

物理問題

(平成29年度 国際信州学院大学理学部)

【注意事項】

1. 試験時間は80分である。
2. 試験開始の合図まで、この問題冊子を開いてはいけない。ただし、表紙はあらかじめよく読んでおくこと。
3. 問題冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所等があった場合および解答用紙が不足している場合は、手をあげて監督者に申し出ること。
4. 試験開始後、解答用紙の所定の欄に、受験番号と氏名を記入すること。
5. 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。解答用紙の裏面に記入してはいけない。
6. 解答用紙を切り離したり、持ち帰ってはいけない。
7. 問題冊子の中の白紙部分は下書き等に使用してよい。
8. 試験終了時刻まで退室を認めない。試験中の気分不快やトイレ等、やむを得ない場合には、手をあげて監督者を呼び指示に従うこと。
9. 試験終了後は問題冊子を持ち帰ること。

第 1 問

農業では、利益を増加させる為に作業の効率化を図るのは有効な手段である。さて、りんごの収穫方法について考えよう。高地では、りんご畑が山の斜面に作られることがある。しかし、斜面上で収穫したりんごを山の麓まで運んでいくには大きな労力が必要である。そこで、山の斜面と遠心力を利用して山腹の畑から麓の集積地までりんごを投射する装置を作るとする。図 1, 2 は山の斜面を簡略化したモデルである。図 1, 2 のように、水平面となす角が ϕ ($0^\circ < \phi \leq 90^\circ$) のなめらかな斜面 S 上の点 O に長さ L の細いロープを止め、ロープの先端に質量 m のりんごをつける。ただし、りんごは球体とする。次に、ロープをぴんと張り、りんごが点 O と同じ高さの点 A に来るようにし、このりんごを静かに離すと、最下点 B を通過し斜面上で運動する。斜面 S と水平面の交線を N とし、直線 OB 上と交線 N との交点を O' とする。 OO' の距離は $2L$ である。この場合のりんごの運動を考え、次の問に答えなさい。ただし、重力加速度を $10 \text{ [m/s}^2\text{]}$ とし、 $m = 1 \text{ [kg]}$, $L = 1 \text{ [m]}$, $\phi = 30^\circ$ として計算しなさい。なお、必要があれば次の数値を使いなさい。

$$\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73, \sqrt{5} = 2.24, \sqrt{10} = 3.16$$

(1) 図 1 のように細いなめらかな棒が点 O から下方 $\frac{L}{2}$ の距離にある OB 上の点 P で、この斜面と垂直に交わるように固定されている。りんごが点 O の下方にある点 B を通過するときの速さは ア [m/s] となる。りんごが点 B を通過する直前のロープの張力は イ [N] となり、りんごが点 B を通過した直後のロープの張力は ウ [N] となる。りんごが点 C に来たとき、ロープがたるんだ。 PC が AO に平行な PP' となす角を θ として、 $\sin \theta =$ エ [N] となる。

(2) 図2のように上記の棒を点 O から下方 X の距離にある OB 上の点 Q に移動させて、同様のことを行ったら、OQ 上の点 D でロープの張力が 0 となった。この場合の距離 X は [m] となる。りんごが点 D に達したときにロープを切ったところ、りんごは斜面上を移動し、斜面 S と水平面との交線 N 上にあるカゴに入った。点 O' からカゴまでの水平距離を L' とすると、 $L' =$ [m] となる。

