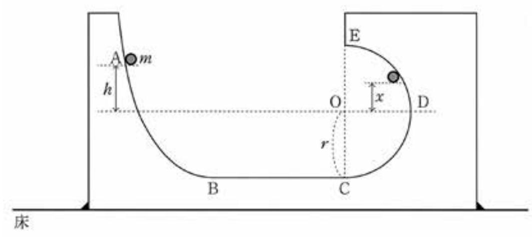


図3

(解答群は次ページにあります)

〔解答群〕

(ア) $\frac{1}{2}$　(イ) 1　(ウ) $\frac{3}{2}$

(エ) 2　(オ) $\frac{5}{2}$　(カ) 3

(キ) 4　(ク) 5　(ケ) rv

(コ) rv^2　(サ) $\frac{v}{r}$　(シ) $\frac{v^2}{r}$

(ス) $\sqrt{gr}$　(セ) $\sqrt{2gr}$　(ソ) $2\sqrt{gr}$

(タ) $\sqrt{g(r-x)}$　(チ) $\sqrt{2g(r-x)}$　(ツ) $\sqrt{gx}$

(テ) $\sqrt{2gx}$　(ト) $\frac{r}{\sqrt{r^2-x^2}}$　(ナ) $\frac{\sqrt{r^2-x^2}}{r}$

(ニ) $\frac{r}{x}$　(ヌ) $\frac{x}{r}$

(問題は次ページに続きます)

〔Ⅱ〕 次の文の $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(c)}}$ に入れるのに最も適当な式を解答欄に記入しなさい。また， $\boxed{\text{(1)}}$ ～ $\boxed{\text{(14)}}$ に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを２回以上用いてもよい。なお， $\boxed{\text{(5)*}}$ には〔解答群*〕から最も適当なものを選び，その記号をマークしなさい。

(i) 図１のように，１辺の長さが w の正方形の極板Ａと極板Ｂを，間隔 d で平行に設置したコンデンサーを作製し，真空中に置いた。このコンデンサーには初め電荷は蓄えられていなかった。なお，電荷が蓄えられておらず，かつ間隔が d である状態を，このコンデンサーの「初期状態」とする。ただし，コンデンサーの極板間の間隔 d は極板の１辺の長さ w に比べてじゅうぶん小さく，極板間に生じる電場（電界）は一様とみなしてよいものとする。

真空の誘電率を ε_0 とすると，このコンデンサーの電気容量 C_0 は，w，d，ε_0 を用いて表すと，$C_0 =$ $\boxed{\text{(a)}}$ となる。極板Ａ，極板Ｂに，大きさが等しい正負の電荷が蓄えられるように，このコンデンサーを充電した。極板AB間の電位差を V_1 とすると，コンデンサーの内部の電場の強さ E_1 は，$E_1 =$ $\boxed{\text{(1)}}$ $\times V_1$ となる。このとき，極板Ａ，Ｂに蓄えられた各電荷がコンデンサー内部につくる電場は等しく，各電荷がつくる電場を重ね合わせた電場の強さが E_1 となるため，極板Ｂの電荷がつくる電場から極板Ａが受ける静電気力の大きさは $\boxed{\text{(2)}}$ $\times C_0 V_1{}^2$ である。

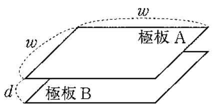


図１

次にコンデンサーを初期状態に戻した後，図２のように電荷の蓄えられていない金属板を両極板に平行に，極板Ａと金属板の間の距離が a となるような位置に挿入した。金属板は１辺の長さが w の正方形で厚さが $\frac{1}{2}d$ であり，距離 a は $0 < a < \frac{1}{2}d$ である。このとき，極板Ａと金属板の上面でできるコンデンサーの電気容量は $\boxed{\text{(3)}}$ $\times C_0$ である。金属板の下面と極板Ｂでできるコンデンサーの電気容量も同様に計算でき，図２のコンデンサー全体の電気容量は $\boxed{\text{(4)}}$ $\times C_0$ となる。

このとき，図２のように両極板に垂直な z 軸をとり，z 軸が極板Ｂの上面と交わる点を原点Ｏとする。極板Ａ，極板Ｂに，大きさが等しい正負の電荷が蓄えられるように，このコンデンサーを充電した。ただし，極板Ａには正電荷を，極板Ｂには負電荷を蓄えた。また，極板AB間の電位差を V_2 とする。極板Ｂの電位を基準としたときの極板間 $(0 \leqq z \leqq d)$ の電位 V のグラフの概形は $\boxed{\text{(5)*}}$ となる。

