☞ 2022年度 東京医科大学 ☜

【傾向など】

- ●ほぼ基本～標準問題で構成されている。「見たことない」「手がつけられない」「設定が分からない」問題は皆無だろう。しかし，数値計算問題はなかなかに面倒であり，また問題数も多いため，時間的な余裕はないだろう。問題レベルは教科書章末問題＋α程度である。ただし，ここ3年は以前と比べて難易度が少し上がった印象を受ける。
- ●大問数は5～9つ。すべて選択問題である。
- ●出題分野に偏りはない。5分野(力学・電磁気・熱力学・波動・原子)すべてから少なくとも1題は出ている。力学と電磁気だけは3題程度の出題で他分野より多い。
- ●大問1つにつき，小問は2～3題程度。問題文は短く問題設定はシンプルである。
- ●(参考として)出題傾向が似ている大学
  ・東北工大　・東京都市大　・神奈川工大　・千葉工大　(・獨協大)

【これから何をすべき？】

●この1年間で解いた問題をもう一度見直そう(間違えた問題を中心に)。授業で扱った問題や問題集の問題，受けた模試の問題を完答できるでしょうか。完答できないのであれば，一度以上解いたにもかかわらず解き切れないのはなぜでしょうか。何が足りないのでしょうか。物理法則をすっかり忘れていたのか，それは覚えていたが適切な法則を適用できなかったのか，そうであればなぜなのか・どうすれば次回は適切に適用できるか，問題文が何を言っているのかがそもそも分からないのか，計算ミスなのか，…などについて，短時間でいいから考えてみましょう。ただ漫然と問題をこなすよりずっと有益だと思います。繰り返しますが，今まで解いた問題をもう一度見直し，物理法則や物理的思考を定着させることが何よりも重要です。
東医大はほぼすべての問題が基本～標準レベルです。万遍なく総復習して高得点を目指そう。

●「できない」「解けない」「おれは／あたしはもうダメだ」「ま，間に合わない」…。無意識のうちにつぶやいているこれらの言葉すべてがアファメーションです。つぶやいた人は，これらの言葉が実現されるように誘導されるでしょう(もちろん無意識のうちに)。使う言葉に気をつけてください。どうせなら「まだまだできる」「いま間違えてよかった」「一週間前より成長した。やっぱり自分はすごい」「合格にまた一歩近づいた」とつぶやきましょう。きっとうまくいきます！

※忘れがち・手薄になりがちな項目を挙げておきます。(ただし，網羅しているわけではありません)

■力学
○運動量と力積変化の関係　○仕事と運動エネルギー変化の関係式
○ケプラー第3法則の使い方　○ロケットの分離と相対運動　○2体問題（ばね＋2物体）

■熱力学
○気体分子運動論　○気体が大気とばねに対してした仕事　○2原子分子理想気体の定積モル比熱　○等温曲線と断熱変化($P-V$グラフ)　○ポアソンの式　○熱効率

■波動
○ホイヘンスの原理　○ドップラー効果と波長　○鏡　○光の干渉と色づき

■電磁気
○ガウスの法則　○コンデンサーの極板間引力　○誘電率・比誘電率
○回転する導体棒や円盤に発生する誘導起電力　○コイルの磁気エネルギー
○交流回路のインピーダンス（直列・並列）　○電気振動の周期やエネルギー保存則

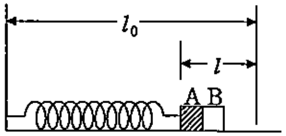
■原子
○光電効果　○ボーア模型　○量子条件　○X線の発生
○エネルギー準位と系列(バルマー系列など)　○半減期

誰ひとりそれを見ていなくとも，星の輝きがそれによって減じることはない。　アリストテレス

ボールを原点 O を含む xz 平面内で前方($x \geqq 0$ の範囲)に，40 m/s の速さで打ちかえすためには，バットがボールに与える力積の大きさ I は以下に示す範囲になければならない。

$\boxed{\ 5\ }$ N·s $\leqq I \leqq$ $\boxed{\ 6\ }$ N·s

$\boxed{3}$ ばね定数 k のつる巻きばねがある。ばねをなめらかな水平面上に横たえて，一端を壁に固定し他端に質量 m の物体 A を付ける。次に，質量 M の物体 B を A に接触させ，ばねを自然長 l_0 より距離 l だけ縮め静かに手を離した。はじめ A と B とはいっしょに運動するが，ばねの長さがある長さに達すると，B は A から離れて等速直線運動をする。ばねの質量と空気抵抗は無視できるとして，次の文中の $\boxed{\quad}$ を数式で埋めよ。答えは，k，m，M，l_0，l，d，t のうち適当なものを用いて表せ。



(1) ばねを l 押し縮めたとき，ばねが A に及ぼす力の大きさは $\boxed{\quad}$ である。

(2) ばねを l 押し縮めるのに $\boxed{\quad}$ の仕事が必要である。

(3) ばねを l 縮め静かに手を離した位置より $d\,(d<l)$ 伸びた位置での B の速さは $\boxed{\quad}$ である。

(4) 手を離したあと B が A を離れるのは，ばねの長さが $\boxed{\quad}$ のときである。

(5) A を離れたあとの B は時間 t の間に $\boxed{\quad}$ の距離を移動する。

(6) A から B が離れたあと，A は振幅 $\boxed{\text{ア}}$，周期 $\boxed{\text{イ}}$ の単振動をする。

$\boxed{4}$ 次の $\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{エ}}$〜$\boxed{\text{ソ}}$ に適当な数字を入れ，$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{タ}}$，$\boxed{\text{チ}}$ には最も適する番号をそれぞれの解答群から選べ。必要ならば答えは四捨五入せよ。

(1) 質量 98.0 [g] の水熱量計(銅製容器と銅製かきまぜ棒)の容器に質量 159 [g] の水を入れたところ，全体の温度が一様に 20.0 [℃] になった。この中に，97.0 [℃] に加熱した質量 80.0 [g] の金属球を入れ，静かにかきまぜると，全体の温度が 27.0 [℃] で一様になった。水の比熱を 1.00 [cal/g·K]，銅の比熱を 0.0920 [cal/g·K] とし，熱は外に逃げないものとする。

この水熱量計の熱容量は $\boxed{\text{ア}}.\boxed{\text{イ}}$ [$\boxed{\text{ウ}}$] である。また，このとき，水が得た熱量は $\boxed{\text{エ}}\boxed{\text{オ}}\boxed{\text{カ}}\boxed{\text{キ}}$ [cal] なので，これと水熱量計が得た熱量の和は $\boxed{\text{ク}}\boxed{\text{ケ}}\boxed{\text{コ}}\boxed{\text{サ}}$ [cal] である。したがって，金属球の比熱は $\boxed{\text{シ}}.\boxed{\text{ス}}\boxed{\text{セ}}\boxed{\text{ソ}}$ [cal/g·K] である。

[$\boxed{\text{ウ}}$ の解答群]

① cal　② cal/g　③ cal/K　④ cal/g·K　⑤ cal·K/g
⑥ cal·g/K　⑦ g/cal　⑧ K/cal　⑨ g·K/cal　⑩ g/cal·K

(2) (1) では，熱は外に逃げないものとしたが，実際に，金属球を加熱してその比熱を測定する実験では，熱は外に逃げる。したがって，熱をできるだけ外に逃がさないように，また，金属球を水熱量計の容器に入れた後，全体の温度をすみやかに一様にする等の注意が必要である。

たとえば，水熱量計の容器に入れる水の深さは $\boxed{\text{タ}}$ がよく，金属球を容器に入れる前の容器中の水温は $\boxed{\text{チ}}$ のほうがよい。

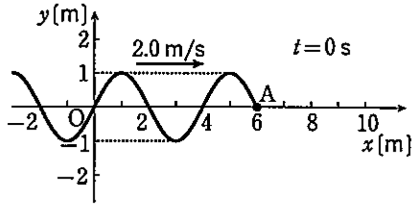
[$\boxed{\text{タ}}$ の解答群]

① 金属球の直径の半分程度　② ちょうど金属球の直径
③ 金属球の直径の 2 倍程度

[$\boxed{\text{チ}}$ の解答群]

① 室温より少し低い　② 室温と同じ
③ 室温より少し高い

$\boxed{5}$ 速さ 2.0 m/s で，x 軸の正の向きに進む波長 4.0 m，振幅 1.0 m の正弦波が，$x=6.0$ m の点 A で反射される。時刻 $t=0$ s での入射波を図に示す。



点 A が自由端と固定端の 2 つの場合に，入射波と反射波によって生じる合成波，定常波について考える。

点 A が自由端の場合，

(1) $t=0.50$ s のとき，点 A での合成波の変位は $\boxed{\text{ア}}$ m である。

(2) $t=0.50$ s のとき，合成波の変位が 0 m になる位置のうちで，点 A に最も近い位置は $x=\boxed{\text{イ}}$ m である。

(3) 反射波が $0\,\text{m} \leqq x \leqq 6.0\,\text{m}$ の範囲に存在しているとき，この範囲での定常波の節の数は $\boxed{\text{ウ}}$ 個である。

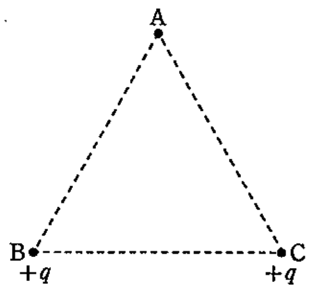
点 A が固定端の場合，

(4) $t=1.0$ s のとき，$x<6.0$ m の範囲で，合成波の変位が 0 m になる位置のうちで，点 A に最も近い位置は $x=\boxed{\text{エ}}$ m である。

(5) 反射波が $0\,\text{m} \leqq x \leqq 6.0\,\text{m}$ の範囲に存在しているとき，この範囲での定常波の節の数は $\boxed{\text{オ}}$ 個である。

6　図のように，真空中で，1 辺が $2R$〔m〕の正三角形 ABC の頂点 B，C にそれぞれ $+q$〔C〕の点電荷を固定した。真空中でのクーロンの法則の比例定数を k_0〔$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$〕とすると，点 A での電界（電場）の強さは［ア］〔N/C〕である。

次に，線分 BC の中点に第三の点電荷を固定したところ，点 A での電界の強さが 0 N/C になった。この第三の点電荷の電気量は［イ］〔C〕である。



［ア］の解答群

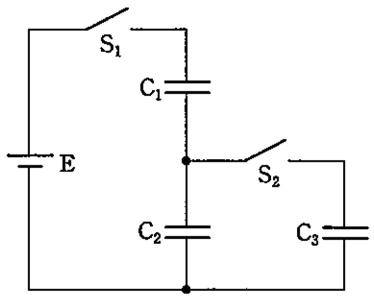
① $k_0\dfrac{q^2}{8R^2}$　② $k_0\dfrac{q}{4R^2}$　③ $k_0\dfrac{\sqrt{3}q}{4R^2}$　④ $k_0\dfrac{3q^2}{4R^2}$　⑤ $k_0\dfrac{q(\sqrt{3}-1)}{\sqrt{3}R^2}$

［イ］の解答群

① $-\dfrac{3\sqrt{3}}{4}q$　② $-\dfrac{2}{\sqrt{3}}q$　③ $-\dfrac{\sqrt{3}}{4}q$　④ $-\dfrac{\sqrt{3}}{8}q$　⑤ $-\dfrac{1}{16}q$

7　次の空欄に当てはまる数値を解答群から選べ。

スイッチ S_1，S_2 と電気容量がそれぞれ 2.0 μF，3.0 μF，2.0 μF のコンデンサー C_1，C_2，C_3 および内部抵抗の無視できる起電力 5.0 V の電池 E で図のような回路を組んだ。最初 S_1，S_2 は開いており，各コンデンサーの電気量は 0 C であった。ただし，$1\,\mu\mathrm{F}=10^{-6}\,\mathrm{F}$ である。C_1，C_2 の合成容量は［ア］F であるから，最初に S_1 のみを閉じたとき，C_1 と C_2 に蓄えられる電気量はそれぞれ［イ］C と［ウ］C である。次に，S_1 を開き S_2 を閉じた。十分な時間の後，C_2 と C_3 に蓄えられる電気量はそれぞれ［エ］C と［オ］C である。



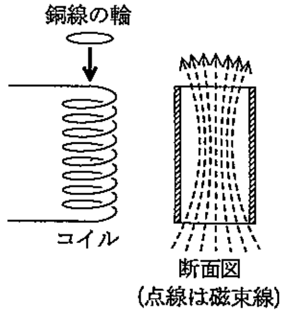
解答群

① 1.2×10^{-6}　② 2.4×10^{-6}　③ 3.6×10^{-6}　④ 4.8×10^{-6}

⑤ 6.0×10^{-6}　⑥ 7.2×10^{-6}　⑦ 8.4×10^{-6}　⑧ 9.6×10^{-6}

8　次の文中の［　］に正しく入るものを各々の選択肢から選び，その記号を書け。

上向きの磁場を発生しているコイルが鉛直方向に固定されている。このコイルの穴の中心をめがけて，図のように上から銅線の輪を水平にして落下させる。この輪は，運動している間は常に水平になっているものとする。



銅線の輪が落下しながらコイルの上の穴に近づくと，輪を貫く磁束は［ア］ため，輪に流れる電流は［イ］。このときに，輪が磁場から受ける力は［ウ］。その後，輪がコイルの穴に入り，ちょうどコイルの中央まで落下してきたとき，輪に流れる電流は［エ］。このために，輪が磁場から受ける力は［オ］。さらに輪が落下してコイルの下の穴から出てくるとき，輪を貫く磁束は［カ］ため，輪に流れる電流は［キ］。そのときに，輪が磁場から受ける力は［ク］。結局，輪が落下していく間に得た運動エネルギーは，コイルがない場合に比べて［ケ］。次に，コイルが発生する磁場の大きさを変えずに，向きを下向きに変えて同じ実験を行うと，輪が落下している間に得る運動エネルギーは，磁場が上向きの場合と比べて［コ］。

〔(ア)，(カ)，(コ)の選択肢〕

(a) 増える　(b) 減る　(c) 交互に増えたり減ったりする　(d) 変化しない

〔(イ)，(エ)，(キ)の選択肢〕

(a) 上から見て左回りである　(b) 上から見て右回りである

(c) 左回りと右回りの交互に反転する　(d) 0 である

〔(ウ)，(オ)，(ク)の選択肢〕

(a) 上向きである　(b) 下向きである　(c) 上下方向に交互に変化する

(d) 0 である

〔(ケ)の選択肢〕

(a) 小さく，エネルギーの差は位置エネルギーに変化した

(b) 大きく，エネルギーの差は位置エネルギーから供給された

(c) 小さく，エネルギーの差は銅線の輪で発生するジュール熱に変化した

(d) 大きく，エネルギーの差は銅線の熱エネルギーから供給された

9　次の文の［ア］～［カ］に入れるのに最も適した答えを 記せ。

20 世紀初頭，高温の水素の放射する光の線スペクトルの規則正しい配列に注目したボーアは，以下の 2 つの仮定にもとづく水素原子の模型を提案し，水素原子から放射される光の振動数が説明されることになった。その 1 つは，電子は陽子を中心とする円軌道上を運動し，その円周の長さが電子波の波長の整数倍のとき，軌道は安定となる