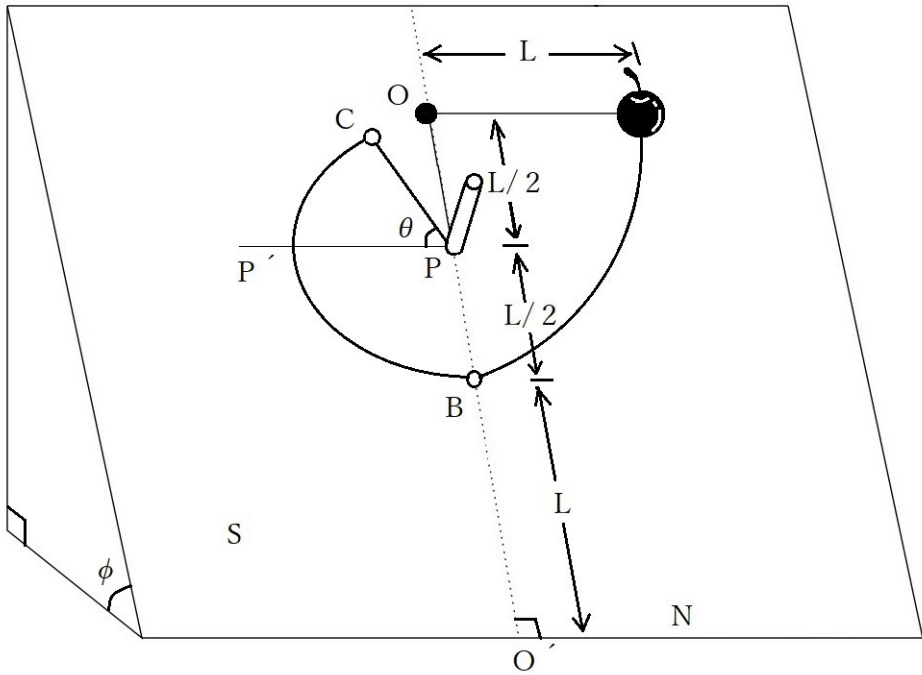


图 1

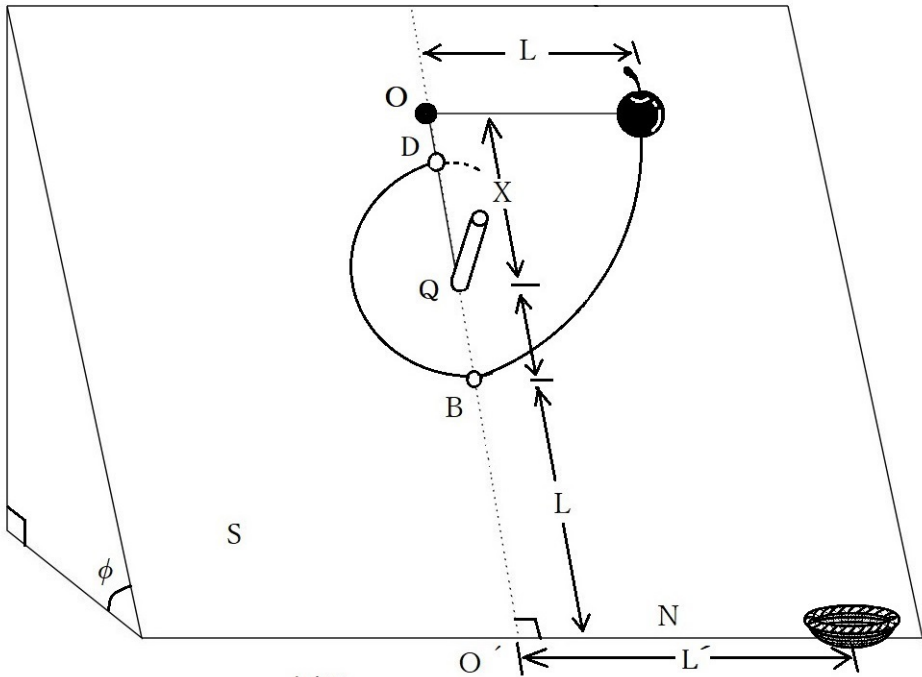
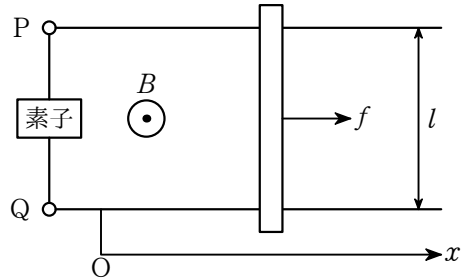


图 2

(物理の試験問題は次ページに続く。)

