

平成30年度入学試験問題（後期日程）

物 理

出 題 意 図

問題1

熱力学と力学を融合した問題である。気体の圧力とばねの弾性力とのつりあい、理想気体の内部エネルギー変化、エネルギー保存則、気体が外部に対してする仕事とばねの弾性エネルギー変化の関係が理解できているかを問うた。さらに、ばねの弾性エネルギー、物体の位置エネルギー、運動エネルギーの間の保存および斜方投射（実際には鉛直投げ上げと変わらない）についての理解度を問うた。

問題2

閉管と開管の気柱共鳴、音波の振動数と波長の関係、定常波の節と腹に関する基礎的理解度をみる問題である。音波の波長、振動数、音速の関係および開管の気柱共鳴における基本振動、2倍振動の公式を理解しているかを問うた。また、閉管の気柱共鳴の基礎的理解度ならびに閉管と開管の気柱共鳴の関係について問うた。

問題3

直流回路の基礎、電球の電流－電圧特性、温度係数についての理解度を問うた。また、グラフからデータを読み取り、そこからの思考力をみる出題である。

問題4

光の基本的な性質とコンプトン効果に関する出題である。光の持つ波の性質の例、光の粒子性を光電効果について問うた後、コンプトン効果について光のエネルギーと運動量、エネルギー保存則と運動量保存則を理解できているかを問うた。

平成30年度入学試験問題

物 理

注 意 事 項

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

1 図1のように、水平面と角度 30° をなす斜面上に断面積 S のシリンダーが固定されている。シリンダー内はピストン A と B で三つの領域 I, II, III に仕切られており、ピストン A と B はばねで連結されている。領域 I には単原子分子の理想気体が封入されており、加熱するためのヒーターが設置されている。領域 II は真空に保たれており、領域 III は大気に開放されている。質量 M のピストン B の上側に質量 m の小球がのせられている。ピストン A およびばねの質量は無視でき、ピストンや小球とシリンダーの間には摩擦はないものとする。また、シリンダーとピストンは断熱材でできており、ばねとヒーターおよび以下の問におけるストッパーの体積は無視できる。大気圧を P_0 、重力加速度の大きさを g とする。

- (a) はじめに、ピストン A は自由に動ける状態にあり、ピストン B はストッパーでシリンダーに固定されていた(図1)。領域 I の気体の圧力は P_0 、体積は V_0 であり、ばねは自然長から長さ a だけ縮んだ状態にあった。ばねのばね定数を求めよ。
- (b) 次に、ピストン B を固定したまま領域 I をヒーターで加熱したところ、ピストン A はゆっくりと上方に移動し始めた。ピストン A が斜面に沿って距離 $2a$ だけ移動したところで加熱をやめると、図2のように、ピストン A はその位置で停止した。
- (i) このときの領域 I の気体の圧力を求めよ。
- (ii) この過程における領域 I の気体の内部エネルギーの変化量を求めよ。
- (iii) この過程において領域 I の気体に加えられた熱量を求めよ。
- (c) 次に、(b)の終わりの状態において、ピストン A をストッパーでシリンダーに固定した。その後、ピストン B のストッパーを外したところ、小球はシリンダー内を転がらずに滑りながらピストン B とともに勢いよく上方へ移動し、ばねが自然長から長さ a だけ縮んだ状態でピストン B から離れると同時に、シリンダーから飛び出した。ただし、ピストン B が動き始めてから小球が離れるまで、ピストン B の上面には大気圧 P_0 による一定の力がはたらくものとし、小球が離れた後もピストン B はシリンダーから外れないものとする。また、小球にはたらく空気抵抗は無視する。
- (i) ピストン B のストッパーを外してから小球が飛び出すまでの間に、ばねが大気に対してした仕事を求めよ。
- (ii) ピストン B のストッパーを外してから小球が飛び出すまでの間に、ばねが失った弾性エネルギーを求めよ。
- (iii) 小球がシリンダーから飛び出したときの小球の速さを求めよ。
- (iv) 図3のように、小球はシリンダーから飛び出し、ある高さに達した。シリンダーを飛び出した位置と最高到達点との高低差を h とするとき、 h を求めよ。