というものである(量子条件)。h をプランク定数，m を電子の質量，n を量子数(正の整数)，r_n，v_n をそれぞれ量子数 n に対応する電子の軌道半径，電子の速さとすると，電子波の波長は $\dfrac{h}{mv_n}$ であるので，量子条件は $\boxed{\text{ア}} = n\dfrac{h}{2\pi}$ と表すことができる。もう1つの仮定は，電子がエネルギー準位 E_n (量子数 n に対応する電子の運動エネルギーと位置エネルギーの和)から，エネルギー準位 $E_{n'}$ ($n > n'$ で $E_n > E_{n'}$) に移るとき，放射される光の振動数 ν と，E_n，$E_{n'}$ との間には，$\boxed{\text{イ}}$ の関係があるというものである(振動数条件)。陽子の電荷を $+e$，電子の電荷を $-e$ とすると，電子には，比例定数を k として $\boxed{\text{ウ}}$ の大きさのクーロン力がはたらき，電子はこれを向心力として陽子のまわりを等速円運動する。このことと量子条件から，量子数 n の軌道半径 r_n を求めると $r_n = \boxed{\text{エ}}$ となる。量子数 n の軌道にある電子のエネルギー準位 E_nは，$E_n = \boxed{\text{オ}}$ であるので，この E_n と振動数条件から，放射される光の振動数 ν は，

$\nu = \boxed{\text{カ}} \times \left(\dfrac{1}{n'^2} - \dfrac{1}{n^2}\right)$ となる。

[アの解答群]

① $\dfrac{1}{2}mv_n{}^2$　② mv_nr_n　③ $mv_n{}^2$　④ $m\dfrac{v_n{}^2}{r_n}$　⑤ mv_n

[イの解答群]

① $h\nu = E_n + E_{n'}$　② $\nu = E_n - E_{n'}$　③ $\nu = E_n + E_{n'}$　④ $h\nu = E_n - E_{n'}$

⑤ $\dfrac{h}{\nu} = E_n + E_{n'}$

[ウの解答群]

① $k\dfrac{e^2}{r_n}$　② $k\dfrac{e}{r_n{}^2}$　③ $\dfrac{e}{kr_n{}^3}$　④ $k\dfrac{e^2}{r_n{}^2}$　⑤ $k\dfrac{e}{r_n}$

[エ，カの解答群]

① $\dfrac{2\pi^2k^2me^4}{h^3}$　② $\dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}$　③ $\dfrac{4\pi^2k^2me^4}{n^3h^3}$　④ $\dfrac{n^2h^3}{2\pi^2km^2e^2}$

⑤ $\dfrac{n^2h^3}{4\pi^2kme^2}$

[オの解答群]

① $-\dfrac{ke^2}{2r_n}$　② $-\dfrac{ke}{2r_n{}^2}$　③ $-\dfrac{e}{2kr_n{}^3}$　④ $-\dfrac{ke^2}{2r_n{}^2}$　⑤ $-\dfrac{ke}{2r_n}$

101 図1のように，細い角棒ABの一端Aを，鉛直な壁に固定されたちょうつがいにとめ，他端Bには糸をつなぎ，糸を点Cで壁に固定して角棒ABを水平に保つ。ただし，角棒ABの長さをLとし，ちょうつがいはなめらかに回転できるものとする。

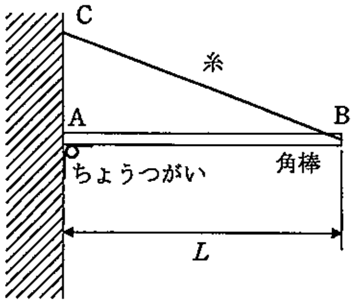
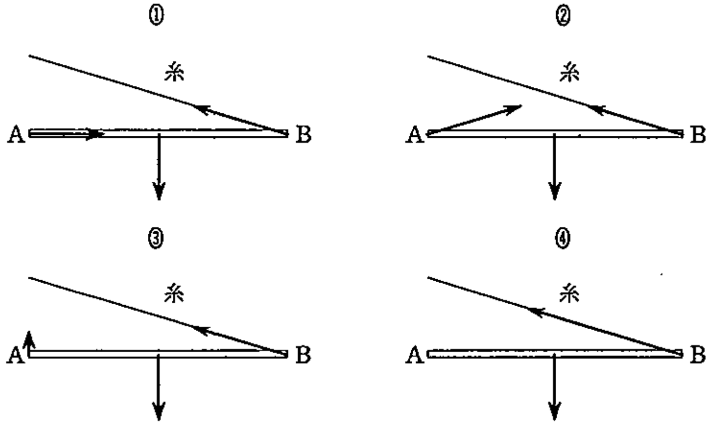


図1

(1) 角棒にはたらく力を示した図として最も適当なものを，次の ⓪～④ のうちから1つ選べ。 1



(2) 次に図2のように，角棒AB上のAから距離xの点Pにおもりをぶら下げる。xの変化にともなって糸の張力Tはどのように変化するか。最も適当なものを，下の ⓪～④ のうちから1つ選べ。 2

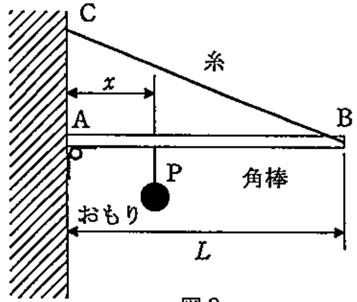
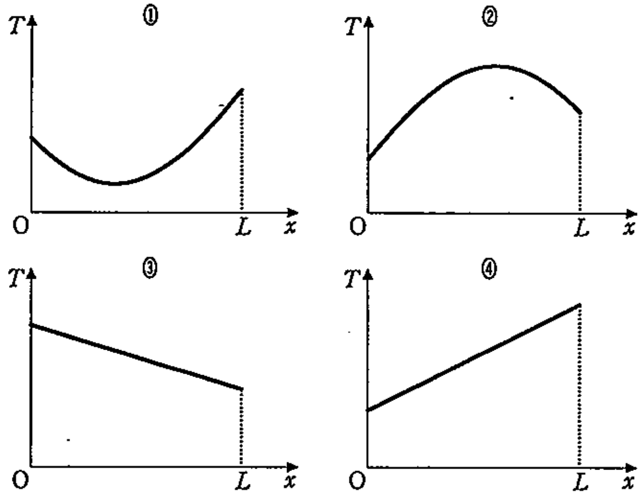
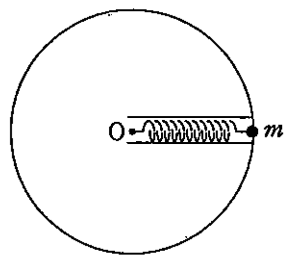


図2



102 以下の ア ～ ク にあてはまる答えを各解答群から1つ選べ。ただし，同じ答えをくり返し用いてもよい。



図のように，中心軸Oのまわりを回転する半径Rの円盤上に，ばね定数がkの軽いばねが置かれ，その一端は円盤の中心に固定され，他端には質量がmで大きさが無視できる小球が取りつけられている。ばねの自然の長さは円盤の半径より短く，ばねと小球は摩擦なしに円盤の半径方向だけに伸びるように拘束されている。なお，重

力加速度の大きさを g とする。

(1) 円盤の面を水平にして毎秒2回転させたとき，ばねは振動せず伸びて長さがちょうど円盤の半径 R に等しくなった。このとき，角速度の大きさは $\boxed{\text{ア}}$ [rad/s] である。この角速度の大きさを ω と書くと，小球の速さは $\boxed{\text{イ}}$ で，加速度の大きさは $\boxed{\text{ウ}}$ と表される。また，ばねには力 $\boxed{\text{エ}}$ がはたらいていて，自然の長さから $\boxed{\text{オ}}$ だけ伸びている。

(2) この状態で，小球がばねからはずれて水平に飛び出した。小球は，はずれた位置で円盤の接線と角度 $\boxed{\text{カ}}$ をなす方向に飛び出す。円盤の地表からの高さを h とすると，小球は時間 $\boxed{\text{キ}}$ の後に，はずれた位置から水平方向に距離 $\boxed{\text{ク}}$ だけ離れた地表に落ちる。

$\boxed{\text{ア}}$ の解答群

① $\frac{\pi}{2}$　② π　③ 2π　④ 4π　⑤ 8π

$\boxed{\text{イ}}$, $\boxed{\text{ウ}}$, $\boxed{\text{エ}}$ の解答群

① R　② $m\omega$　③ $R\omega$　④ $R\omega^2$　⑤ $mR\omega$

⑥ $mR\omega^2$　⑦ $\frac{kR}{\omega}$　⑧ $\frac{mR\omega}{k}$　⑨ $\frac{mk\omega^2}{R}$　⑩ $\frac{mR\omega^2}{k}$

$\boxed{\text{オ}}$ の解答群

① kR　② $mk\omega$　③ $kR\omega$　④ $kR\omega^2$　⑤ $mkR\omega$

⑥ $mkR\omega^2$　⑦ $\frac{kR}{\omega}$　⑧ $\frac{mR\omega}{k}$　⑨ $\frac{mk\omega^2}{R}$　⑩ $\frac{mR\omega^2}{k}$

$\boxed{\text{カ}}$ の解答群

① 0°　② 30°　③ 45°　④ 60°　⑤ 90°

$\boxed{\text{キ}}$, $\boxed{\text{ク}}$ の解答群

① $\sqrt{gh}$　② $\sqrt{2gh}$　③ $\sqrt{\frac{h}{g}}$　④ $\sqrt{\frac{2h}{g}}$　⑤ $\omega\sqrt{\frac{2h}{g}}$

⑥ $\omega^2\sqrt{\frac{h}{g}}$　⑦ $R\omega\sqrt{\frac{2h}{g}}$　⑧ $R\omega^2\sqrt{\frac{2h}{g}}$　⑨ $\sqrt{h^2+\frac{hR^2\omega^2}{g}}$

⑩ $R\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}$

103 弾丸を地上から打ち上げるとき，初速 v_0 がある値より大きいと弾丸は地球の引力から脱出できる。その値を求めてみよう。ただし空気による抵抗は無視する。また地球の半径を R，地表での重力加速度を g，弾丸の質量を m とする。

(1) 地球から無限に離れた点での弾丸の位置エネルギーを0として，地球の中心から距離 r の点における位置エネルギーを，地表での重力加速度 g を使って表せ。

(2) 速さを v とすると弾丸の運動エネルギーはいくらか。

(3) エネルギー保存則を使って弾丸が地球の引力から脱出できる最低の初速を求めよ。

(4) 地球の引力から脱出できるには，弾丸を地面に対して最低何度以上の角度で打ち上げる必要があるか。

(1) ① $-\frac{Rgm}{r}$　② $-\frac{R^2gm}{r}$　③ $-\frac{rgm}{R}$

④ $\frac{Rgm}{r}$　⑤ $\frac{R^2gm}{r}$　⑥ $\frac{rgm}{R}$

(2) ① $\frac{m}{2}v^2$　② $\frac{m}{2}\left(\frac{rv}{R}\right)^2$　③ $\frac{m}{2}\left(\frac{Rv}{r}\right)^2$

(3) ① $\geqq\sqrt{Rg}$　② $\geqq\sqrt{2Rg}$　③ $\geqq\sqrt{\frac{2R}{g}}$　④ $\geqq\sqrt{\frac{R}{g}}$

(4) ① $\geqq$0°　② 45°　③ 90°

104 なめらかに動く軽いピストンが付いた容器Aと，容積 V_0 の容器Bがコック(栓)のついた細管でつながれている。容器と器材はすべて断熱性であり，細管の体積は無視できる。気体定数を R として，次の問いに答えよ。

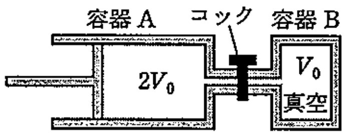


図1

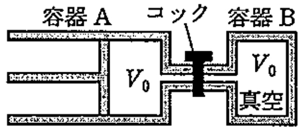


図2

(1) 最初，図1のように，コックは閉じられていて，容器Aには物質量 n の単原子分子理想気体が体積 $2V_0$，絶対温度 T_0 の状態で封じこめられていた。容器B内は真空であった。このとき，

(a) 容器A内の気体の圧力 p_0 を n，R，T_0，V_0 を用いて表せ。

(b) 容器A内の気体の内部エネルギーを p_0，V_0 を用いて表せ。

(2) (1)の状態から容器Aのピストンを手で十分にゆっくりと動かし，図2のように気体の体積を V_0 にしたところ，圧力は p_1 になった。この過程では，圧力 p と体積 V との間に $pV^{\frac{5}{3}}=$一定 という関係が成りたっていた。

(a) 容器 A 内の気体の圧力 p_1 を p_0 を用いて表せ。

(b) 手がした仕事を p_0, p_1, V_0 を用いて表せ。

(3) (2)の状態からコックを開いてしばらくすると，容器 A，B 全体に気体が広がり平衡状態になった。

(a) この過程での気体の内部エネルギーの変化量を求めよ。

(b) 容器内の気体の圧力を p_1 を用いて表せ。

105 図1に示すように，外気と同じ絶対温度 T_0 の空気が満たされた容積 V_0 の気球がある。ゴンドラ，ガスバーナー，気球を構成する膜の総質量は M で，これら物体の総体積は気球内空気の体積と比較して無視できる。気球の下の開口部から空気を熱して，気球内の空気の絶対温度を一様に $T(>T_1)$ まで上昇させると，気球は浮上した(図2)。このとき，熱せられた気球内の空気の一部が開口部から出て，気球内の気圧は外気圧と等しくなる。空気を理想気体とし，絶対温度 T_0 のときの空気密度を ρ_0，重力加速度の大きさを g として，次の問いに答えよ。

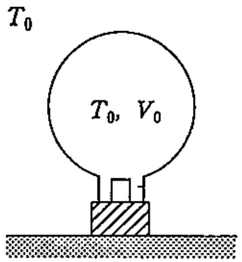


図1

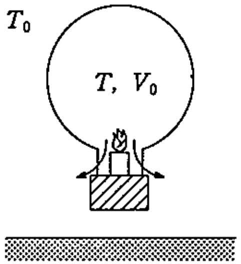


図2

(1) 絶対温度 T_0，容積 V_0 の理想気体を同じ圧力のもとで絶対温度 T まで上昇させたとき，気体の体積の増加分を求めよ。

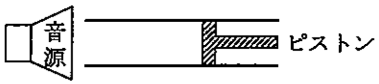
(2) 浮上した気球内(図2)の密度を ρ とするとき，気球内の空気の質量を ρ，V_0 を用いて表せ。