第 2 問

図のように、水平面上に間隔 l [m] で平行に並べられている滑らかな 2 本のじゅうぶん長い導体レールがある。また、鉛直上向きに一様な磁束密度 B [T] の磁界がかけられている。PQ 間に回路素子を接続してから、質量 m [kg] の導体棒をレールに垂直に乗せ、一定の力 f [N] で x 軸方向に引く。以下の問いに答えよ。



まず、PQ 間に R [Ω] の抵抗を接続した。

- 1) 導体棒の速度が v [m/s] のときに生じる誘導起電力 [V] は幾らか。
- 2) 1) のとき導体棒が磁界から受ける力 [N] は幾らか。
- 3) 導体棒の最高速度 v_{\max} [m/s] を求めよ。

次に、PQ 間に電気容量 C [F] のコンデンサーを接続した。ただし、コンデンサーははじめ充電されていなかった。

- 4) 導体棒の加速度が a [m/s²] のときに流れる電流 [A] は幾らか。

最後に、PQ 間に自己インダクタンス L [H] のコイルを接続した。

- 5) 誘導起電力 V [V] と電流 I [A] の関係式を書け。
- 6) 図に示すように時刻 t [s] における導体棒の位置を x [m] として、 I と x の関係式を導け。ただし、 $t = 0$ で $I = 0$ 、 $x = 0$ とする。
- 7) 導体棒の運動の特徴を簡潔に述べよ。

(物理の試験問題は次ページに続く。)

第 3 問

次の文章を読み，空欄に適切な式を入れよ．温度は絶対温度とする．
気体定数を R とする．

(i) 物質質量 n のある理想気体に熱を加えると，温度が ΔT だけ上昇したとする．

この変化が等圧変化であったとき，この間に気体が得た熱量は， n ， R ， ΔT ，および内部エネルギーの変化量 ΔU を用いて $\boxed{\text{ア}}$ と表せる．

この理想気体の定積モル比熱を C_V ，定圧モル比熱を C_p とする．理想気体ごとにその内部エネルギーは温度だけで決まることに注意すると， C_p と C_V の間には関係式 $\boxed{\text{イ}}$ が成り立つ．

(ii) 理想気体の状態を断熱的にごく僅かに変化させたところ，はじめ圧力 p ，体積 V ，温度 T であったものがそれぞれ微小量 Δp ， ΔV ， ΔT だけ変化したとする．

微小量どうしの積は他の量と比べて非常に小さくなることからこれを無視すると，状態方程式から関係式 $\boxed{\text{ウ}} = nR\Delta T$ が成り立つ．

また，熱力学第 1 法則から， $p\Delta V$ と内部エネルギーの変化量 ΔU の間には関係式 $\boxed{\text{エ}}$ が成り立つ．

定積モル比熱と定圧モル比熱の比 $\frac{C_p}{C_V}$ を比熱比といい， γ で表す．

関係式 $\boxed{\text{イ}}$ も踏まえると， γ ， p ， V ， Δp ， ΔV の間には関係式 $\boxed{\text{オ}}$ が成り立つ．この関係式から，断熱変化において $pV^\gamma = (\text{一定})$ という関係式が導かれる．

(iii) 大気圧は標高が高くなると小さくなる．これは大気に働く重力の影響が大きい．単純には，深さによる水圧の変化と同様にして考察できるが，この考え方では実測値からのずれがやや大きくなる．

実測値に基づいて平均化すると，気温（絶対温度）は標高にほぼ比例して減少することがわかっている．この比例定数を $-k$ ($k > 0$) とする．標高 0 での気温が T_0 のとき，標高 h での気温は $T = \boxed{\text{カ}}$ となる．このことも加味して考察してみよう．なお，空気を分子量 M の理想気体とみなす．また，重力加速度の大きさを g とする．

標高 h での大気圧が p であるとする．また，ここから標高が Δh だけ上昇すると，大気圧は Δp ($\Delta p < 0$) だけ変化するとする．

底面が標高 h に位置する高さ Δh ，断面積が単位面積の気柱を仮想しよう．気柱に働く力のつり合いより，この気柱に含まれる空気の物質量は $\Delta n = -\boxed{\text{キ}} \times \Delta p$ となる．

