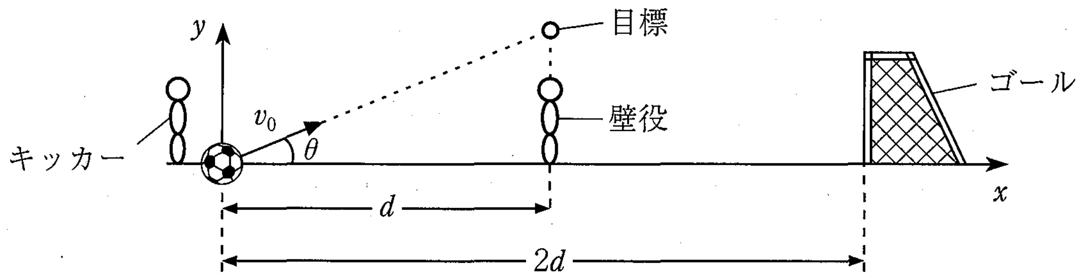
物　理

I　次の文章を読み，$\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{か}}$ に適切な数式を，$\boxed{\text{A}}$ ～ $\boxed{\text{C}}$ には数値を解答欄に記入せよ。ただし，数式に用いる記号は，本文中に定義されているもののみとする。

サッカーのフリーキックにおけるボールの軌道について考える。重力加速度の大きさを g[m/s^2] とし，ボール自身の大きさと空気抵抗は無視できるものとする。図のように，水平方向に x 座標，鉛直方向に y 座標をとり，図の矢印の方向を座標軸の正の向きとする。また，最初にボールが置かれていた位置を原点とし，ボールは xy 平面内のみで運動するものとする。

キッカーがゴールに向かって，時刻 $t=0$ [s] に，初速度の大きさ v_0[m/s] で地面との角度 θ の向きにボールを蹴り上げた。ボールが地面に落下するまでの間，時刻 t[s] におけるボールの x，y 座標を t の関数として表すと，$x=\boxed{\text{あ}}$，$y=\boxed{\text{い}}$ となる。これらから，y を x の関数として表すと $y=\boxed{\text{う}}$ となるため，ボールが放物線を描くことがわかる。このボールの最高点と飛距離に関して v_0，θ，g を用いて表すと，ボールが最高点に達する時刻は $\boxed{\text{え}}$ [s]，その時の高さは $\boxed{\text{お}}$ [m] である。一方，ボールが地面に落下するまでに飛んだ水平距離は $\boxed{\text{か}}$ [m] と表せる。したがって，v_0 が一定の時，ボールを一番遠くまで飛ばせる角度 θ は $\boxed{\text{A}}$ 度である。ただし，$0<\theta<90$ 度 とする。

相手チームは，ゴールまでの中間点 $x = d\,[\mathrm{m}]$ の位置に壁役のプレーヤーを置いた。そこで，ボールの軌道として，$x = d\,[\mathrm{m}]$ で壁役の頭上を越えて $y = h\,[\mathrm{m}]$ の位置を通過し，$x = 2d\,[\mathrm{m}]$ にあるゴールでちょうど地面に落下する軌道を考えよう。前述のボールの軌道に対する考察から，この時の $\tan\theta$ を求めることができ，キッカーは壁役の頭上 $y = \boxed{\quad B \quad} \times h\,[\mathrm{m}]$ の点を目標にボールを蹴れば良いことがわかる。また前述の考察から，この時の v_0 を求めることもできる。例えば，ゴールまでの距離 $2d$ が $24\,\mathrm{m}$ で，中間点で壁役を越えるボールの高さ h を $2\,\mathrm{m}$ にしたい時，重力加速度 g を $10\,\mathrm{m/s^2}$ として計算すると，v_0 は $\boxed{\quad C \quad}$ m/s である。



図

Ⅱ　次の文章を読み，$\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{か}}$ に適切な数式または数値を解答欄に記入せよ。また $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{キ}}$ には括弧内の最も適切なものを選び解答欄にマークし，下線部については解答欄（a）に適切な図を描け。

両端ABを固定して張った長さ L[m] のギターの弦の中央部をはじくと，一定の高さの音が出る。弦を伝わる $\boxed{\text{ア}}$（① 縦波，② 横波，③ 疎密波）が両側の固定端で反射され，これを繰り返すことで特定波長の $\boxed{\text{イ}}$（① 進行波，② 定常波，③ 反射波）ができるからである。このとき最も長い波長の固有振動を基本振動と呼び，これが最もよく聞こえる。基本振動以外の固有振動も存在し，n 番目に長い波長の固有振動を n 倍振動と呼ぶ。両端を含まずに数えると，n 倍振動の波の節の数は $\boxed{\text{あ}}$ である。例として，<u>3倍振動の波形を解答欄（a）に描け</u>。