(3) (2)の ρ を ρ_0，T，T_0 を用いて表せ。

(4) 気球にはたらく浮力を求めよ。

(5) $T>T_1$ のとき気球は浮く。T_1 を ρ_0，V_0，T_0，M を用いて表せ。

106 次の文中の空欄の中に入れるのに，最も適当なものを解答群から選び，その番号を記せ。



図のように，太さが一様なガラス管に位置を調節できるピストンを入れ，管口に音源を置いたものが空気中に置いてある。音源の振動数と管口からピストンまでの距離がある関係になると，気柱は共鳴現象を起こす。共鳴状態では，ピストンの位置が節，管口が腹となる定常波が現れる。実際にはこの腹の位置が管口より少し外になり，管口と実際の腹の位置との距離を開口端補正という。空気中の音波の速さを 3.4×10^2 m/s として次の問いに答えよ。

(1) 音源から振動数 f [Hz] の音を出し，管口の位置にあったピストンを引き抜いていったところ，管口から 0.16 m の位置で最初の共鳴が起こり，さらに引き抜いていくと管口から 0.50 m の位置で2度目の共鳴が起こった。音源から出る音波の波長は $\boxed{\text{ア}}$ m，振動数 f は $\boxed{\text{イ}}$ Hzである。また，開口端補正は $\boxed{\text{ウ}}$ mである。

(2) ピストンを管口から 0.50 m の位置にしたままで音源の振動数を上げていくと，次の共鳴が起こるのは波長が $\boxed{\text{エ}}$ m のときであり，このときの振動数は $\boxed{\text{オ}}$ Hz である。

$\boxed{\text{ア}}$ の解答群 ① 0.17 ② 0.34 ③ 0.51 ④ 0.66 ⑤ 0.68 ⑥ 0.85

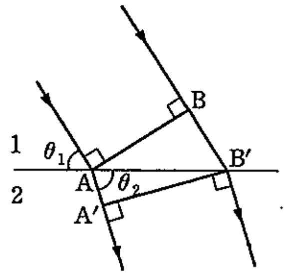
$\boxed{\text{イ}}$ の解答群 ① 4.0×10^2 ② 5.0×10^2 ③ 5.2×10^2 ④ 6.7×10^2 ⑤ 1.0×10^3 ⑥ 2.0×10^3

$\boxed{\text{ウ}}$ の解答群 ① 0.00 ② 0.01 ③ 0.02 ④ 0.03 ⑤ 0.04 ⑥ 0.06

$\boxed{\text{エ}}$ の解答群 ① 0.12 ② 0.23 ③ 0.30 ④ 0.41 ⑤ 0.54 ⑥ 0.62

$\boxed{\text{オ}}$ の解答群 ① 5.5×10^2 ② 6.3×10^2 ③ 8.3×10^2 ④ 1.1×10^3 ⑤ 1.5×10^3 ⑥ 2.8×10^3

107 波の屈折は，媒質によって波の速さが異なるために起こる。図のように，媒質1の中を進んできた波は境界面に達すると，屈折して媒質2の中を進んでいく。媒質1，2の中における波の速さを v_1，v_2 とすると，媒質1に対する媒質2の相対屈折率は $n_{12}=\dfrac{v_1}{v_2}$ と定義される。



(1) 図に示すように，入射波の進行方向と境界面がなす角を θ_1，屈折波の進行方向と境界面がなす角を θ_2 とする。入射波の波面が AB に達した瞬間から時間 t の後に，波面の一端 B が境界面上の点 B′ に達するとすると，BB′$=\boxed{\text{ア}}$ である。この間に A から入った波は A から $\boxed{\text{イ}}$ だけ離れた点 A′ まで進んでいる。このとき図より，BB′$=\boxed{\text{ウ}}$，AA′$=\boxed{\text{エ}}$ と表すこともできる。したがって，θ_1，θ_2，v_1，v_2 の間には $\boxed{\text{オ}}$ の関係がある。また，波の振動数は屈折によって変化しないので，媒質1，2の中での波長を λ_1，λ_2 とすれば，$n_{12}=\boxed{\text{カ}}$ である。

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$ の解答群

① $\frac{1}{2}(v_1-v_2)t$　② $(v_1-v_2)t$　③ $2(v_1-v_2)t$　④ $\frac{1}{2}v_1t$　⑤ v_1t

⑥ $2v_1t$　⑦ $\frac{1}{2}v_2t$　⑧ v_2t　⑨ $2v_2t$

$\boxed{\text{ウ}}$ の解答群

① $\mathrm{AB}\cos\theta_1$　② $\mathrm{AB}\sin\theta_1$　③ $\mathrm{AB}\tan\theta_1$　④ $\mathrm{AB'}\cos\theta_1$

⑤ $\mathrm{AB'}\sin\theta_1$　⑥ $\mathrm{AB'}\tan\theta_1$　⑦ $\mathrm{A'B'}\cos\theta_1$　⑧ $\mathrm{A'B'}\sin\theta_1$

⑨ $\mathrm{A'B'}\tan\theta_1$

$\boxed{\text{エ}}$ の解答群

① $\mathrm{AB}\cos\theta_2$　② $\mathrm{AB}\sin\theta_2$　③ $\mathrm{AB}\tan\theta_2$　④ $\mathrm{AB'}\cos\theta_2$

⑤ $\mathrm{AB'}\sin\theta_2$　⑥ $\mathrm{AB'}\tan\theta_2$　⑦ $\mathrm{A'B'}\cos\theta_2$　⑧ $\mathrm{A'B'}\sin\theta_2$

⑨ $\mathrm{A'B'}\tan\theta_2$

$\boxed{\text{オ}}$ の解答群

① $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$　② $\dfrac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$　③ $\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$

④ $\dfrac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$　⑤ $\dfrac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$　⑥ $\dfrac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$

$\boxed{\text{カ}}$ の解答群

① $\lambda_1\lambda_2$　② $\sqrt{\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}}$　③ $\sqrt{\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}}$　④ $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$

⑤ $\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}$　⑥ $\left(\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2$　⑦ $\left(\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2$

(2) 図において，n_{12} が1より大きいとき，媒質2から1へ進行する波を考える。この場合の入射波が境界面となす角 θ_2 を小さくして $\boxed{\text{キ}}$ の関係を満たすようになると，波がすべて反射する全反射が起こる。

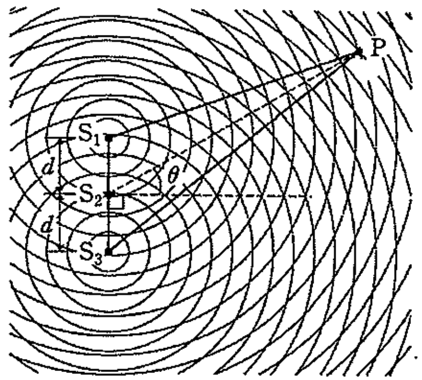
$\boxed{\text{キ}}$ の解答群

① $\sin\theta_2=1$　② $\sin\theta_2=n_{12}$　③ $\sin\theta_2=\dfrac{1}{n_{12}}$　④ $\cos\theta_2=1$

⑤ $\cos\theta_2=n_{12}$　⑥ $\cos\theta_2=\dfrac{1}{n_{12}}$　⑦ $\tan\theta_2=1$　⑧ $\tan\theta_2=n_{12}$

⑨ $\tan\theta_2=\dfrac{1}{n_{12}}$

108 図のように深さが一様な水槽の水面上に3個の小球 S_1，S_2，S_3 を配置する。小球は直線上にあり，S_1 と S_2，S_2 と S_3 の間隔はともに d である。これらの小球は同じ振動数 f で個々に振動させることができ，振動中は水面をたたき，波長 λ の円形波を発生させる。振動していないときは水面に接していないものとする。小球が並ぶ直線に垂直な直線と S_2 から波の観測点Pに引いた直線とのなす角度を θ ($0°\leqq\theta<90°$) とし，小球からPまでの距離は d に比べて十分大きいとする，また，水槽の壁による反射波は無視できるとする。以下では，n は0または正の整数とする。



(1) まず S_1 と S_3 の2つを振動させる。直線 S_1P と直線 S_3P は直線 S_2P にほぼ平行とみなせる。よって，S_1 とPの間の距離 $\overline{S_1P}$ と，S_3 とPの間の距離 $\overline{S_3P}$ の差 $\Delta L=|\overline{S_1P}-\overline{S_3P}|$ は，θ を使って近似的に $\Delta L=\boxed{\text{ア}}$ と表せる。S_1 と S_3 を同位相で振動させた場合にPで観測する2つの波が互いに強めあう条件は，n を使って $\Delta L=\boxed{\text{イ}}$ と表せる。また，弱めあう条件は $\Delta L=\boxed{\text{ウ}}$ である。一方，S_1 と S_3 を逆位相で振動させた場合は，2つの波が強めあう条件は $\Delta L=\boxed{\text{エ}}$，弱めあう条件は $\Delta L=\boxed{\text{オ}}$ となる。

$\boxed{\text{ア}}$ の解答群

① $\frac{1}{2}d\cos\theta$　② $d\cos\theta$　③ $\frac{3}{2}d\cos\theta$　④ $2d\cos\theta$

⑤ $\frac{1}{2}d\sin\theta$　⑥ $d\sin\theta$　⑦ $\frac{3}{2}d\sin\theta$　⑧ $2d\sin\theta$

$\boxed{\text{イ}}$～$\boxed{\text{オ}}$ の解答群

① $n\lambda$　② $\left(n+\frac{1}{4}\right)\lambda$　③ $\left(n+\frac{1}{3}\right)\lambda$　④ $\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$

⑤ $\frac{n}{2}\lambda$　⑥ $\left(\frac{n}{2}+\frac{1}{4}\right)\lambda$　⑦ $\left(\frac{n}{2}+\frac{1}{3}\right)\lambda$

(2) 次に3個の小球 S_1，S_2，S_3 をすべて振動させる。このとき，$|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=\boxed{\text{カ}}$ であり，$|\overline{S_2P}-\overline{S_3P}|=\boxed{\text{キ}}$ である。以下，観測点Pでの振幅を求めるが，Pは(1)の「同位相で振動する S_1 と S_3 から発生した2つの波が強めあう条件 $|\overline{S_1P}-\overline{S_3P}|=$(イ)」を満たしているとする。1個の小球の振動による波のPでの振幅

をAとして，Pでの合成波の振幅をAを使って表してみよう。まず3個の小球をすべて同位相で振動させた場合は，(イ)のnが偶数ならば，Pで観測する波の振幅は$\boxed{\text{ク}}\times A$になり，奇数ならばPで観測する波の振幅は$\boxed{\text{ケ}}\times A$になる。これに対してS_1，S_3を同位相，S_2をS_1，S_3に対して逆位相で振動させた場合は(イ)のnが偶数ならばPで観測する波の振幅は$\boxed{\text{コ}}\times A$になり，奇数ならばPで観測する波の振幅は$\boxed{\text{サ}}\times A$になる。

$\boxed{\text{カ}}$と$\boxed{\text{キ}}$の解答群

① $\frac{1}{2}d\cos\theta$　② $d\cos\theta$　③ $\frac{3}{2}d\cos\theta$　④ $2d\cos\theta$

⑤ $\frac{1}{2}d\sin\theta$　⑥ $d\sin\theta$　⑦ $\frac{3}{2}d\sin\theta$　⑧ $2d\sin\theta$

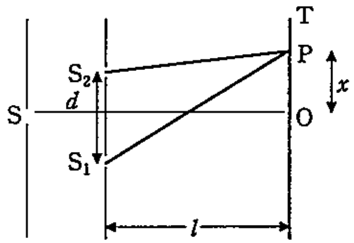
$\boxed{\text{ク}}$〜$\boxed{\text{サ}}$の解答群

① 0　② $\frac{1}{2}$　③ $\frac{\sqrt{2}}{2}$　④ 1　⑤ $\sqrt{2}$

⑥ $\frac{3}{2}$　⑦ $\sqrt{3}$　⑧ 2　⑨ 3

109 次に文中の$\boxed{\text{ア}}$〜$\boxed{\text{カ}}$にあてはまる最も適当なものを，それぞれの解答群から選べ。ただし，同じ番号をくり返し用いてもよい。

図において，スリットSから入射した波長λの単色光が，Sから等距離にある間隔dでおかれた2つのスリットS_1，S_2を通り，距離l離れてS_1S_2と平行に配置されたスクリーンT上に縞模様を発生させた。



この縞模様の原因は，S_1およびS_2からT上の任意の点までの距離に関して，その差Lを考えるとき，mを整数とすると，$L=\boxed{\text{ア}}$ならS_1，S_2から出た光はその点で強めあい，$L=\boxed{\text{イ}}$なら弱めあうことによる。強めあうところは明るく，弱めあうところは暗くなり，明暗の縞模様ができるわけである。

ここで，隣りあう明線の間隔Δxと波長λとの関係を調べるため，図のT上の点Pに関してLを求めてみる。そのため，S_1S_2の中点からTにおろした垂線とTとの交点をO，OとPの距離をxとし，S_1P，S_2Pをそれぞれ斜辺とする直角三角形に三平方の定理を適用すると，$S_1P^2-S_2P^2=\boxed{\text{ウ}}$であり，$S_1P-S_2P=\dfrac{\boxed{\text{ウ}}}{S_1P+S_2P}$と変形できる。

このとき，dとxはlよりはるかに小さいとすると，$S_1P+S_2P=2l$とみなしてよいので，$L=S_1P-S_2P=\boxed{\text{エ}}$となる。

さらに，Pは点Oの上下にとれることから，$L=|S_1P-S_2P|=\boxed{\text{エ}}$が導かれる。

$\boxed{\text{ア}}=\boxed{\text{エ}}$であることを考慮すれば，$m$が1異なる場合の$x$から，$\Delta x$と$\lambda$との関係は，$\Delta x=\boxed{\text{オ}}$で表される。

このことより，d，l，Δxを測定すると，波長λが決定されることがわかる。この実験を$\boxed{\text{カ}}$の実験という。

[(ア)，(イ)の解答群]

① $m\lambda$　② $\frac{1}{2}m\lambda$　③ $\frac{1}{3}m\lambda$　④ $m\lambda+\frac{1}{2}\lambda$

⑤ $m\lambda+\frac{1}{3}\lambda$　⑥ $\frac{\lambda}{m}$　⑦ $\frac{\lambda}{2m}$　⑧ $\frac{\lambda}{3m}$

[(ウ)の解答群]