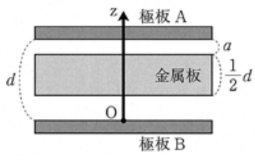


図２

次に金属板を取り除き，極板Ａ，Ｂに電荷が蓄えられておらず，かつ極板Ｂを固定した状態にして，図３のように，極板Ａの四隅をばね定数 $\frac{1}{4}k$ の電気を通さない軽いばねでつるした。極板Ａの重さのため，ばねは４本とも鉛直のまま自然長より同じ長さだけ伸びたところでつり合った。このときの極板Ａ，Ｂ間の間隔は d であった。この状態から極板Ａ，Ｂに電荷を徐々に与えていき，極板Ａに正の電荷を $+Q$（ただし，$Q > 0$）まで，極板Ｂに負の電荷を $-Q$ まで蓄えたところ，極板Ａはゆっくり下に距離 x だけ移動して静止した。ただし，

極板Ａは水平を保ったままで鉛直方向にのみ動くものとする。このとき，コンデンサーの電気容量は，d，x，C_0 を用いると $\boxed{\text{(6)}}$ $\times C_0$ であるから，コンデンサー内部の電場の強さ E_3 は，$\boxed{\text{(7)}}$ $\times \dfrac{Q}{C_0}$ である。また，４本のばねを合成したばねのばね定数は k とみなせるので，極板Ａにはたらく重力と極板Ａが４本のばねから受ける弾性力の合力の大きさは kx となる。この合力と極板Ｂの電荷がつくる電場から極板Ａが受ける静電気力のつり合いの式より，k，x，Q，E_3 の間には次の関係式が成り立つ。

$$kx = \boxed{\text{(b)}}$$

したがって，さまざまな電荷 Q の場合に同様の実験をすると電荷を与えたことによるばねの伸び x は Q の $\boxed{\text{(8)}}$ 乗に比例することがわかる。

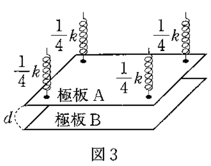


図３

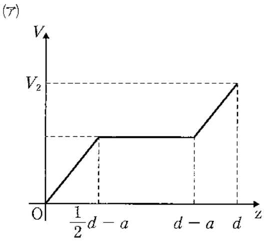
〔解答群〕

(ア) $\frac{1}{2}$	(イ) 1	(ウ) $\frac{3}{2}$	(エ) 2
(オ) $\frac{1}{2d}$	(カ) $\frac{1}{d}$	(キ) $\frac{a}{d}$	(ク) $\frac{a}{2d}$
(ケ) $\frac{d}{a}$	(コ) $\frac{d}{2a}$	(サ) $\frac{d-x}{d}$	(シ) $\frac{d-x}{d^2}$
(ス) $\frac{d-x}{2d}$	(セ) $\frac{d}{d-x}$	(ソ) $\frac{d^2}{d-x}$	(タ) $\frac{d}{2(d-x)}$
(チ) $\frac{d}{(d-x)^2}$	(ツ) $\frac{(d-x)^2}{d}$		

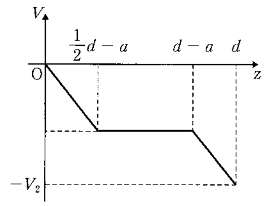
（解答群*は次ページにあります）

〔解答群*〕

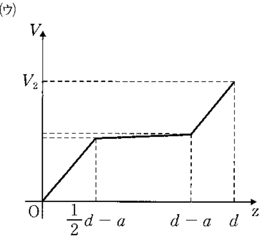
(ア)



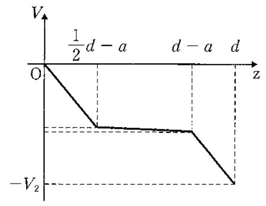
(イ)



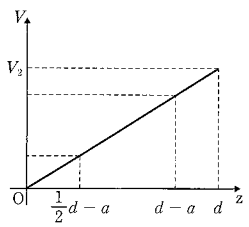
(ウ)



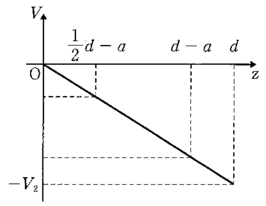
(エ)



(オ)



(カ)