Δh をごく小さくとれば，気柱に含まれる気体の圧力，温度はそれぞれ p ， T であるとみなしても差し支えない．すると，理想気体の状態方程式から $\frac{\Delta p}{p} = -\boxed{\text{ク}} \times \frac{\Delta h}{\boxed{\text{カ}}}$ を得る．標高 0 での大気圧，気温

をそれぞれ p_0 ， T_0 とすると，この関係式から，標高 h での大気圧 p は

$$p = p_0 \left(\frac{\boxed{\text{カ}}}{T_0} \right)^{\boxed{\text{ク}}}$$

と表せる．

(iv) 湿った空気（風）が山を越えるとき，風下側には暖かく乾燥した空気となって吹き下りる．この現象をフェーン現象という．これを物理的に考察してみよう．以下，山を越えていく空気の塊を「気塊」と呼ぶことにする．気塊のまわりにある空気の圧力は，(iii) の関係式に従うものとし，標高 h における大気圧を p_h とする（つまり，大気圧を h の関数とみる）．以下の解答では γ および関数 p_h を用いてよい．また，ふもとの標高は 0 とする．

山頂付近に達した気塊が山の反対側のふもとに下降するときを考えよう。空気は断熱性が高いので、下降する間の状態変化は断熱的に起こるとみなせる。すると、山頂(標高 h)で気塊の温度が T_h であったとき、ふもとに下りた気塊の温度は となる。

しかしながら、全く同様にして、気塊が山を上るときは温度が下がることが言えるので、断熱変化だけでは説明として不十分である。

フェーン現象では、空気に含まれる水蒸気が重要な要素となる。

簡単のため、気塊は瞬間的・断熱的に山頂付近に上昇したとする。その直後、飽和蒸気圧を超えた分の水蒸気は水滴(雨、霧など)となり、その際放出された凝縮熱はすべて気塊に直ちに吸収されたとしよう。凝縮した水蒸気の質量は気塊の質量と比べて充分小さく、水蒸気が凝縮した後も気塊の分子量やモル比熱は不変であるとしてよい。

気塊 1mol につき H の凝縮熱が水蒸気から放出され気塊に吸収されたとすると、風下側のふもとに達した気塊の温度は、風上側のふもとにあったときと比べて だけ上昇する。

(物理の試験問題は次ページに続く。)

第 4 問

以下の文章を読み，設問に答えよ．

アイザック・ニュートンはりんごが落ちる現象を見て重力をひらめいたと言われているが，実はそれは間違いである．地上において地面方向に力が働いているということはニュートンの時代には既に理解されていることであった．ニュートンはこの地上の引力が月などの天体に対しても同様に働いているのではないか，ということ考えたのである．ニュートンは太陽の周りを地球などの惑星が公転していたり，地球の周りを月が公転していたりといった，天体の動きを統一的に理解する方法を模索しており，それが万有引力で説明できることにひらめいたのである．

物体 A, B 間に働く万有引力の大きさ F は距離に対する逆【1】乗則として，物体の質量をそれぞれ m_A , m_B ，物体間の距離を r とすると， $F =$ 【2】で表される．例えば，あなたが手のひらに持っているりんごを鉛直方向に落としたときのりんごの運動方程式を求めてみよう．地球の質量を M ，りんごの質量を m ，地球の半径を R ，地表面からあなたが持っているりんごまでの距離を h とすれば，万有引力の大きさは $F =$ 【3】と表される．よって，りんごの運動方程式は，加速度を g とすれば，【4】となる．すなわち， $g =$ 【5】となり，すべての物質について同じ値となる．この万有引力が天体同士に働くことで，例えば月は地球に“落ちる”わけであるが，月は回転しているためにその遠心力と釣り合うことで，月は落ちずに地球の周りを回転し続けている．ところで，逆【1】乗則が成り立つのは万有引力だけではない．荷電粒子間に働くクーロン力が例えばそうである．クーロン力によって，電子と電子のように，電荷が同符号の場合は斥力が働き，陽子と電子のように，電荷が反符号なもの同士の間には引力が働くことが知られている．これによって天体の運動のように回転運動を説明しようとしたのがラザフォ