① $4xd$　② $2xd$　③ xd　④ $\frac{1}{xd}$

⑤ $\frac{1}{2xd}$　⑥ $\frac{1}{4xd}$　⑦ $\frac{1}{2}xd$　⑧ $\frac{1}{4}xd$

[(エ)の解答群]

① $\frac{ld}{x}$　② $\frac{x}{ld}$　③ $\frac{xd}{l}$　④ $\frac{l}{xd}$　⑤ $\frac{lx}{d}$　⑥ $\frac{d}{lx}$

⑦ $\frac{2ld}{x}$　⑧ $\frac{2x}{ld}$　⑨ $\frac{2xd}{l}$　⑩ $\frac{2l}{xd}$　⑪ $\frac{2lx}{d}$　⑫ $\frac{2d}{lx}$

[(オ)の解答群]

① $\frac{ld}{\lambda}$　② $\frac{\lambda}{ld}$　③ $\frac{\lambda d}{l}$　④ $\frac{l}{\lambda d}$　⑤ $\frac{l\lambda}{d}$　⑥ $\frac{d}{l\lambda}$

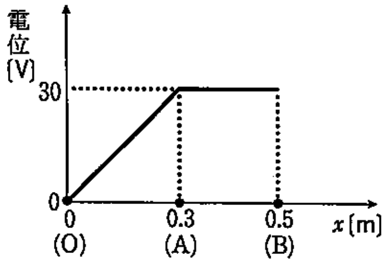
⑦ $\frac{2ld}{\lambda}$　⑧ $\frac{2\lambda}{ld}$　⑨ $\frac{2\lambda d}{l}$　⑩ $\frac{2l}{\lambda d}$　⑪ $\frac{2l\lambda}{d}$　⑫ $\frac{2d}{l\lambda}$

[(カ)の解答群]

① ホイヘンス　② ニュートン　③ ドップラー　④ シャルル

⑤ ヤング　⑥ クーロン　⑦ ジュール　⑧ ミリカン

110　電場(電界)のある空間内の3点O，A，Bを通る直線をx軸とし，点Oをx軸の原点にとる。直線OAはその間の一様な電場の電気力線に平行である。さらに，点Oを電位の基準として，x軸上OB間の任意の場所の電位をグラフにしたところ，グラフのようになった。グラフにおいて，点Aおよび点Bのx軸上の座標値は$x_A=0.30$ m，$x_B=0.50$ mである。



グラフより，OA間の電位差は$\boxed{\text{ア}}$Vである。また，AB間の電場の強さは$\boxed{\text{イ}}$V/mである。また，OA間の電場の向きは$\boxed{\text{ウ}}$であり，その電場の強さは$\boxed{\text{エ}}$V/mである。

いま，点Oに-1.6×10^{-19} Cの電荷をもつ粒子を静かに置いたところ粒子は電場で加速されて点Oから点Aに移動した。粒子が点Aまでに獲得する運動エネルギーは$\boxed{\text{オ}}\times10^{-19}$ Jである。

$\boxed{\text{ア}}$の解答群　① 10　② 20　③ 30　④ 40　⑤ 50

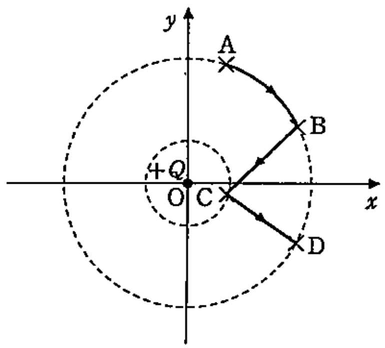
$\boxed{\text{イ}}$の解答群　① 0　② 10　③ 20　④ 30　⑤ 40

$\boxed{\text{ウ}}$の解答群　① 点OからAの向き　② 点AからOの向き

$\boxed{\text{エ}}$の解答群　① 0　② 30　③ 60　④ 100　⑤ 120

$\boxed{\text{オ}}$の解答群　① 24　② 48　③ 72　④ 96　⑤ 120

111　xy平面上の原点に正の電気量$+Q$をもつ点電荷を固定する。図の点線は原点を中心とする2つの同心円を示し，それぞれの半径は，R，$3R$である。クーロンの法則の比例定数をkとする。



以下の問いに答えよ。正しい答えが2つ以上ある場合には，それらのすべてを答えること。

(1)　図に示す4つの点A，B，C，Dのうち，最も電位が低い点はどの点か。

(2)　4つの点A，B，C，Dのうち，電場の強さが最も強いのはどの点か。

(3)　点Bと点Cとの間の電位差はいくらか。

いま，同じxy平面上で負の試験電荷$-q$を矢印に沿って点Aから3つの区間AB，BC，CDを経由して，点Dまでゆっくり移動させる。

(4)　点Aで試験電荷にはたらく静電気力の方向はどの方向か。次の①〜⑥の中から正しいものを選んでその番号を答えよ。

①　x軸の正の方向　②　x軸の負の方向

③　y軸の正の方向　④　y軸の負の方向

⑤　原点から点Aに向かう方向　⑥　点Aから原点に向かう方向

(5)　3つの区間AB，BC，CDのうち，移動中に試験電荷が外部とのエネルギーのやりとりをまったく行わない区間はどの区間か。

(6)　3つの区間AB，BC，CDのうち，試験電荷に外からはたらく力が正の仕事をし続けるのはどの区間か。

112　次の文中の$\boxed{}$内に入れるのに適当な式，または語句を解答群から選べ。

(a)　面積S[m^2]の平板電極2枚を，d[m]の距離を保って真空中に平行におき，平行板コンデンサーをつくった。このコンデンサーに電圧V[V]をかけたとき，Q[C]の電荷がたくわえられた。このとき，電極間の電場の強さE[V/m]は$\boxed{\text{ア}}$[V/m]となる。クーロンの法則における比例定数k[N・m^2/C^2]を用いて，電気量1Cの正電荷から出る電気力線の総本数を$4\pi k$[本]と表すと，電極間の電気力線の総本数は$\boxed{\text{イ}}$[本]となり，電気力線の密度は$\boxed{\text{ウ}}$[本/m^2]である。この密度はEの値に等しいので，Qは$\boxed{\text{エ}}$[C]と表される。よって，このコンデンサーの電気容量は$\boxed{\text{オ}}$[F]となる。

(b)　(a)の平行板コンデンサーを，電荷Qが逃げないようにして，電源から切りはなした。極板間の距離を$\dfrac{d}{2}$にすると，電圧は$\boxed{\text{カ}}$[V]となり，たくわえられている静電エネルギーは$\boxed{\text{キ}}$[J]だけ$\boxed{\text{ク}}$。また，極板間の距離をdに保ったまま，極板を平行にずらして向かい合う面積を半分にすると，電圧は$\boxed{\text{ケ}}$[V]となり，たくわえられている静電エネルギーは$\boxed{\text{コ}}$[J]だけ$\boxed{\text{サ}}$。

[解答群]

(1)　$\dfrac{V}{2d}$　(2)　$\dfrac{V}{d}$　(3)　Vd　(4)　$2Vd$　(5)　πkQ^2

(6) $2\pi kQ^2$ (7) $2\pi kQ$ (8) $4\pi kQ$ (9) $\dfrac{4\pi kQ}{d}$ (10) $\dfrac{4\pi kQ}{d^2}$

(11) $\dfrac{2\pi kQ^2}{S}$ (12) $\dfrac{4\pi kQ^2}{S}$ (13) $\dfrac{2\pi kQ}{S}$ (14) $\dfrac{4\pi kQ}{S}$ (15) $\dfrac{SV^2}{4\pi kd^2}$

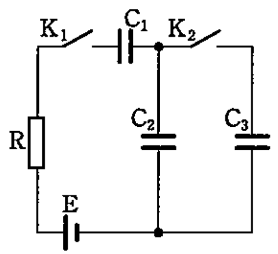
(16) $\dfrac{SV^2}{2\pi kd^2}$ (17) $\dfrac{SV}{4\pi kd}$ (18) $\dfrac{S}{4\pi kd}$ (19) $\dfrac{SV}{4\pi kd^2}$ (20) $\dfrac{SV}{2\pi kd^2}$

(21) $\dfrac{SV}{\pi kd^2}$ (22) $\dfrac{S}{\pi kd^2}$ (23) $\dfrac{V}{4}$ (24) $\dfrac{V}{2}$ (25) V

(26) $2V$ (27) $4V$ (28) QV (29) $2QV$ (30) $4QV$

(31) $\dfrac{QV}{4}$ (32) $\dfrac{QV}{2}$ (33) 増える (34) 減る

113 図のような回路を考える。内部抵抗の無視できる電池Eの起電力は1.2×10 V，抵抗Rは4.0 Ω，コンデンサーの電気容量はC_1が1.0 μF，C_2は2.0 μF，C_3は3.0 μFである。また，K_1とK_2はスイッチである。



(1) どのコンデンサーにも電荷が蓄えられていない状態で，スイッチK_2を閉じた後K_1を閉じた。十分時間が経過した後のそれぞれのコンデンサーの両端の電位差と蓄えられた電気量は，C_1は[ア]Vと[イ]C，C_2は[ウ]Vと[エ]C，C_3は[オ]Vと[カ]Cである。3つのコンデンサーに蓄えられたエネルギーの総和は[キ]Jである。

[ア]，[ウ]，[オ]の解答群

① 1.0 ② 2.0 ③ 3.0 ④ 4.0
⑤ 6.0 ⑥ 8.0 ⑦ 1.0×10 ⑧ 1.2×10

[イ]，[エ]，[カ]の解答群

① 1.0×10^{-6} ② 2.0×10^{-6} ③ 3.0×10^{-6} ④ 4.0×10^{-6}
⑤ 6.0×10^{-6} ⑥ 1.0×10^{-5} ⑦ 2.0×10^{-5} ⑧ 3.0×10^{-5}

[キ]の解答群

① 1.2×10^{-6} ② 2.0×10^{-6} ③ 3.0×10^{-6} ④ 6.0×10^{-6}
⑤ 1.2×10^{-5} ⑥ 2.0×10^{-5} ⑦ 3.0×10^{-5} ⑧ 6.0×10^{-5}

(2) いったんすべてのコンデンサーを完全に放電させた後，スイッチK_2を開いたままスイッチK_1を閉じる。閉じた瞬間に抵抗Rを流れる電流は[ク]Aである。十分時間が経過した後，C_1に蓄えられた電気量は[ケ]Cで，C_2に蓄えられた電気量は[コ]Cである。次にK_1を開いた後K_2を閉じた。C_2とC_3に蓄えられた電気量はそれぞれ[サ]Cと[シ]Cとなる。

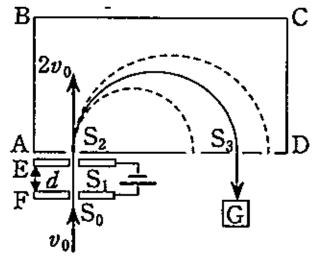
[ク]の解答群

① 1.0 ② 2.0 ③ 3.0 ④ 4.0
⑤ 6.0 ⑥ 8.0 ⑦ 1.0×10 ⑧ 1.2×10

[ケ]～[シ]の解答群

① 1.0×10^{-6} ② 2.0×10^{-6} ③ 2.4×10^{-6} ④ 3.2×10^{-6}
⑤ 4.0×10^{-6} ⑥ 4.8×10^{-6} ⑦ 6.0×10^{-6} ⑧ 7.2×10^{-6}
⑨ 8.0×10^{-6} ⑩ 8.4×10^{-6} ⑪ 9.0×10^{-6} ⑫ 9.6×10^{-6}

114 簡単な質量分析器(ローレンツ力を利用してイオン等の質量を測定する装置)を考える。図において領域ABCDには磁束密度B_0の一様な磁場が加わっており，また間隔dの平行板電極EFには電場E_0が加わっている。S_0，S_1，S_2，S_3はスリットでありGは粒子を検出する検出器である。いま，S_0から速度v_0で入射した質量m，電荷qの陽イオンが電極EFで加速されてS_1を通りS_2から速度$2v_0$で磁場中に入射し，紙面に平行な面内で半円軌道を描いてS_3を通過して検出器Gで検出された。以下の問いに答えよ。



(1) 領域ABCDの磁場の向きは紙面に対してどちら向きか。

① 紙面に平行に，右から左 ② 紙面に平行に，左から右
③ 紙面に垂直に，表から裏 ④ 紙面に垂直に，裏から表
⑤ 紙面に平行に，上から下 ⑥ 紙面に平行に，下から上

(2) 陽イオンの半円軌道の直径はいくらか。

① $\dfrac{mv_0}{qB_0}$ ② $\dfrac{2mv_0}{qB_0}$ ③ $\dfrac{4mv_0}{qB_0}$ ④ $\dfrac{qB_0}{mv_0}$ ⑤ $\dfrac{qB_0}{2mv_0}$

(3) 電極EFの間隔dはいくらか。

① $\dfrac{mv_0^2}{2qE_0}$ ② $\dfrac{3mv_0^2}{2qE_0}$ ③ $\dfrac{mv_0^2}{qE_0}$ ④ $\dfrac{2mv_0^2}{qE_0}$ ⑤ $\dfrac{3mv_0^2}{qE_0}$

(4) さらに，エネルギーと電荷が等しく，質量が$2m$の陽イオンをS_0から入射させた。この粒子がS_2から磁場中に入射するときの速度の大きさはいくらか。

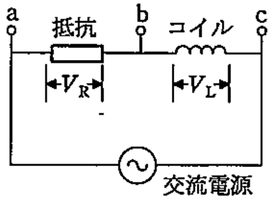
① $4v_0$　② $2v_0$　③ $\dfrac{1}{2}v_0$　④ $\sqrt{2}\,v_0$　⑤ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}v_0$

(5)　この陽イオンを検出器 G で検出したい。検出するためには検出器を最初の位置からどれだけ移動させればよいか。

① $\dfrac{mv_0}{qB_0}(2\sqrt{2}-1)$　② $\dfrac{2mv_0}{qB_0}(2\sqrt{2}-1)$　③ $\dfrac{4mv_0}{qB_0}(2\sqrt{2}-1)$

④ $\dfrac{2mv_0}{qB_0}(\sqrt{2}-1)$　⑤ $\dfrac{4mv_0}{qB_0}(\sqrt{2}-1)$

115　図は抵抗値 R〔Ω〕の抵抗と，抵抗を無視できる自己インダクタンス L〔H〕のコイルを直列に接続し，交流電源につないだ回路である。このとき，抵抗の両端の電圧 V_R〔V〕(b に対する a の電位) は $V_R=V_0\sin\omega t$ で表される。ここで V_0〔V〕は電圧の最大値，ω〔rad/s〕は角周波数，t〔s〕は時刻である。