理 科

(ii) 図4は電子線を観察する装置の図であり，図中の太線は電子の軌跡である。装置は真空中に置かれており，電子は図4のように紙面内に設定されたxy平面上を運動するものとする。領域M(範囲は$0 \leqq x \leqq \ell$，$-\infty < y < \infty$)には紙面に垂直に磁束密度の大きさがBの一様な磁場(磁界)が加えられている。また，$x = \ell + L$の位置には，x軸と垂直に交わるようにスクリーンが置かれている。

電子は陰極Kの先端から初速度0で放出される。その後，電子は陰極Kよりも高電位である陽極Aに向かって，x軸に沿って加速され，速さvで陽極Aの中央にあけられた小穴を通過する。なお，陰極Kと陽極Aの電位差はV(ただし，$V > 0$)である。

陽極を通過した電子は速さvのまま領域Mに進入する。電子は領域Mを通過する間に磁場からローレンツ力を受けながら，その進行方向を変え，点P(ℓ，δ)を通過する。点Pを通過後は，電子は等速直線運動をし，スクリーン上の点Q($\ell + L$，$\delta + D$)に到達する。電子の質量をm，電気量を$-e$(ただし，$e > 0$)とし，電子にはたらく重力の影響は無視できるものとする。

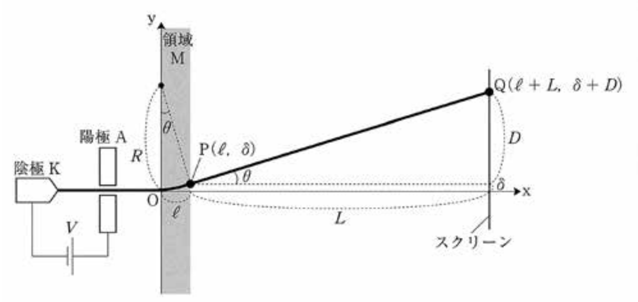


図4

電位差Vによって加速された電子の運動エネルギー$\frac{1}{2}mv^2$は$\boxed{(9)}$と等しいので，陽極Aの小穴を通過した直後の電子の速さは$v = \boxed{(10)}$となる。その後，電子は領域Mにおいて磁場から大きさ$\boxed{(11)}$のローレンツ力を受ける。図4に示すように領域M内で電子の軌道がy軸正方向に曲がっていることから，領域Mでの磁場の向きは紙面の$\boxed{(12)}$の向きであることがわかる。また，領域Mでの電子の軌道は円弧になるが，その軌道の半径Rを，v，B，m，eを用いて表すと，$R = \boxed{(c)}$である。一方で円運動の回転角を図4のようにθとすると，$\sin\theta$はRなど図中で示した長さを用いて表現することができる。同様に領域Mを通過した後の電子の軌跡がx軸の正の向きとなす角もθであるため，$\tan\theta$はDとLを用いて表現することができる。θがじゅうぶん小さいとすると，$\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta$が成り立つので，$D$は$L$，$R$，$\ell$を用いて表すと，$D = \boxed{(13)}$となる。また，$v = \boxed{(10)}$および$R = \boxed{(c)}$より，$D$は比電荷$\frac{e}{m}$の$\boxed{(14)}$乗に比例することがわかる。

〔解答群〕

(ア) $\frac{1}{2}$	(イ) 1	(ウ) 2
(エ) -1	(オ) -2	(カ) $\frac{eV}{2}$
(キ) eV	(ク) $\frac{eV^2}{2}$	(ケ) eV^2
(コ) $\sqrt{\frac{eV}{m}}$	(サ) $\sqrt{\frac{2eV}{m}}$	(シ) $V\sqrt{\frac{e}{m}}$
(ス) $V\sqrt{\frac{2e}{m}}$	(セ) mvB	(ソ) evB
(タ) $mevB$	(チ) 手前から奥	(ツ) 奥から手前
(テ) $\frac{R}{\ell L}$	(ト) $\frac{RL}{\ell}$	(ナ) $\frac{\ell}{RL}$
(ニ) $\frac{\ell L}{R}$		

〔Ⅲ〕 次の文の$\boxed{(a)}$～$\boxed{(c)}$に入れるのに最も適当な式を解答欄に記入しなさい。また，$\boxed{(1)}$～$\boxed{(15)}$に入れるのに最も適当なものを各問の文末の解答群から選び，その記号をマークしなさい。ただし，同じものを2回以上用いてもよい。なお，$\boxed{(14)^*}$には〔解答群*〕から最も適当なものを選び，その記号をマークしなさい。