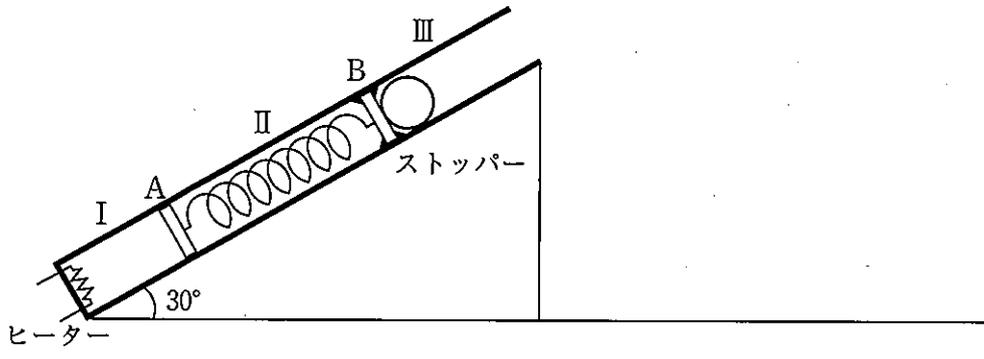


図 1

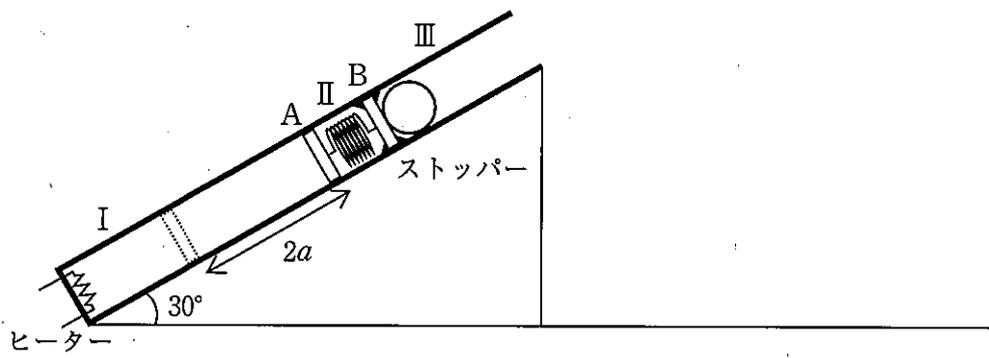


図 2

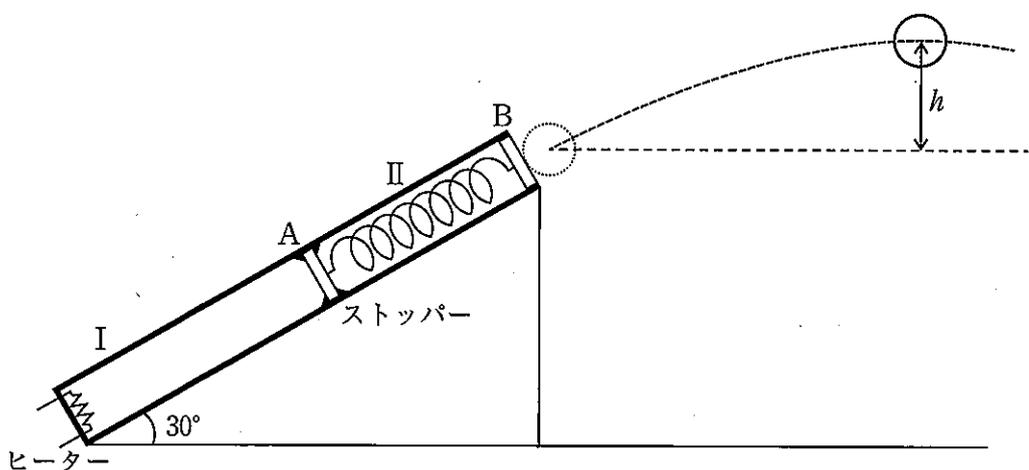


図 3

2 図1のように、長さ L [m] の円筒の開管を水平に置き、左側の管口付近にスピーカーを設置した。以下の問いに答えよ。ただし、開口端補正はないものとする。

(a) はじめに、スピーカーから発する音波の振動数を 0 Hz から徐々に上げていくと、振動数が f_1 [Hz] になったときにはじめて音が大きく聞こえた。さらに振動数を上げていったところ、次に音が大きく聞こえた振動数は f_2 [Hz] であった。