以下の [　　] に適する数式を入れ，{　　} 内は適する語句を選んで記号で答えよ。

(1)　時刻 t において回路に流れる電流は [ア]〔A〕と表される。この式は電流の位相が {① V_R より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕進んでいる，② V_R と同じである，③ V_R より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕遅れている} ことを示している。π は円周率である。

(2)　時刻 t において抵抗で消費される電力の瞬時値は [イ]〔W〕と表される。

(3)　コイルの両端の電圧 V_L〔V〕(c に対する b の電位) は $V_L=$ [ウ] と表される。この式は V_L の位相が {①　電流より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕進んでいる，②　電流と同じである，③　電流より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕遅れている} ことを示している。

(4)　電源の電圧 V〔V〕(c に対する a の電位)，V_R，V_L の間には $V=V_R+V_L$ の関係がある。いま，V と電流の位相差を ϕ〔rad〕とおけば，$V=$ [エ] $\times\sin(\omega t+\phi)$ と表される。

116　次の文〔A〕，〔B〕を読み，下記の設問 (1)～(3) に答えよ。

〔A〕　特性 X 線とは，主に原子の一番低いエネルギー準位 (K 殻と呼ぶ) にあった電子が真空中に飛び出し，そこへ高いエネルギー準位にある電子が移るときに出す X 線である。原子番号 Z の原子を考えたとき，Z は原子核中の [ア] の数であるので，原子核は素電荷を e〔C〕として [イ]〔C〕の電荷をもつ。ボーアの水素原子の理論から類推すると，K 殻のエネルギー準位は [ウ]。

〔B〕　図 1 は銀 ($Z=47$) でできた陽極をもつ X 線管である。この X 線管で発生する X 線の波長 λ と強度の関係を測定したところ，図 2 のようになった。このとき電子の加速電圧 V〔V〕はおよそ [エ]〔V〕である。加速電圧をいまの 2 倍にすると，X 線の最短波長は [オ]。また，特性 X 線のピーク (a)，(b) の波長は [カ]。

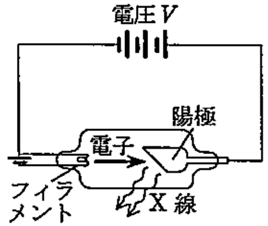


図 1

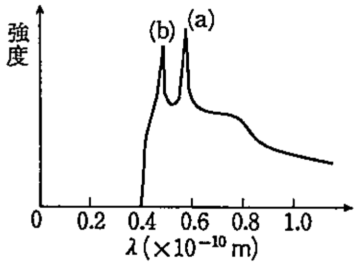


図 2

次に陽極をモリブデン ($Z=42$) に変え，加速電圧をもとの V〔V〕にしたところ，最短波長は図 2 の値に比べ [キ]。特性 X 線 (a)，(b) に相当するピークは [ク]。

(1)　文中の空所 (ア)，(イ) にそれぞれあてはまる語句または式を記せ。

(2)　文中の空所 (ウ)～(キ) にあてはまる語句またはもっとも近い数値を，それぞれの (a)～(e) から 1 つずつ選び，その符号を記せ。プランク定数 $h=6.6\times10^{-34}$ (J・s)，素電荷 $e=1.6\times10^{-19}$ (C)，光の速さ $c=3.0\times10^{8}$ (m/s) とする。

[ウ]　(a)　Z の増加とともに低くなる　(b)　Z の増加とともに高くなる　(c)　Z によらず一定となる　(d)　Z に対して周期的に変化する　(e)　Z に対して規則性はない

[エ]　(a)　0.1×10^4　(b)　0.5×10^4　(c)　1×10^4　(d)　3×10^4　(e)　5×10^4

[オ]　(a)　$\dfrac{1}{4}$ になる　(b)　$\dfrac{1}{2}$ になる　(c)　変化しない　(d)　2 倍になる　(e)　4 倍になる

[カ]　(a)　$\dfrac{1}{4}$ になる　(b)　$\dfrac{1}{2}$ になる　(c)　変化しない　(d)　2 倍になる　(e)　4 倍になる

[キ]　(a)　$\dfrac{1}{4}$ になる　(b)　$\dfrac{1}{2}$ になる　(c)　変化しない　(d)　2 倍になる

(e) 4倍になる

(3) 文中の空所(ク)にあてはまる文を，次の(a)〜(d)から1つ選びその符号を記せ。

$\boxed{\text{ク}}$ (a) 波長の長いほうへ動く (b) 変化しない

(c) 波長の短いほうへ動く (d) 観測されなくなる

117 次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ 〜 $\boxed{\text{ウ}}$ に適当な字句，式または数字を入れよ。

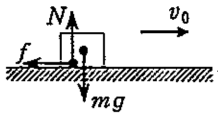
放射性の炭素14を用いた年代測定法の原理について考えよう。動物や植物が生きているときには，生体の主要構成元素である炭素中に含まれる炭素14の割合は，呼吸や光合成を通して大気中に含まれる割合と同じになっている。しかしこの動植物が死ぬと大気との交換がなくなるため，時間の経過とともに炭素14の割合は減少していく。この減少する割合として，最初に存在していた量が半分になるまでの時間を $\boxed{\text{ア}}$ といい，炭素14では5730年である。はじめの原子数を N_0，時間 t の後に壊れずに残っている原子数を N，$\boxed{\text{ア}}$ を T とすると，$\dfrac{N}{N_0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\boxed{\text{イ}}}$ が成りたつ。

ある遺跡から出土した木製品中に含まれる炭素14の割合が，生きている木に含まれる炭素14の35.4％であったとする。$\dfrac{1}{\sqrt{2}}=0.707$ と近似したとすると，この木製品は $\boxed{\text{ウ}}$ 年前のものであることがわかる。

1 板を固定する場合も，自由に移動できるようにした場合も注目する物体にはたらく力を図示して考える。どちらの場合も，小物体と板との間の動摩擦力の大きさは同じである。

<板を固定した場合>

(ア) 動摩擦力の大きさを f として，仕事とエネルギーの関係「はじめの運動エネルギー＋された仕事＝おわりの運動エネルギー」より $\frac{1}{2}mv_0{}^2+(-f\cdot l)=\frac{1}{2}m\cdot 0^2$



よって $f=\dfrac{mv_0{}^2}{2l}$

(イ) 平均の速さを $\overline{v}$ とすると，求める時間を t として $l=\overline{v}\cdot t$ が成りたつ。ここで，等加速度直線運動では $\overline{v}=\dfrac{v_0+0}{2}=\dfrac{v_0}{2}$ だから $t=\dfrac{l}{\overline{v}}=l\cdot\dfrac{2}{v_0}=\dfrac{2l}{v_0}$

別解 動摩擦係数を μ' とすると，動摩擦力の大きさは $\mu'mg$ となる。小物体の加速度を a (右向きを正) として運動方程式を立てると

$ma=-\mu'mg$ よって $a=-\mu'g$

(ア) 等加速度直線運動の式「$v^2-v_0{}^2=2ax$」より

$0^2-v_0{}^2=-2\mu'g\cdot l$ よって $\mu'=\dfrac{v_0{}^2}{2gl}$

ゆえに，動摩擦力の大きさは

$$\mu'mg=\frac{v_0{}^2}{2gl}\cdot mg=\frac{mv_0{}^2}{2l}$$

(イ) 等加速度直線運動の式「$v=v_0+at$」より

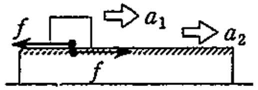
$0=v_0+(-\mu'g)\cdot t$

よって $t=\dfrac{v_0}{\mu'g}=\dfrac{2gl}{v_0{}^2}\cdot\dfrac{v_0}{g}=\dfrac{2l}{v_0}$

<板を自由に移動できるようにした場合>

(ウ) 右向きを正として，小物体と板の加速度をそれぞれ a_1，a_2 とする。それぞれの運動方程式は

鉛直方向の力は省略



小物体 $ma_1=-f$ より $a_1=-\dfrac{f}{m}$

板 $Ma_2=f$ より $a_2=\dfrac{f}{M}$

板から見た小物体の加速度を $a_{板\to小}$ とすると

$$a_{板\to小}=a_1-a_2=-\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)f$$

よって，板から見た小物体の速度 $v_{板\to小}$は，等加速度直線運動の式「$v=v_0+at$」より

$$v_{板\to小}=v_0-\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)f\cdot t$$

と表すことができる。小物体が板に対して静止するとき $v_{板\to小}=0$ であるから

$$0=v_0-\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)f\cdot t$$

よって $t=\dfrac{Mmv_0}{(M+m)f}$ ……③

(エ) 板の運動を考えて，「$v=v_0+at$」より

$V=0+a_2t$

$=\dfrac{f}{M}\cdot\dfrac{Mmv_0}{(M+m)f}=\dfrac{m}{M+m}v_0$ ……⑩

別解 運動量保存則より

$mv_0+M\cdot 0=mV+MV$

よって $V=\dfrac{m}{M+m}v_0$

また，「$v=v_0+at$」を板の運動に用いて

$V=0+\dfrac{f}{M}\cdot t$

よって $t=\dfrac{M}{f}\cdot V=\dfrac{Mmv_0}{(M+m)f}$

(オ) 板が床に対してすべった距離を x とすると，摩擦力が板に対してした仕事は fx，小物体に対してした仕事は $-f(x+S)$ であるから

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2+fx+\{-f(x+S)\}=\frac{1}{2}(M+m)V^2$$

$$S=\frac{1}{f}\cdot\frac{1}{2}\{mv_0{}^2-(M+m)V^2\}$$

$=\dfrac{mv_0{}^2-(M+m)V^2}{2f}$ ……⑫

2 (1) 力積=運動量の変化　から

$I=0.1\times 40-0.1\times(-30)=7$ (N・s)

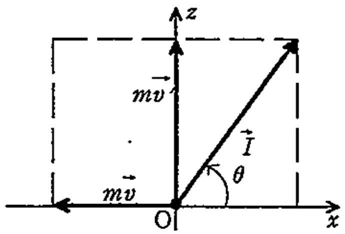
(2) 力学的エネルギー保存より，高さを h として

$\frac{1}{2}\times 0.1\times 40^2=0.1\times 9.8\times h$

ゆえに　$h=\frac{40^2}{19.6}=82$ (m)

(3) 図で，$\vec{I}=m\vec{v'}-m\vec{v}$ より

大きさ $|\vec{I}|=\sqrt{(0.1\times 30)^2+(0.1\times 40)^2}=5$ (N・s)



(4) $\tan\theta=\frac{4}{3}=1.3$

(5),(6) (1) と (3) の範囲にあればよいから

$5\leqq I\leqq 7$ (N・s)

3 (1) フックの法則により kl

(2) した仕事は，たくわえられた弾性エネルギーに等しいから $\frac{1}{2}kl^2$

(3) 求める速さを v とすると，エネルギー保存の法則により

$\frac{1}{2}kl^2=\frac{1}{2}(M+m)v^2+\frac{1}{2}k(l-d)^2$　　ゆえに　$v=\sqrt{\frac{kd(2l-d)}{M+m}}$

(4) ばねが自然長になったとき離れるから l_0

(5) 離れたときの速さを V とすると

$\frac{1}{2}(M+m)V^2=\frac{1}{2}kl^2$　　ゆえに　$V=l\sqrt{\frac{k}{M+m}}$

B は速さ V で等速度運動するから，移動距離を s とすると

$s=Vt=lt\sqrt{\frac{k}{M+m}}$

(6) (ア) 振幅を A とすると　$\frac{1}{2}mV^2=\frac{1}{2}kA^2$

ゆえに　$A=V\sqrt{\frac{m}{k}}=l\sqrt{\frac{m}{M+m}}$

(イ) $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

4 (1) (ア),(イ),(ウ)　$C=98.0\times 0.0920=9.0$ (cal/K)

(エ),(オ),(カ),(キ)　$Q=159\times 1.00\times(27.0-20.0)=1113$ (cal)

(ク),(ケ),(コ),(サ)　容器の得た熱量と前問の水の得た熱量の和であるから

$Q_1=98.0\times 0.0920\times(27.0-20.0)+1113=1176$ (cal)

(シ),(ス),(セ),(ソ)　金属球の失った熱量と Q_1 は等しいから

$80.0\times c(97.0-27.0)=1176$　　ゆえに　$c=0.210$ (cal/g・K)

(2) (タ) 温度上昇があまり大きいのは好ましくないから ③。

(チ) 室温より少し低い温度のとき投入し，室温より少し高い温度で実験が終われば，実験の間に外部から出入りする熱量を相殺できる。よって ①。

5 (1) (ア) 「$v=f\lambda$」より，速さを v，波長を λ とすると，振動数 f は

$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{2.0}{4.0}=0.50$ (Hz)

周期 T は f の逆数なので

$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{0.50}=2.0$ (s)

$t=0.50$ s は，問題の図より $\frac{1}{4}$ 周期進んでいる。よって，点 A における入射波の変位は 1.0 m になるので，合成波の変位は

$1.0+1.0=2.0$ (m)

(2) (イ) (1) より A が腹になることがわかる。腹と最も近い節までの距離は $\frac{1}{4}$ 波長であるので

$\frac{1}{4}\lambda=\frac{1}{4}\times 4.0=1.0$ (m)

A から 1.0 m だけ左側になるので

$x=6.0-1.0=5.0$ (m)

(3) (ウ) 隣りあう節と節の間隔は半波長である。

$\frac{\lambda}{2}=\frac{4.0}{2}=2.0$ (m)

よって，節は，1.0 m，3.0 m，5.0 m の位置にできる。ゆえに，0 m≦x≦6.0 m の範囲にある節の数は 3 個である。

(4) (エ) $t=1.0$ s のとき，入射波は図 a の実線である。A は固定端なので，反射波は破線のようになるので，求める位置は

$x=4.0$ m

(5) (オ) 図 a より，節の位置は，0 m，2.0 m，4.0 m，6.0 m の 4 個である。

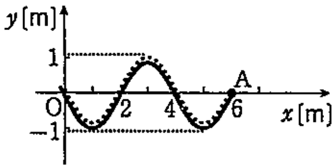


図 a

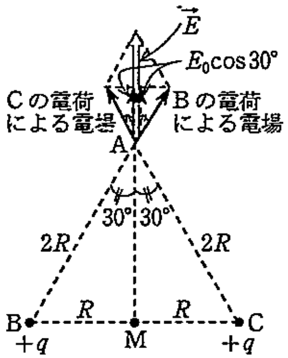
6 点電荷 Q が距離 r だけ離れた点につくる電場の強さ E は

$$E=k\frac{Q}{r^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{i})$$

向きは，電荷が正のときは点電荷から遠ざかる向き，負のときは点電荷に近づく向きである。

(ア) 点 B，C の電荷はともに $+q$ で，$\mathrm{AB}=\mathrm{AC}=2R$ だから，それらが点 A につくる電場の強さは等しい。これらの電場の強さを E_0 とすると，上記の式(i)より

$$E_0=k_0\frac{q}{(2R)^2}=k_0\frac{q}{4R^2}$$



また，向きは図に示すようになる。2 つの電場の BC と平行な成分は互いに打ち消しあうので，合成電場 $\vec{E}$ の強さ E は，BC と垂直な成分の和(一方の成分の 2 倍)である。BC の中点を M とすると，