(i) 体積Vの球形の容器内に物質量nの単原子分子理想気体が圧力p，絶対温度Tで封入されている。このとき，気体定数をRとすると気体の圧力pは，

$$p = \boxed{(a)}$$

となる。以下では，球形容器内の気体分子の運動に着目することで気体の圧力を求めていく。ただし，容器内では非常に多くの分子があらゆる方向に運動しており，分子は容器内壁のあらゆる点で壁と弾性衝突をしているものとする。また，分子の大きさや分子間力，重力の影響は無視できるものとし，分子どうしの衝突も考慮しない。

図1のように，半径rの球形容器内を速さvで運動している質量mの分子が点Aで内壁に弾性衝突したとする。ただし，図1は球形容器の中心Oと点Aを含む断面を表しており，この分子はこの断面内を運動している。分子は，点Aにおいて中心Oと点Aを結ぶ直線と角度θをなして衝突し，図1のように点Bに向かって跳ね返った。このとき，中心Oから点Aに向かう向きを正とすると，衝突前の分子の速度のOAに平行な成分は$\boxed{(1)}$であり，衝突後の分子の速度のOAに平行な成分は$\boxed{(2)}$である。したがって，衝突によって分子が壁に与えた力積の大きさは$\boxed{(3)}$となる。

点Aで壁に衝突した分子はやがて点Bで再び壁と速さvで弾性衝突した。このとき，AB間の距離は$\boxed{(4)}$であるから，分子が点Aで壁に衝突してから点Bで再び壁に衝突するまでに要する時間tは，$t = \boxed{(5)}$となる。この分子はその後も時間tごとに壁と弾性衝突を繰り返す。したがって，この分子が壁に衝突する回数は単位時間あたり$\dfrac{1}{\boxed{(5)}}$回であり，また壁に与える力積の大きさは単位時間あたり$\boxed{(6)}$となる。

ここで，簡単のため容器内のすべての分子の速さは等しくvであるとすると，それぞれの分子が単位時間あたりに壁に与える力積の大きさも$\boxed{(6)}$となる。また，容器内の分子の数Nが非常に大きく，N個の分子が壁のあらゆる点で絶え間なく衝突していると考えると，N個の分子が壁に与える力積の大きさは単位時間あたり$\boxed{(7)} \times v^2$となる。実際には容器内の分子はさまざまな速さで運動しているので，v^2をN個の分子についての平均値$\overline{v^2}$で置き換えると，N個の分子が単位時間あたりに壁に与える力積の大きさは$\boxed{(7)} \times \overline{v^2}$と表せ，これは気体分子全体が壁に与える平均の力の大きさに等しい。したがって，球形容器の壁の面積は$4\pi r^2$であるので，気体の圧力pは$p = \dfrac{\boxed{(7)}}{4\pi r^2} \times \overline{v^2}$となる。また，球形容器の体積$V$が$V = \frac{4}{3}\pi r^3$であることを用いると，気体分子の平均の運動エネルギーの総和である$\frac{N}{2}m\overline{v^2}$は，$p$と$V$を用いて

$\frac{N}{2}m\overline{v^2} = \boxed{(b)}$と表すことができる。

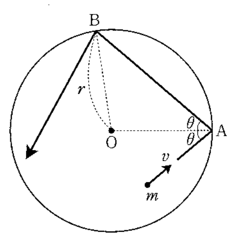


図1

(解答群は次ページにあります)

理科

〔解答群〕

(ア) $v\cos\theta$　(イ) $v\sin\theta$　(ウ) $-v\cos\theta$

(エ) $-v\sin\theta$　(オ) $mv\cos\theta$　(カ) $mv\sin\theta$

(キ) $2mv\cos\theta$　(ク) $2mv\sin\theta$　(ケ) $r\cos\theta$

(コ) $r\sin\theta$　(サ) $2r\cos\theta$　(シ) $2r\sin\theta$

(ス) $\dfrac{r\cos\theta}{v}$　(セ) $\dfrac{r\sin\theta}{v}$　(ソ) $\dfrac{2r\cos\theta}{v}$

(タ) $\dfrac{2r\sin\theta}{v}$　(チ) $\dfrac{mv^2}{r}$　(ツ) $\dfrac{2mv^2}{r}$

(テ) $\dfrac{mv^2\tan\theta}{r}$　(ト) $\dfrac{mv^2}{r\tan\theta}$　(ナ) $\dfrac{Nm}{r}$

(ニ) $\dfrac{m}{Nr}$　(ヌ) $\dfrac{Nm\tan\theta}{r}$　(ネ) $\dfrac{Nm}{r\tan\theta}$

(問題は次ページに続きます)