ある固有振動の正弦波が端Bに入射し，これによって反射波が生じた。端Bでの波の振幅は $\boxed{\text{い}}$ でなければならないので，入射波と反射波の位相の差は $\boxed{\text{ウ}}$（① 0，② $\frac{\pi}{2}$，③ π）[rad] となる。弦を伝わる波の速さを v[m/s] とすると，基本振動の振動数は $\boxed{\text{う}}$ [Hz] と表せ，n 番目の波の固有振動数は $\boxed{\text{え}}$ [Hz] となる。

弦の張りを強くすると，弦を伝わる波の速さは $\boxed{\text{エ}}$（① 増大する，② 減少する，③ 変化しない）ので，振動数は $\boxed{\text{オ}}$（① 増大し，② 減少し，③ 変わらず），音は $\boxed{\text{カ}}$（① 高く，② 低く，③ 同じ高さに）なる。また，太い弦を使用した場合，振動数は $\boxed{\text{キ}}$（① 増大する，② 減少する，③ 変わらない）。

いま，弦のある点を押さえ，その点と端Bの間の中央部をはじいて音を出した。すると聴衆に届いた音波の波長は1.7 mであった。$L = 0.6$ m，空気中の音速を340 m/s，弦を伝わる波の速さを144 m/sとすると，指で押さえた場所は，端Aより $\boxed{\text{お}}$ mの点である。またこの状態で，A側の弦の中央をはじいたとき，聴衆は振動数 $\boxed{\text{か}}$ Hzの音を聴く。

Ⅲ　次の文章を読み，$\boxed{あ}$ ～ $\boxed{く}$ に適切な数式を解答欄に記入せよ。また $\boxed{ア}$ ～ $\boxed{ク}$ については，指定された選択肢の中から最も適切なものを選び解答欄にマークせよ。ただし，図1に示すように x 軸と y 軸の正の方向は矢印の方向とし，z 軸の正の方向は紙面を裏から表に垂直につらぬく方向とする。なお，以下の実験は真空中で行い，重力の影響は無視するものとする。

図1に描かれたIはイオンの発生源であり，ここから質量 M[kg] と電荷 e[C] をもつ1価の正イオンが小さな孔 S_1 を通り，y 軸上を正の方向に向かってさまざまな速さで出射されるとする。領域 D_1 内では d[m] の間隔で十分に大きな平行板導体PとQが x 軸に垂直におかれており，この平行板には電圧 V[V] が加えられている。このため平行板の間には x 軸の $\boxed{ア}$ の方向にむかって $\boxed{あ}$ [V/m] の強さの電界がかかっている。したがって領域 D_1 内で y 軸上を直進するイオンは，平行板PQの間の電界によって x 軸の $\boxed{ア}$ の方向に向かって大きさ $\boxed{い}$ [N] の力を受ける。また，領域 D_1 で $\boxed{イ}$ 軸の $\boxed{ウ}$ の方向にむかって磁束密度 B_1[T] の一様な磁界があると，イオンには電界による力と反対方向にローレンツ力がかかる。つまり領域 D_1 では，電界による力 $\boxed{い}$ [N] と同時に，速さ v[m/s] のイオンは D_1 内の磁界から $\boxed{う}$ [N] の大きさの力を受けることとなる。その結果，特定の速さ $\boxed{え}$ [m/s] をもつイオンのみが y 軸上を直進し続け，小さな孔 S_2 を通過する。

図1の破線は S_2 を通過することができなかったあるイオンの軌道を描いている。S_1 から領域 D_1 に速さ w[m/s] で y 軸上を正の方向にむけて出射されたイオンが，破線のような軌道を描きながら点Gを通過したとする。このとき，領域 D_1 において磁界がイオンに対してする仕事は $\boxed{お}$ [J] であり，点Gにおけるイオンの速さは，$\boxed{か}$ [m/s] と表すことができる。ただし，点Gは原点Oよりも距離 L[m] だけ x 軸の正の方向に離れた点であり，平行板PQは y 軸に対して等距離の位置におかれているとする。