$\angle\mathrm{BAM}=\angle\mathrm{CAM}=30°$ だから

$$E=2E_0\cos 30°=2\times k_0\frac{q}{4R^2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$=k_0\frac{\sqrt{3}\,q}{4R^2} \quad \cdots\cdots ③$$

(イ) 第三の点電荷の電気量を q' とすると，これが点 A につくる電場 $\vec{E'}$ は(ア)の $\vec{E}$ と強さが等しく，向きが反対である。したがって，$q'<0$ である。

$$\mathrm{AM}=\mathrm{AB}\cos 30°=2R\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\sqrt{3}\,R$$

だから，上記の公式(i)より

$$E'=k_0\frac{|q'|}{(\sqrt{3}\,R)^2}=E=k_0\frac{\sqrt{3}\,q}{4R^2}$$

よって $|q'|=\dfrac{3\sqrt{3}}{4}q$

$q'<0$ だから $q'=-\dfrac{3\sqrt{3}}{4}q \quad \cdots\cdots ①$

7 (ア) 直列接続されたコンデンサー C_1 と C_2 の合成容量 C は「$\dfrac{1}{C}=\dfrac{1}{C_1}+\dfrac{1}{C_2}$」より

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{2.0}+\frac{1}{3.0}=\frac{5.0}{6.0}$$

よって $C=1.2\,\mu\mathrm{F}=1.2\times10^{-6}\,\mathrm{F} \quad \cdots\cdots ①$

(イ) 初め，各コンデンサーに蓄えられた電気量は 0 C であったから，S_1 のみを閉じたとき，C_1 と C_2 に蓄えられる電気量は等しい。(ア)の合成容量を用いて，「$Q=CV$」より，求める電気量 Q_1 は

$$Q_1=1.2\,\mu\mathrm{F}\times5.0\,\mathrm{V}$$
$$=6.0\,\mu\mathrm{C}$$
$$=6.0\times10^{-6}\,\mathrm{C} \quad \cdots\cdots ⑤$$

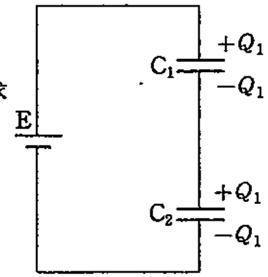


図 a

(ウ) C_1 と C_2 に蓄えられる電気量は等しいので，

6.0×10^{-6} C $\cdots\cdots$ ⑤

(エ) S_1 を開いてから，S_2 を閉じる前と後で電気量は保存する。S_2 を閉じたときの C_2 と C_3 の電気量を Q_2，Q_3 とおくと

$$Q_1=Q_2+Q_3$$

S_2 を閉じた後の C_2，C_3 の電圧を V_2 とおくと，「$Q=CV$」より

$$Q_2=C_2V_2,\quad Q_3=C_3V_2$$

よって $Q_2:Q_3=C_2:C_3$ であるから，C_2 と C_3 に蓄えられる電気量は Q_1 を $C_2:C_3$ に分配すれば計算できる。

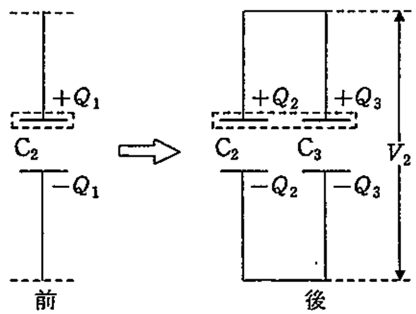


図 b

$$Q_2=\frac{C_2}{C_2+C_3}Q_1=\frac{3.0}{3.0+2.0}\times6.0\times10^{-6}$$
$$=3.6\times10^{-6}\,(\mathrm{C}) \quad \cdots\cdots ③$$

(オ) $Q_3=\frac{C_3}{C_2+C_3}Q_1=\frac{2.0}{3.0+2.0}\times6.0\times10^{-6}$

$=2.4\times10^{-6}$ (C) ……②

8 ヒント (イ), (キ) レンツの法則より，磁束の変化を妨げる向き。

(エ) コイルの中央では磁束は変化しない。

(ケ) (ウ)と(ク)の力があるので，コイルがない場合と運動エネルギーは異なる。

(ア) (a) 上向きの磁束が増加する。

(イ) (b) レンツの法則より，下向きの磁束が生じる向き。

(ウ) (a) コイルが近づくのを妨げる向きだから※A←。

(エ) (d) コイルの中央では磁束が変化しないから，輪には誘導起電力は発生せず，電流も流れない。

(オ) (d) 電流が0だから，力も受けない。

(カ) (b) 上向きの磁束が減少する。

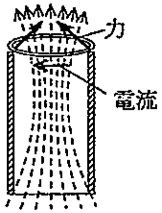
(キ) (a) レンツの法則より，上向きの磁束が生じる向き。

(ク) (a) コイルが遠ざかるのを妨げる向きだから。

(ケ) (c) 輪には上向きの力が加わるから，コイルがない場合と比べて速度の増加が小さいことになり，得た運動エネルギーは小さくなる。その差は銅線の輪で発生するジュール熱となる※B←。

(コ) (d) 磁場の向きを逆にしても，輪を流れる電流の向きが逆になるだけで，他は同様に考えればよい。

←※A 電流が流れている輪にはたらく力の合力は上向きとなる。



←※B 輪の落下距離が同じだから，位置エネルギーの変化は同じである。

9 (ア) 量子条件 $2\pi r_n=n\cdot\frac{h}{mv_n}$ より $mv_nr_n=n\cdot\frac{h}{2\pi}$

(イ) 振動数条件 $h\nu=E_n-E_{n'}$

(ウ) クーロン力の大きさ $f=k\frac{e^2}{r_n{}^2}$

(エ) 電子の円運動の運動方程式 $m\frac{v_n{}^2}{r_n}=k\frac{e^2}{r_n{}^2}$ と量子条件より

$$r_n=\frac{ke^2}{mv_n{}^2}=\frac{kme^2}{(mv_n)^2}=\frac{kme^2}{\left(\frac{nh}{2\pi r_n}\right)^2}$$

$$=\frac{4\pi^2kme^2}{n^2h^2}r_n{}^2$$

ゆえに $r_n=\frac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}$

(オ) $E_n=\frac{1}{2}mv_n{}^2+\left(-k\cdot\frac{e^2}{r_n{}^2}\right)=\frac{1}{2}k\frac{e^2}{r_n}-k\frac{e^2}{r_n}$

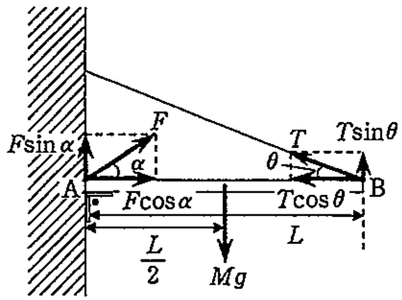
$$=-\frac{ke^2}{2r_n}$$

(カ) $\nu=\frac{E_n-E_{n'}}{h}=\frac{ke^2}{2hr_n}-\left(-\frac{ke^2}{2hr_{n'}}\right)$

$$=\frac{ke^2}{2h}\left(\frac{1}{r_{n'}}-\frac{1}{r_n}\right)=\frac{4\pi^2k^2me^4}{2h^3}\times\left(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

$$=\frac{2\pi^2k^2me^4}{h^3}\times\left(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

101 (1) ちょうつがいが角棒に加える力の大きさを F, F が水平となす角を α, 張力の大きさを T, T が水平となす角を θ, 角棒の質量を M とすると, 角棒にはたらく力は図のようになる。点 A を軸とした力のモーメントのつりあいから



$$Mg\times\frac{L}{2}-T\sin\theta\times L=0$$

よって

$$T=\frac{Mg}{2\sin\theta}\quad\cdots\cdots①$$

角棒にはたらく力のつりあいから

水平方向：$F\cos\alpha-T\cos\theta=0\quad\cdots\cdots②$

鉛直方向：$F\sin\alpha+T\sin\theta-Mg=0\quad\cdots\cdots③$

よって, ②と③に①を代入して

$$F\cos\alpha=\frac{Mg}{2\tan\theta}\quad\cdots\cdots④\qquad F\sin\alpha=\frac{Mg}{2}\quad\cdots\cdots⑤$$

④, ⑤より

$$\frac{F\sin\alpha}{F\cos\alpha}=\frac{\dfrac{Mg}{2}}{\dfrac{Mg}{2\tan\theta}}$$

$$\tan\alpha=\tan\theta\qquad よって\quad \alpha=\theta\quad\cdots\cdots⑥$$

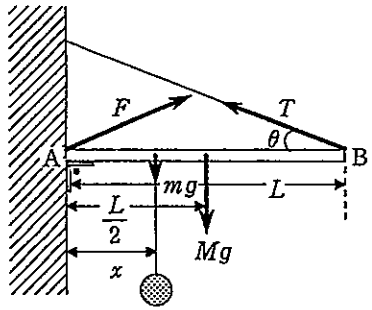
したがって, ⑤, ⑥, ①より

$$F=\frac{Mg}{2\sin\theta}=T$$

となり, F は, 張力 T の水平となす角および大きさが等しい。

以上より, 正しいものは ②。

(2) おもりの質量を m とすると, 点 A のまわりの力のモーメントのつりあいから



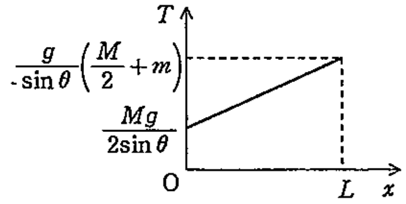
$$Mg\times\frac{L}{2}+mgx-T\sin\theta\times L=0$$

よって,

$$T=\frac{g}{L\sin\theta}\left(\frac{ML}{2}+mx\right)$$

となり, T は x の増加とともに, 図のように直線的に増加する。

以上より, 正しいものは ④。



102 円運動の基本公式 $v=r\omega$, $a=r\omega^2=\dfrac{v^2}{r}$, $F=mr\omega^2=m\dfrac{v^2}{r}$, $\omega=2\pi n=\dfrac{2\pi}{T}$ などを理解しておくこと。

(1) (ア) 1秒間に2回転だから, 回転数を n として $\omega=2\pi n$ より

$\omega=2\pi\times2=4\pi$ [rad/s] $\cdots$④

(イ) 円運動の速さを v として, $v=r\omega$ で半径が R だから $v=R\omega$ $\cdots\cdots$③

(ウ) 加速度の大きさを a とすると $a=r\omega^2$ だから $a=R\omega^2$ $\cdots\cdots$④

(エ) 向心力の大きさ F は $F=mr\omega^2$ より

$F=mR\omega^2$ $\cdots\cdots$⑥

(オ) ばねの自然長からの伸びを Δl とすると, ばねが小球を引く力は, $k\Delta l$ である。この力が円運動の向心力となっているから

$$mR\omega^2=k\Delta l\qquad よって\quad \Delta l=\frac{mR\omega^2}{k}\quad\cdots\cdots⑩$$

(2) (カ) ばねからはずれた小球には重力以外ははたらかないから, 小球は運動方向すなわち円盤の接線方向に飛び出す。よって, 角度は 0° $\cdots$①

(キ) 鉛直方向には自由落下するから，求める時間を t として $h=\frac{1}{2}gt^2$ より

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \cdots\cdots ④$$

(ク) 水平方向は等速直線運動だから，$x=vt$ より

$$x=R\omega\times\sqrt{\frac{2h}{g}}=R\omega\sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \cdots\cdots ⑦$$

103 (1) 万有引力定数を G，地球の質量を M とすると，地表での万有引力が重力 mg に等しいことから $G\frac{Mm}{R^2}=mg$ ゆえに $GM=R^2g$

位置エネルギー：$U=-\frac{GMm}{r}=-\frac{R^2mg}{r}$

(2) 運動エネルギー：$K=\frac{1}{2}mv^2$

(3) 地表と無限遠でエネルギー保存則を適用する。$r=\infty$ で速度 0 としてよいから

$\frac{1}{2}m{v_0}^2-\frac{R^2mg}{R}=0$ ゆえに $v_0=\sqrt{2Rg}$

(4) (3) の式は打ち上げるときの角度 θ に関係しないから $\theta\geqq 0°$

104 (1)(a) 理想気体の状態方程式「$pV=nRT$」より

$p_0\cdot 2V_0=nRT_0$ よって $p_0=\frac{nRT_0}{2V_0}$

(b) 単原子分子の理想気体の内部エネルギーの式「$U=\frac{3}{2}nRT$」より，求める内部エネルギーを U_0 として，(a) の結果を用いると

$$U_0=\frac{3}{2}nRT_0=\frac{3}{2}\cdot 2p_0V_0=3p_0V_0$$

(2)(a) 条件より $p_0\cdot(2V_0)^{\frac{5}{3}}=p_1\cdot V_0^{\frac{5}{3}}$

よって $p_1=2^{\frac{5}{3}}\cdot p_0$

(b) (2) の状態における容器 A 内の気体の絶対温度を T_1 とする。理想気体の状態方程式「$pV=nRT$」より

$p_1V_0=nRT_1$

よって $T_1=\frac{p_1V_0}{nR}$ $\cdots\cdots ①$

また，熱力学第一法則「$\varDelta U=Q+W$」を考える。内部エネルギーの変化量を $\varDelta U_{0\to 1}$，気体が受けた仕事を $W_{0\to 1}$ とすると，断熱変化であることから，手がした仕事は気体が受けた仕事に等しいので

$W_{0\to 1}=\varDelta U_{0\to 1}$

が成りたつ。ここで，単原子分子理想気体の内部エネルギーの変化の式「$\varDelta U=\frac{3}{2}nR\varDelta T$」を用いると，① 式と (1) の結果を利用して

$$\begin{aligned}W_{0\to 1}=\varDelta U_{0\to 1}&=\frac{3}{2}nR(T_1-T_0)\\&=\frac{3}{2}nR\left(\frac{p_1V_0}{nR}-\frac{2p_0V_0}{nR}\right)\\&=\frac{3}{2}(p_1-2p_0)V_0\end{aligned}$$

(3)(a) 自由膨張となるので，この過程での気体の内部エネルギーの変化量は 0 である。

(b) 容器 A，B の気体は同じ状態であるといえる。このときの圧力を p_2 とする。また，内部エネルギーの変化量は 0 であるので，絶対温度は T_1 といえる。物質量は等しくともに $\frac{n}{2}$ となることから，理想気体の状態方程式「$pV=nRT$」より