(ii) 図2のように，水平でなめらかな床上に，振動数f_0の音波を出すことのできる音源Sが置かれている。また，音源Sからじゅうぶん離れた位置に音源Sからの音を観測できるマイクMが床面に固定されている。以下の問題では，音源Sから発せられる音の速さをVとし，音源SとマイクMの大きさや風の影響は無視できるものとする。

音源SがマイクMに向かって速さvで等速直線運動をしている場合について考える。ただし，vはVに比べてじゅうぶん小さい。1周期分の時間に発せられる波を1個として数えると，ある時刻t_0から$t_0+\Delta t$までの間に音源Sから発せられる波の数は $\boxed{(8)}$ 個である。時刻t_0に発生した音波はΔtの間に周囲に広がるが，その間に音源Sも移動しているので，音源Sの進行方向において音波と音源が進んだ距離の差は $\boxed{(9)}$ となる。したがって，音源Sの進行方向における音波の波長は $\boxed{(10)}$ であり，マイクMで観測される音の振動数は $\boxed{(11)}$ である。

次に，図3のように，壁に固定されたじゅうぶんに長く軽いばねに音源Sを取りつけた。ここでは，水平でなめらかな床に沿って図の右向きを正としてx軸をとり，ばねが自然長であるときの音源Sの位置を原点Oとする。また，マイクMは$x=L$(ただし，$L>0$)の位置に固定されている。いま，音源Sの位置が$x=-A$となるまでばねを縮め(ただし，$A>0$であり，AはLに比べてじゅうぶんに小さい)，時刻$t=0$で静かにはなしたところ，音源Sは振動数f_0の音波を発しながらx軸に沿って振幅Aで単振動を始めた。単振動している音源Sの速さの最大値をv_Mとし，v_Mが音の速さVに比べてじゅうぶんに小さいとすると，マイクMで観測した音の振動数の最大値f_Mは，v_Mを用いて

$f_M=$ $\boxed{(c)}$ と表せ，この音は音源Sがx軸の $\boxed{(12)}$ の向きに運動しているときに，$x=$ $\boxed{(13)}$ の位置で発したものである。

時刻tを横軸に，マイクMで観測する音の振動数fを縦軸とするグラフを考えると，最も近いグラフの概形は $\boxed{(14)^*}$ である。ただし，〔解答群*〕のグラフでは音源Sが単振動を始める前に発した音波の振動数は示していない。

マイクMで観測する音の振動数が最大となったときから次に最小となるまでの時間をT_1，音源Sが$x=-A$の位置で発した音をマイクMで観測してから，次に同じ振動数の音を観測するまでの時間をT_2として，T_1とT_2を比較すると，$\boxed{(15)}$ の関係にある。

図2

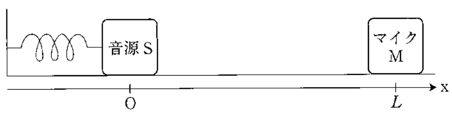


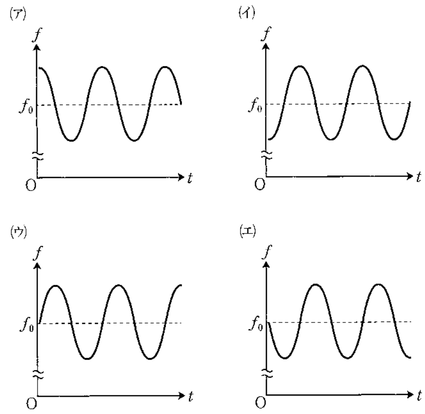
図3

(解答群と解答群*は次の見開きページにあります)

〔解答群〕

(ア) $f_0 \Delta t$	(イ) $\dfrac{\Delta t}{f_0}$	(ウ) $\dfrac{f_0}{\Delta t}$
(エ) $(V-v)\Delta t$	(オ) $(V+v)\Delta t$	(カ) $\dfrac{v}{f_0}$
(キ) $\dfrac{V}{f_0}$	(ク) $\dfrac{V-v}{f_0}$	(ケ) $\dfrac{V+v}{f_0}$
(コ) f_0	(サ) $\dfrac{V}{v}f_0$	(シ) $\dfrac{V}{V-v}f_0$
(ス) $\dfrac{V}{V+v}f_0$	(セ) $\dfrac{V-v}{V}f_0$	(ソ) $\dfrac{V+v}{V}f_0$
(タ) 正	(チ) 負	(ツ) $-A$
(テ) 0	(ト) A	(ナ) $T_1 < T_2$
(ニ) $T_1 = T_2$	(ヌ) $T_1 > T_2$	

〔解答群*〕



（以上）