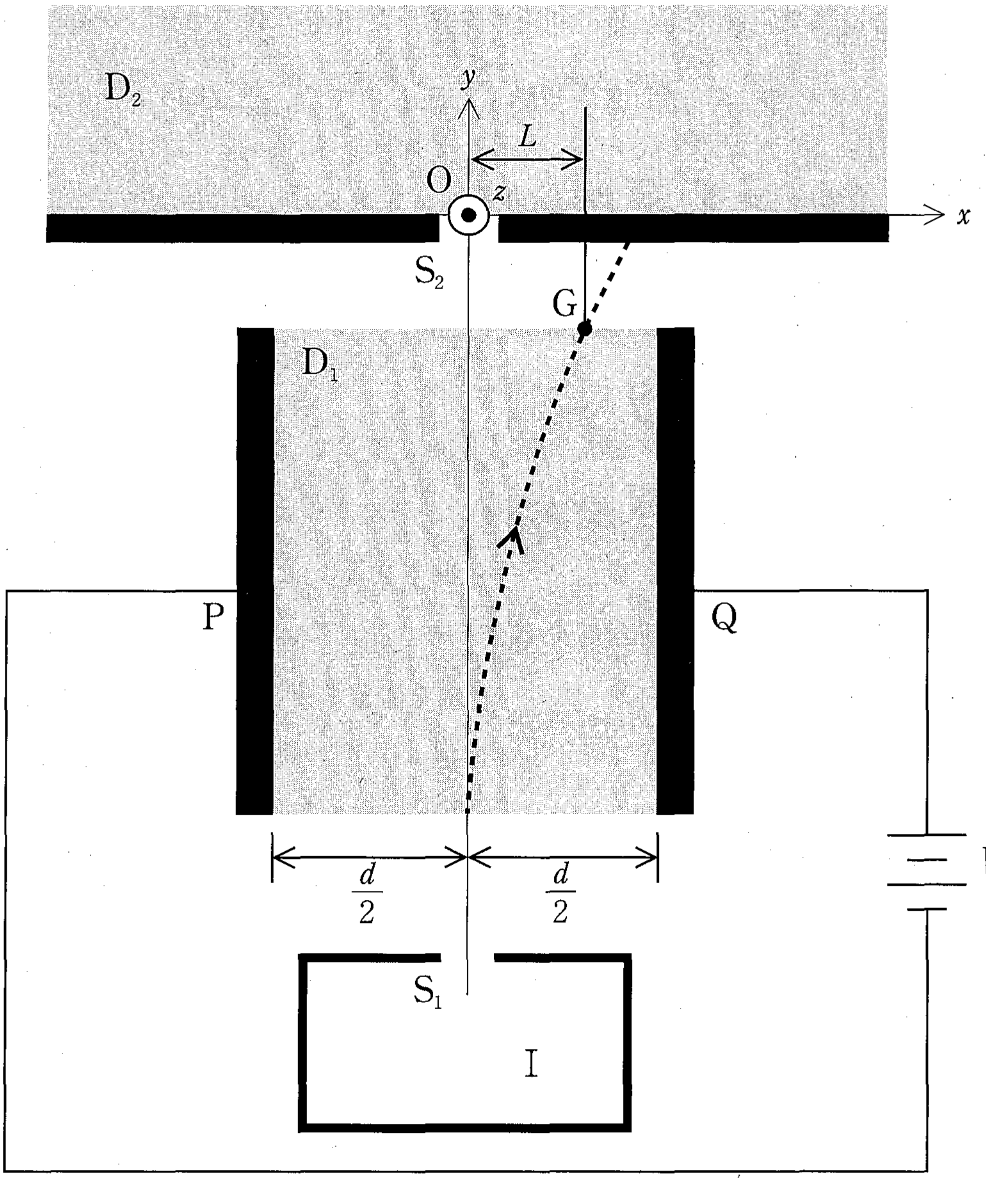


図 1

$\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ウ}}$ の選択肢

① 正　② 負　③ ゼロ　④ x　⑤ y　⑥ z

（設問Ⅲは次頁につづく）

次にS_2を通過し，領域D_2（$y>0$ の部分）に出射されたイオンのその後の運動をみていこう。（図２）領域D_2では，$\boxed{\text{エ}}$ 軸の $\boxed{\text{オ}}$ の方向にむかって磁束密度 B_2[T] の一様な磁界があるため，領域D_2に入ったイオンには，進行方向にむかって垂直右側に $\boxed{\text{き}}$ [N]（ただし，v を使わずに表すこと）の一定な力が働く。その結果イオンは時計回りに円軌道を描き，図２に示すように x 軸上の点R_1に到達した。このときOR_1間の距離は $\boxed{\text{く}}$ [m]（ただし，v を使わずに表すこと）である。