$p_2V_0=\frac{nR}{2}\cdot T_1$

① 式を代入して

$p_2V_0=\frac{nR}{2}\cdot\frac{p_1V_0}{nR}$

よって $p_2=\frac{p_1}{2}$

105 ヒント (3) 初めに気球 (体積 V_0) に入っていた質量 m_0 の空気が体積 $V_0+\varDelta V$ に膨張するとき，質量は体積比で分配されることから，気球内に残っている空気の質量 m を求める。

(5) 『$T>T_1$ のとき気球は浮く』$\Longrightarrow T=T_1$ のとき，

(気球の重力)+(気球内の空気の重力)=(浮力)

(1) 温度 T のときの体積を $V_0+\Delta V$ とすると，圧力一定の変化なのでシャルルの法則

「$\dfrac{V}{T}=$一定」より $\dfrac{V_0}{T_0}=\dfrac{V_0+\Delta V}{T}$

よって $\Delta V=\dfrac{T-T_0}{T_0}V_0$ ……①

(2) 温度 T における気球(体積 V_0)内の空気の質量を m とすると，この空気の密度 ρ は

$\rho=\dfrac{m}{V_0}$ よって $m=\rho V_0$ ……②

(3) 初めの状態(温度 T_0)で気球(体積 V_0)内の空気の質量を m_0 とすると，このときの空気の密度 ρ_0 は $\rho_0=\dfrac{m_0}{V_0}$ ……③

空気の体積が V_0 から $V_0+\Delta V$ に変化し，質量は体積比で分配されるので，温度 T における気球(体積 V_0)内の空気の質量 m は

$$m=m_0\cdot\frac{V_0}{V_0+\Delta V} \quad \cdots\cdots ④$$

①〜④式より

$$\rho=\frac{m}{V_0}=\frac{m_0\cdot\dfrac{V_0}{V_0+\Delta V}}{V_0}=\frac{m_0}{V_0}\cdot\frac{V_0}{V_0+\Delta V}=\rho_0\cdot\frac{V_0}{V_0+\Delta V}=\rho_0\cdot\frac{1}{1+\dfrac{\Delta V}{V_0}}$$

$$=\rho_0\cdot\frac{1}{1+\dfrac{T-T_0}{T_0}}=\frac{T_0}{T}\rho_0 \ ^{※A\leftarrow}\cdots\cdots ⑤$$

(4) 気球の周囲の空気の密度は ρ_0 なので，浮力の式「$F=\rho Vg$」より

$F_{浮力}=\rho_0 V_0 g$

(5) $T>T_1$ のとき気球が浮くので，$T=T_1$ のとき気球にはたらく力がつりあっている状態である(図 a)。

⑤式より，温度 T_1 のときの空気の密度 ρ_1 は

$\rho_1=\dfrac{T_0}{T_1}\rho_0$

であるので，気球にはたらく力は

・気球の重力 Mg

・気球内の空気の重力 $\rho_1 V_0 g=\dfrac{T_0}{T_1}\rho_0 V_0 g$

・浮力((4)の結果) $\rho_0 V_0 g$

の3つである。力のつりあいの式より

$$Mg+\frac{T_0}{T_1}\rho_0 V_0 g=\rho_0 V_0 g$$

よって $T_1=\dfrac{\rho_0 V_0}{\rho_0 V_0-M}T_0$

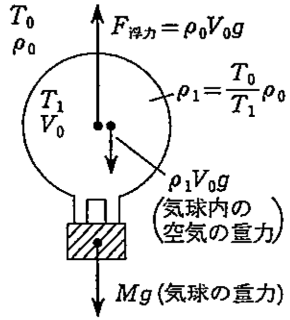


図 a $T=T_1$ のとき

←※A 一定量(質量 m)の気体について，ボイル・シャルルの法則より $\dfrac{p_0V_0}{T_0}=\dfrac{pV}{T}$

これに $V_0=\dfrac{m}{\rho_0}$，$V=\dfrac{m}{\rho}$ を代入すると(ρ_0，ρ は変化前後の気体の密度)

$$\frac{p_0 m}{\rho_0 T_0}=\frac{pm}{\rho T}$$

よって $\dfrac{p_0}{\rho_0 T_0}=\dfrac{p}{\rho T}$

ゆえに $\dfrac{p}{\rho T}=$一定

が成りたつ。これより

$\dfrac{p_0}{\rho_0 T_0}=\dfrac{p_0}{\rho T}$ (圧力一定)

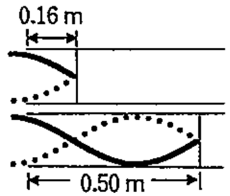
よって $\rho=\dfrac{T_0}{T}\rho_0$

と考えてもよい。

106 (1) (ア) 波長 λ は

$\lambda=2(0.50-0.16)$

$=0.68\,(\mathrm{m})$ …… ⑤



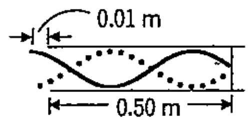
(イ) 音の速さ $v=f\lambda$ より

$$f=\frac{v}{\lambda}$$

$$=\frac{3.4\times10^2}{0.68}=5.0\times10^2\,(\mathrm{Hz}) \quad\text{……②}$$

(ウ) $\frac{\lambda}{4}-0.16=0.17-0.16=0.01\,(\mathrm{m})$ …… ②

(2) (エ) 次の共鳴は右図の状態で起こる。



$$\lambda=(0.50+0.01)\times\frac{4}{5}$$

$=0.41\,(\mathrm{m})$ …… ④

(オ) $f=\frac{3.4\times10^2}{0.408}=8.3\times10^2\,(\mathrm{Hz})$ …… ③

107 (1)(ア) 媒質 1 での波の速さは v_1 である。時間 t の間に進む距離 BB′ は

$\mathrm{BB'}=v_1t$ …… ⑤

(イ) 媒質 2 での波の速さは v_2 であるから，同様にして

$\mathrm{AA'}=v_2t$ …… ⑧

(ウ)(エ) 図より

$\mathrm{BB'}=\mathrm{AB'}\cos\theta_1$ …… ④

$\mathrm{AA'}=\mathrm{AB'}\cos\theta_2$ …… ④

(オ) (ウ)，(エ) から $\frac{\mathrm{BB'}}{\mathrm{AA'}}=\frac{v_1t}{v_2t}=\frac{\mathrm{AB'}\cos\theta_1}{\mathrm{AB'}\cos\theta_2}$

よって $\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}$ …… ③

(カ) 波の振動数，波長，速さをそれぞれ f，λ，v とすると，波の基本式「$v=f\lambda$」より，λ_1，λ_2 は，振動数が共通であるから

$v_1=f\lambda_1$，$v_2=f\lambda_2$

相対屈折率 $n_{12}=\frac{v_1}{v_2}$ より

$$n_{12}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{f\lambda_1}{f\lambda_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad\text{……④}$$

(2)(キ) $n_{12}>1$ のとき，図の道のりを媒質 2 から 1 へ波は進むことになる。このとき，θ_2 を小さくしていくと，θ_1 も小さくなり，あるとき $\theta_1=0$ となる。これが求める関係であるから

$$\frac{\cos 0^\circ}{\cos\theta_2}=n_{12}$$

$$\cos\theta_2=\frac{1}{n_{12}} \quad\text{……⑥}$$

108 (1) (ア) 直線 $\mathrm{S_1P}$ と直線 $\mathrm{S_3P}$ はほぼ平行とみなせるので

$\overline{\mathrm{S_1P}}=\overline{\mathrm{S_2P}}-d\sin\theta$，$\overline{\mathrm{S_3P}}=\overline{\mathrm{S_2P}}+d\sin\theta$

が成りたつ。ゆえに $\Delta L=2d\sin\theta$ となる。 …… ⑧

(イ) 同位相なので $\Delta L=n\lambda$ を満たすとき，強めあう条件となる。 …… ①

(ウ) 弱めあう条件は，$\Delta L=\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$ となる。 …… ④

(エ) 逆位相の場合，同位相の場合と条件が逆になるので $\Delta L=\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$ のとき強めあう。 …… ④

(オ) (エ) と同様に考えると $\Delta L=n\lambda$ のとき弱めあう。 …… ①

(2) (カ) (ア) で用いた関係式より

$\left|\overline{\mathrm{S_1P}}-\overline{\mathrm{S_2P}}\right|=d\sin\theta$ …… ⑥

(キ) (カ) と同様にして

$\left|\overline{\mathrm{S_2P}}-\overline{\mathrm{S_3P}}\right|=d\sin\theta$ …… ⑥

(ク) $n=2l$ (l は 0 または正の整数) とすると

$\Delta L=2d\sin\theta=2l\lambda$

よって $d\sin\theta=l\lambda$

となる。一方

$\left|\overline{\mathrm{S_1P}}-\overline{\mathrm{S_2P}}\right|=\left|\overline{\mathrm{S_2P}}-\overline{\mathrm{S_3P}}\right|=d\sin\theta$

となることから，$\mathrm{S_2}$ から発生した波は強めあう条件を満たす。ゆえに，求める振幅は $3\times A$ となる。 …… ⑨

(ケ) $n=2l+1$ とすると

$\Delta L=2d\sin\theta=(2l+1)\lambda$

よって　$d\sin\theta=\left(l+\frac{1}{2}\right)\lambda$

となるので，S_2から発生した波は弱めあう条件を満たす。ゆえに，求める振幅は$1\times A$となる。　……④

(コ)　逆位相となるとき，同位相の場合と条件が逆になるため，S_2から発生した波は弱めあう条件を満たす。ゆえに，求める振幅は$1\times A$となる。　……④

(サ)　逆位相となるとき，同位相の場合と条件が逆になるため，S_2から発生した波は強めあう条件を満たす。ゆえに，求める振幅は$3\times A$となる。　……⑨

109 (ア)　光路差が波長の整数倍のとき，波の山と山が重なって強めあう。

$L=m\lambda$ ……①

(イ)　$L=m\lambda+\frac{1}{2}\lambda$ ……④

(ウ)　三平方の定理から

$$S_1P^2-S_2P^2=\left\{l^2+\left(x+\frac{d}{2}\right)^2\right\}-\left\{l^2+\left(x-\frac{d}{2}\right)^2\right\}$$
$$=2xd \text{ ……②}$$

(エ)　$L=S_1P-S_2P=\dfrac{2xd}{S_1P+S_2P}=\dfrac{xd}{l}$ ……③

(オ)　(ア)=(エ)より　$m\lambda=\dfrac{dx}{l}$

この明線と隣りあう$m+1$に対応する明線の位置をx'とすると

$$(m+1)\lambda=\frac{dx'}{l}$$

と書ける。この両式の差を整理すると

$$\Delta x=x'-x=\frac{l\lambda}{d} \text{ ……⑤}$$

(カ)　ヤングの実験 ……⑤

110　一様な電場(電界)の場合，電場Eと電位差Vと距離dの間に「$V=Ed$」の関係が成りたつ。

(ア)　グラフより　$30-0=30$ (V)　……③

(イ)　「$V=Ed$」より

$$E=\frac{V}{d}=\frac{30-30}{0.5-0.3}=0 \text{ (V/m)} \quad \text{……①}$$

また，電位の傾きが電場だから，AB間の傾きが0より電場の強さは0とわかる。

(ウ)　電場の向きは，高電位から低電位である。よって，A → O の向き　……②

(エ)　「$V=Ed$」より

$$E=\frac{V}{d}=\frac{30-0}{0.3-0}=100 \text{ (V/m)} \quad \text{……④}$$

(オ)　粒子は電場から大きさqVの仕事をされ，それが運動エネルギーとなるから

$$qV=1.6\times10^{-19}\times30=48\times10^{-19} \text{ (J)} \quad \text{……②}$$

111　電位は点電荷からの距離に反比例し，電場の強さは点電荷からの距離の2乗に反比例する。

$$V=k\frac{Q}{r},\ E=k\frac{Q}{r^2}$$

(1)　点電荷から最も遠い点の電位が最も低い。A，B，Dは等電位であるから，答えは A，B，D

(2)　電場の強さは点電荷から距離の2乗に反比例するから，最も強い点は，C

(3)　B，Cの電位をV_B，V_Cとすると

$$V_B=k\frac{Q}{3R},\ V_C=k\frac{Q}{R}$$

求める電位差Vは

$$V=|V_C-V_B|=k\frac{Q}{R}-k\frac{Q}{3R}=\frac{2kQ}{3R}$$

(4)　$+Q$と$-q$の間にはたらく静電気力は引力であるから，点Aから原点に向かう方向。　……⑥

(5)　等電位線(円周)に沿って移動するとき，仕事をしないから，ABの区間。

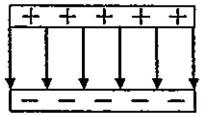
(6)　静電気力に逆らって電荷を運ぶとき正の仕事をするから，CDの区間。

112　コンデンサーの極板間には一様な電場ができるので，電気力線は正極から負極へ一様な密度で直線的に通る。1 m^{2}あたりの本数を数えることにより電場の大きさが求められる。極板間隔や対向面積を変えると，コンデンサーの電気容量が変化するので，電気量が一定ならば電気容量に反比例して電圧が変化する。

(a)(ア)　一様な電場と電位の関係は

$$E=\frac{V}{d}\,[\mathrm{V/m}]\ \cdots\cdots(2)$$

(イ)　正極と負極がつくる電場を合成すると，極板の外側は電場 0 で，極板間にだけ電場があるので，正極 $(+Q\,[\mathrm{C}])$ から出た電気力線はすべて極板間を通る (図参照)。その本数は 1 C あたり $4\pi k$ [本] なので，$Q\,[\mathrm{C}]$ からは $4\pi kQ$ [本] となる。……(8)



(ウ)　(イ) の電気力線が面積 $S\,[\mathrm{m^2}]$ の極板から直角に出るので，$1\,\mathrm{m^2}$ あたり

$\dfrac{4\pi kQ}{S}$ [本] になる。……(14)

(エ)　(ウ) が電場の大きさなので，(ア) と等しいから

$$\frac{V}{d}=\frac{4\pi kQ}{S}$$

よって　$Q=\dfrac{SV}{4\pi kd}$ [C] ……(17)

(オ)　コンデンサーの電気量 Q と電気容量 C，電圧 V の間には $Q=CV$ の関係がある。(エ) の結果を代入すると

$$\frac{SV}{4\pi kd}=CV$$

よって　$C=\dfrac{S}{4\pi kd}$ [F] ……(18)

(b)(カ)　電気量 Q は (エ) のままで，電気容量は (オ) の d を $\dfrac{d}{2}$ にしたものになるので，求める電圧を V' とすると，$Q=CV$ の関係より

$$\frac{SV}{4\pi kd}=\frac{S}{4\pi k\cdot\dfrac{d}{2}}\times V'$$

よって　$V'=\dfrac{V}{2}$ [V] ……(24)