ドの原子模型である。ラザフォードは原子の小さな中心領域に正の電荷が集中していて、その周りを電子がまわっているというモデルを考えたのである。例えば水素原子を考えてみよう。水素原子は陽子1つと電子1つから構成される。陽子は電子に比べ質量が十分に大きいので、陽子の周りを電子がまわっているというように考えてよい。陽子と電子の間に働くクーロン力 F は陽子の電荷を $+q$ 、電子の電荷を $-q$ 、電子と陽子の間の距離を r とすれば、 $F = [6]$ である。今、電子は同じ半径を速度 v で回り続けているとしよう。電子の質量を m_e とすれば、遠心力とクーロン力のつり合いから、 $r = [7]$ で、周期は $T = [8]$ である。ただし、クーロン力に比べ、万有引力は非常に小さいのでここでは無視するものとする。この原子模型は実は正確なものではないことが今ではわかっているのだが、人々が原子を想像する際の原型となり、原子や原子力を想像する象徴として使われ続けている。

- (1) 【1】～【8】に当てはまる式、あるいは数字を書け。ただし、万有引力定数を G 、クーロン定数を k とする。
- (2) 地球表面では重力加速度が約 9.8m/s^2 であることが知られている。万有引力定数を $6.7 \times 10^{-11}\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、地球の半径を 6400km 、 h をあなたの身長だとしたとき、地球の質量 M の大きさを有効数字一桁で求めよ。
- (3) 今年のノーベル賞は重力波の初観測で間違いないだろうと言われている。重力波は質量をもつ物体が加速度運動をすることにより放出される。今回観測された重力波は、お互い引かれあいながら回っている連星から放出される重力波を観測したものであった。これは偶然観測されたわけではなく、ある連星の回転周期が短くなっていることを発見し、その連星に注目して観測を始めたのである。実は重力波はエネルギーを持っており、その連星の周期減衰率は重力波によるエネルギー放出で予言されるものと誤差の範囲内で一致していたので、重力波を観測できるという確信があったのである。さて、本文中では万有引力とクーロン力について考えたが、実は重力

波と同じように電荷を持った物体が加速度運動をする際には電磁波が発生するのである。これを踏まえ、「エネルギー保存」という言葉を用いて、この原子模型は実は正確なものではないの理由について、あなたの考えを書きなさい。

(物理の試験問題は次ページに続く。)

第 5 問

壁にかけてあるコナン・ロシュフォール初代学長の肖像画を見た時の光景が図1 のようであるとする．図を見て次の問に答えなさい．なお，解答欄には解答群から選んだ選択肢のみを記入し，同じ選択肢は何度使ってもよい．

図1 初代学長の肖像画



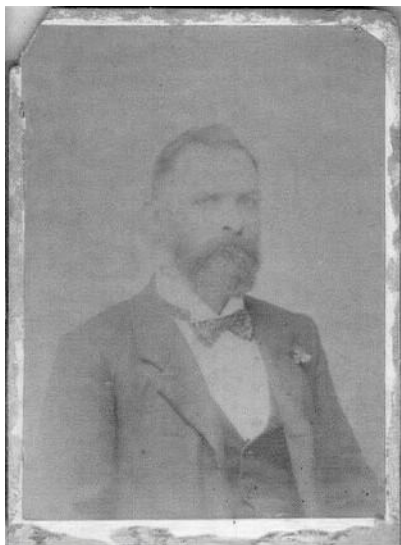
図2 スプーンに持ち替えた場合



- (1) 部屋の中にいる人が肖像画を背にして，肖像画をまず最初に手鏡（平面鏡）に映した．鏡に映る像の上下左右の関係を表す図として最も適当なものを，解答群のうちから一つ選べ．
- (2) 次に図2 のように手鏡をスプーンに持ち替えて，スプーンの内側（スプーンの凹面）に映る像を見た．この像の上下左右の関係を表す図として最も適当なものを，解答群のうちから一つ選べ．
- (3) スプーンの外側（スプーンの凸面）に映る像の上下左右の関係を表す図として最も適当なものを，解答群のうちから一つ選べ．

解答群

(ア)



(イ)



(ウ)



(エ)