さらに電荷 $2e$[C] をもつ２価の正イオンに関して，同様にさまざまな速さでイオンをS_1から出射し，その軌道を観測した。その結果イオンは x 軸上の点R_2に到達し，このときのOR_2間の距離はOR_1間の距離の1.5倍だった。この結果からこの２価のイオンの質量は M[kg] の $\boxed{\text{カ}}$ 倍であることがわかる。

引き続き，別の２価の正イオンをさまざまな速さでS_1から出射し，その軌道を観測した。すると今度のイオンはS_2を通過し，再び x 軸上の点R_1に達していることがわかった。この結果は，新たに用いた２価イオンの質量が M[kg] の $\boxed{\text{キ}}$ 倍であることを示している。つまり，イオンの種類が異なっていても $\boxed{\text{ク}}$ が同じであれば，S_2を通過するイオンは同じ速さで同じ軌道上を運動しながら，最後に同じ場所に到達する。

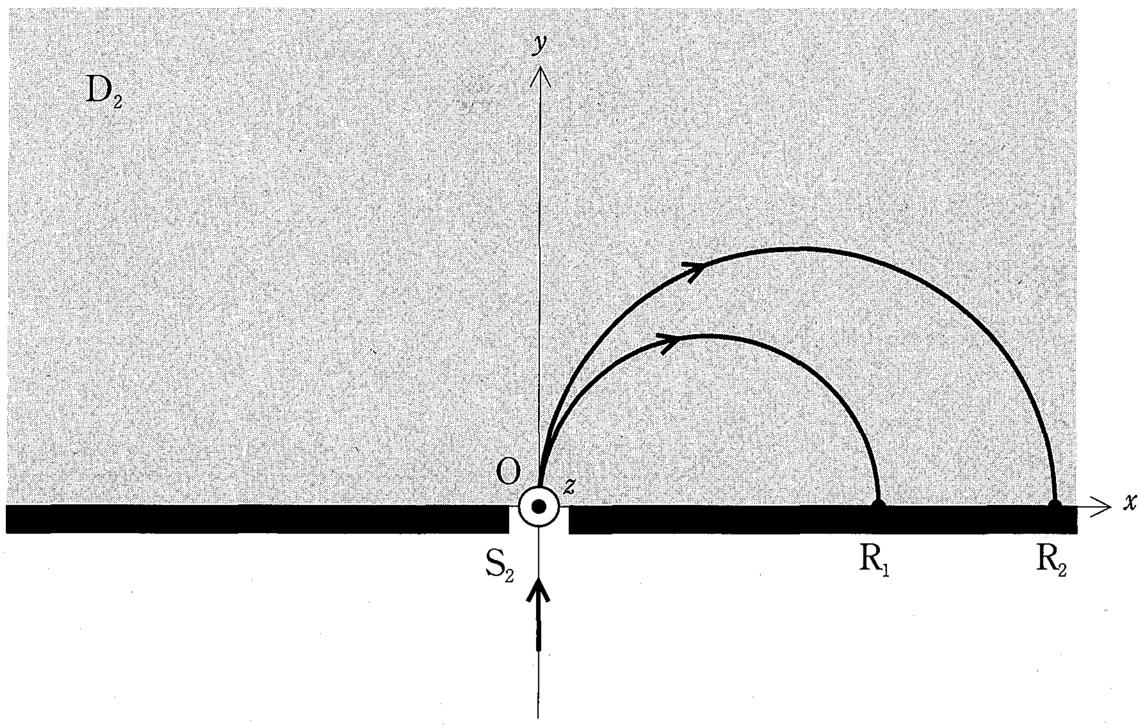


図2

$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{オ}}$ の選択肢

① 正　② 負　③ ゼロ　④ x　⑤ y　⑥ z

$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{キ}}$ の選択肢

① $\frac{1}{3}$　② $\frac{1}{2}$　③ 1　④ 2　⑤ 3　⑥ 4

$\boxed{\text{ク}}$ の選択肢

① 電荷　② 比電荷　③ 速度　④ 運動量
⑤ 運動エネルギー　⑥ 加速度　⑦ 質量