(キ)，(ク)　電気量 Q，電圧 V のコンデンサーにたくわえられている静電エネルギーは $\dfrac{1}{2}QV$ なので，変化前と後の差は

$$(\text{変化後})-(\text{変化前})=\frac{1}{2}Q\cdot\frac{V}{2}-\frac{1}{2}QV$$

$$=-\frac{QV}{4}$$

よって　$\dfrac{QV}{4}$ [J] だけ減る。……(キ)　(31)　(ク)　(34)

(ケ)　電気容量は (オ) の S を $\dfrac{S}{2}$ にしたものになる。求める電圧を V'' とすると，(カ) と同様に $Q=CV$ の関係より

$$\frac{SV}{4\pi kd}=\frac{\dfrac{S}{2}}{4\pi kd}\times V''$$

よって　$V''=2V$ [V] ……(26)

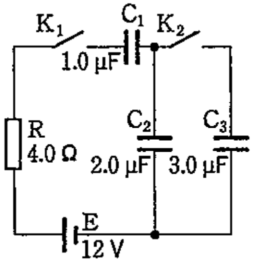
(コ)，(サ)　(キ)，(ク) と同様にして

$$(\text{変化後})-(\text{変化前})=\frac{1}{2}Q\cdot 2V-\frac{1}{2}QV$$

$$=\frac{QV}{2}$$

よって　$\dfrac{QV}{2}$ [J] だけ増える。……(コ)　(32)　(サ)　(33)

113 (1)　コンデンサー $\mathrm{C_1}$，$\mathrm{C_2}$，$\mathrm{C_3}$ の電気容量をそれぞれ C_1，C_2，C_3，電位差をそれぞれ V_1，V_2，V_3，電気量をそれぞれ Q_1，Q_2，Q_3 とする。$\mathrm{K_2}$ を閉じ，$\mathrm{K_1}$ を閉じて十分時間が経過した後の回路は，$\mathrm{C_2}$，$\mathrm{C_3}$ の並列接続であり，$\mathrm{C_2}$，$\mathrm{C_3}$ の合成容量を C_{23} とすると



$$C_{23}=2.0+3.0=5.0\,(\mu\mathrm{F})$$

$\mathrm{C_1}$ と直列に接続されているとみなせるから，$\mathrm{C_1}$ の電位差は，12 V を電気容量の逆比に分配される。

$$V_1=12\times\frac{5.0}{1.0+5.0}=10\,(\mathrm{V})$$

$$V_2=V_3=12-10=2.0\,(\mathrm{V})$$

(ア)　1.0×10 V　……⑦　　(ウ)　2.0 V　……②　　(オ)　2.0 V　……②

また，「$Q=CV$」より

(イ)　$Q_1=C_1V_1=1.0\times10\,\mu\mathrm{C}=1.0\times10^{-5}\,\mathrm{C}$　……⑥

(エ)　$Q_2 = C_2V_2 = 2.0 \times 2.0\ \mu\mathrm{C} = 4.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$　……④

(カ)　$Q_3 = C_3V_3 = 3.0 \times 2.0\ \mu\mathrm{C} = 6.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$　……⑤

(キ)　「$U = \frac{1}{2}CV^2$」を用いて，3つのコンデンサーに蓄えられたエネルギーの総和 $U_{和}$ を求める。

$$U_{和} = \frac{1}{2} \times 1.0 \times 10^2\ \mu\mathrm{J} + \frac{1}{2} \times 2.0 \times 2.0^2\ \mu\mathrm{J} + \frac{1}{2} \times 3.0 \times 2.0^2\ \mu\mathrm{J}$$

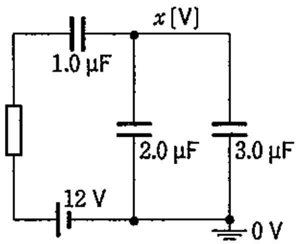
$$= 60\ \mu\mathrm{J} = 6.0 \times 10^{-5}\ \mathrm{J}$$　……⑧

別解　C_1，C_2，C_3 の合成容量 $C_{合}$ は

$$C_{合} = \frac{1.0 \times 5.0}{1.0 + 5.0}\ \mu\mathrm{F} = \frac{5}{6}\ \mu\mathrm{F}$$

よって　$U_{和} = \frac{1}{2} \times \frac{5}{6} \times 12^2\ \mu\mathrm{J} = 6.0 \times 10^{-5}\ \mathrm{J}$　……⑧

別解　図で K_2 の電位を x [V] とする。



K_2 側の極板での電気量の保存の式は

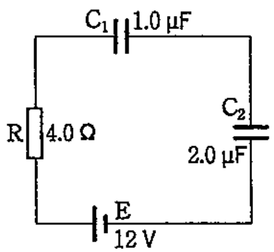
$$0 = 1.0 \times (x - 12) + 2.0 \times (x - 0) + 3.0 \times (x - 0)$$

これより　$x = 2.0\ \mathrm{V}$　と求められる。

$$V_1 = 12 - 2.0 = 10\ (\mathrm{V}),\ \ V_2 = 2.0 - 0 = 2.0\ (\mathrm{V})$$

以下は同様に考えればよい。

(2) (ク)　K_1 を閉じた瞬間は，C_1 と C_2 には電荷は蓄えられていないので，電位差は0 V である。よって，抵抗 R (4.0 Ω) には 12 V の電圧が加わる。ゆえに，抵抗 R を流れる電流 I は



$$I = \frac{12}{4.0} = 3.0\ (\mathrm{A})$$　……③

(ケ)　十分時間が経過した後の C_1，C_2 の電位差 V_1'，V_2' は (1) と同様に考えて

$$V_1' = 12 \times \frac{2.0}{1.0 + 2.0} = 8.0\ (\mathrm{V}),\ \ V_2' = 4.0\ \mathrm{V}$$

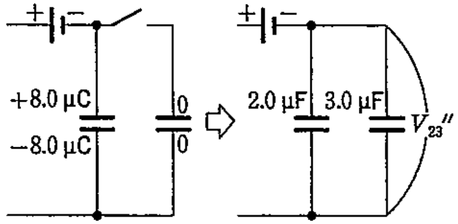
C_1 に蓄えられた電気量 Q_1' は

$$Q_1' = C_1V_1' = 1.0 \times 8.0 = 8.0\ \mu\mathrm{C} = 8.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$$　……⑨

(コ)　C_2 に蓄えられた電気量 Q_2' は

$$Q_2' = C_2V_2' = 2.0 \times 4.0 = 8.0\ \ \mu\mathrm{C} = 8.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$$　……⑨

(サ)　K_1 を開いた後，K_2 を閉じる。



C_2，C_3 の電位差を V_{23}'' として，電気量の保存を考えると

$$+8.0 + 0 = 2.0 \times V_{23}'' + 3.0 \times V_{23}''$$

これより　$V_{23}'' = \frac{8}{5} = 1.6\ (\mathrm{V})$

C_2 に蓄えられた電気量を Q_2'' とすると

$$Q_2'' = C_2V_{23}'' = 2.0 \times 1.6\ \mu\mathrm{C} = 3.2\ \mu\mathrm{C} = 3.2 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$$　……④

(シ)　C_3 に蓄えられた電気量を Q_3'' とすると

$$Q_3'' = C_3V_{23}'' = 3.0 \times 1.6\ \mu\mathrm{C} = 4.8\ \mu\mathrm{C} = 4.8 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}$$　……⑥

114　電場中の陽イオンは電場から電場の向きに力を受けて等加速度運動する。磁場中の陽イオンは磁場からローレンツ力を受け，(受ける力の向きは陽イオンの運動する向きを電流の向きとして，フレミングの左手の法則で求められる) 磁場中を等速円運動する。ともに力学の式を利用することができる。

(1)　陽イオンはつねに進行方向に対して右向きの力を受け円軌道をえがいて運動しているから，陽イオンの運動の向きを電流の向きとして，フレミングの左手の法則を用いると，磁場の向きは紙面に垂直に，裏から表。　……④

(2)　ローレンツ力は $2qv_0B_0$ で，これが向心力となって円運動しているから，半径を r とすると

$$m\frac{(2v_0)^2}{r} = 2qv_0B_0$$

よって　$r = \frac{2mv_0}{qB_0}$

求める直径を R とすると

$$R=2r=2\times\frac{2mv_0}{qB_0}=\frac{4mv_0}{qB_0}\quad\cdots\cdots③$$

(3) 電場から受ける力は qE_0，電場中の加速度は $\frac{qE_0}{m}$。$v^2-v_0{}^2=2ax$ を利用して

$$(2v_0)^2-v_0{}^2=2\frac{qE_0}{m}d$$

よって $d=\frac{3mv_0{}^2}{2qE_0}$ ……②

(4) S_0 に入射するときの速度を v とすると

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2=\frac{1}{2}\times2mv^2$$

よって $v=\frac{v_0}{\sqrt{2}}$

電場中の加速度は $\frac{qE_0}{2m}$ となるから，求める速度を V とすると，(3) と同様にして

$$V^2-\left(\frac{v_0}{\sqrt{2}}\right)^2=2\frac{qE_0}{2m}d=\frac{qE_0}{m}\times\frac{3mv_0{}^2}{2qE_0}$$

$$=\frac{3}{2}v_0{}^2$$

よって $V=\sqrt{2}\,v_0$ ……④

(5) 円軌道の半径を r' とすると

$$2m\frac{(\sqrt{2}\,v_0)^2}{r'}=\sqrt{2}\,v_0qB_0$$

よって $r'=\frac{2\sqrt{2}\,mv_0}{qB_0}$

移動距離を $\varDelta R$ とすると，(2) の結果を用いて

$$\varDelta R=2r'-R=\frac{4\sqrt{2}\,mv_0}{qB_0}-\frac{4mv_0}{qB_0}$$

$$=\frac{4mv_0}{qB_0}(\sqrt{2}-1)\quad\cdots\cdots⑤$$

115 交流に対するコイルの抵抗は $\omega L\,[\Omega]$ で表され，コイルを流れる電流の位相は電圧に対して $\frac{\pi}{2}$ 遅れる。

(1)(ア) 電流を I_R [A] とすると，オームの法則より

$$I_R=\frac{V_R}{R}=\frac{V_0}{R}\sin\omega t\ \text{[A]}$$

抵抗を流れる電流と電圧の間には位相のずれはないから，②

(2)(イ) 電力の瞬時値を P [W] とすると

$$P=I_R{}^2R=\left(\frac{V_0}{R}\sin\omega t\right)^2\times R=\frac{V_0{}^2}{R}\sin^2\omega t$$

$$=\frac{V_0{}^2}{2R}(1-\cos2\omega t)\ \text{[W]}$$

注 $\cos2\alpha=1-2\sin^2\alpha$ を用いた。

(3)(ウ) コイルのリアクタンスは $\omega L\,[\Omega]$，電圧 V_L [V] は電流 I_R [A] より位相が $\frac{\pi}{2}$ 進むから

$$V_L=\omega L\frac{V_0}{R}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$$

$$=\frac{\omega LV_0}{R}\cos\omega t\ \text{[V]}$$

位相は $\frac{\pi}{2}$ 進むから，①

(4)(エ) $V=V_R+V_L$

$$=V_0\sin\omega t+\frac{\omega LV_0}{R}\cos\omega t$$

$$=\frac{V_0}{R}(R\sin\omega t+\omega L\cos\omega t)$$

$$=\frac{V_0}{R}\sqrt{R^2+(\omega L)^2}\sin(\omega t+\phi)$$

注 $a\sin\theta+b\cos\theta=\sqrt{a^2+b^2}\sin(\theta+\alpha)$ を用いた。

参考 $\frac{V_0}{R}$ は電流の最大値である。

$\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ はこの交流回路で全体の抵抗のはたらきをする量でインピーダンス

という。

116 高速の電子が金属面に衝突するときに発生するX線で，連続X線の最短波長は加速電圧に反比例するが，特性X線の波長は陽極の金属特有のもので加速電圧とは無関係である。

(1) (ア) 陽子　(イ) Ze

(2) (ウ) 静電気力による位置エネルギー $U=k\dfrac{qq'}{r}$ より，電子が負電荷 $-e$ で，原子核の電荷が Ze だから $U=-k\dfrac{Ze^2}{r}$ となる。このことだけからも，エネルギー準位が Z の増加とともに低くなるといえる※A←。……(a)

(エ) 電子が金属に衝突する直前にもっていた運動エネルギーは，電場からされた仕事 eV[J] と等しい。これがすべてX線のエネルギーになったときに最短波長 λ_0 になる。

$$eV=\frac{1}{2}mv^2=h\nu=h\frac{c}{\lambda_0}$$ ※B←

$$V=\frac{hc}{e\lambda_0}=\frac{6.6\times10^{-34}\times3.0\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}\times0.4\times10^{-10}}=3.09\times10^4\fallingdotseq3.1\times10^4\ (\mathrm{V})$$ ……(d)

(オ) (エ)の式より，最短波長は加速電圧に反比例するから，$\dfrac{1}{2}$ になる。……(b)

(カ) 特性X線※C← の波長は電圧に関係なく一定であるから変化しない。……(c)

(キ) 加速電圧が変わらないから変化しない。……(c)

(3) (ク) (ウ)より，Z が減少するからK殻のエネルギー準位が高くなる。特性X線はK殻に外側の軌道から移る電子が放出するエネルギーによるから，エネルギー準位が高くなると放出する特性X線のエネルギーは小さくなり，特性X線の波長は長いほうへ移る。……(a)

←※A　クーロンの法則から　$\dfrac{k_0Ze^2}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$

量子条件から　$2\pi r=n\dfrac{h}{mv}$

両式より v を消去して　$r=\dfrac{h^2n^2}{4\pi^2k_0mZe^2}$

全エネルギー E は　$E=\dfrac{1}{2}mv^2-k_0\dfrac{Ze^2}{r}=-\dfrac{k_0Ze^2}{2r}=-\dfrac{2\pi^2k_0^2mZ^2e^4}{h^2}\cdot\dfrac{1}{n^2}$

よって，K殻 ($n=1$) のエネルギーは Z の増加とともに低くなる。

←※B　X線も光子でそのエネルギーは $c=\nu\lambda$ を用いて　$h\nu=h\dfrac{c}{\lambda}$

←※C　原子からの光の放出と同じ原理で考えられ，物質固有のものである。

117 (ア) 半減期　(イ) $\dfrac{N}{N_0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ より　$\dfrac{t}{T}$

(ウ) $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730}}=0.354\fallingdotseq\dfrac{0.707}{2}=\dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{2}=\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)^3=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}$

よって　$\dfrac{t}{5730}=\dfrac{3}{2}$　ゆえに　$t=8595$ (年)