(i) 振動数 f_1 のときの音波の波長 λ_1 [m]、および振動数 f_2 のときの音波の波長 λ_2 [m] を、 L を用いて表せ。

(ii) 音速を V [m/s] として、 f_1 と f_2 を L, V を用いて表せ。

(b) 次に、スピーカーから発する音波の振動数を f_2 に固定し、図2のように、管の右端から管にぴったりとはまるピストンを挿入した。ピストンを右端から徐々に左方向に移動させると、ピストンが管の左端に到達するまでの間に何回か音が大きく聞こえた。

(i) 音が大きく聞こえた回数を答えよ。

(ii) 音が大きく聞こえたときの管の左端からピストンまでの距離を、すべての場合に対して、 L を用いて表せ。

(c) 次に、ピストンを管の右端に固定し、スピーカーから発する音波の振動数を f_2 から徐々に下げていったところ、振動数が f_3 [Hz] になったときにはじめて音が大きく聞こえた。このとき、 f_2 と f_3 の差が 25 Hz であった。 $V = 340$ m/s として L の値を求めよ。

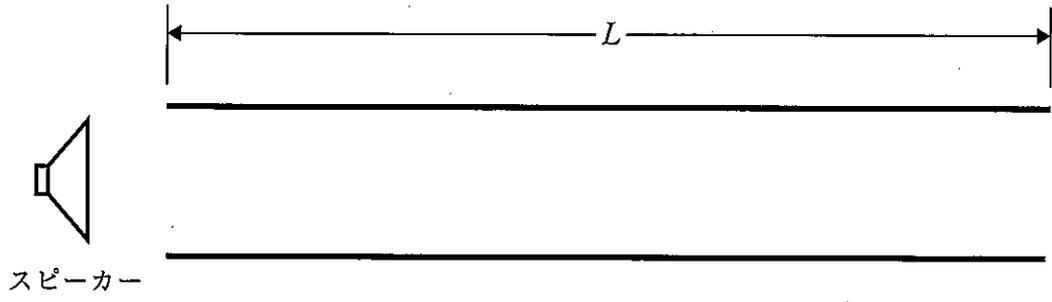


図 1

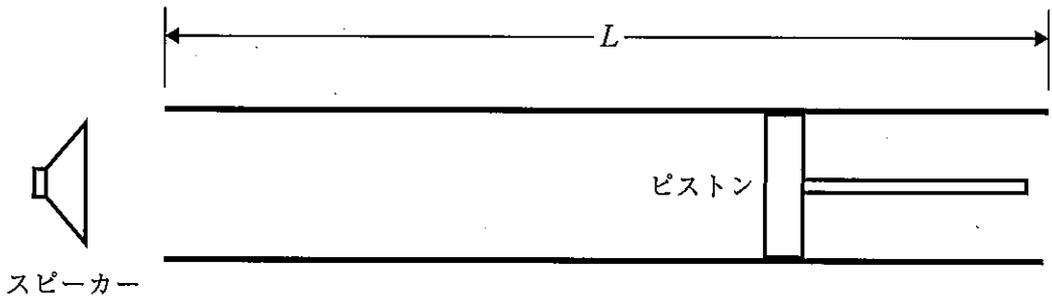


図 2

3 白熱電球の電流－電圧特性を調べるために、電圧を変えることのできる直流電源と可変抵抗を用いて図1のような回路を組み、次の手順①～④で実験する。

- ① 直流電源の電圧 V_0 [V] と可変抵抗の抵抗の値 r [Ω] を固定し、スイッチを入れる。
- ② 電流計と電圧計の値が一定になるのを待って、そのときの値を1つの測定点としてグラフに記録する。
- ③ スwitchを切ってから、 V_0 または r を変化させる。
- ④ ①～③を繰り返して得られた測定点をグラフ上でなめらかにつなぐ。

この測定について以下の問いに答えよ。ただし、文中で与える数値の有効数字は2桁である。

(a) いま、ある白熱電球の電流－電圧特性を室温 20°C の部屋で測定したところ、結果は図2の実線のようにになった。

(i) 電流計の値が I [A]、電圧計の値が V [V] のとき、 I を V, V_0, r を用いて表せ。

(ii) r を $80\ \Omega$ 、 V_0 を $40\ \text{V}$ に固定して測定したとき、電流計と電圧計の値を求めよ。

(iii) 図2の測定点Pを測定したとき、 V_0 は $50\ \text{V}$ であった。このときの可変抵抗の値を固定したまま、 V_0 を $50\ \text{V}$ からある電圧に変更して測定すると、測定点Qが得られた。この電圧を求めよ。

(b) 以下の文章が正しい記述になるように空欄 **ア** ～ **オ** を埋めよ。ただし **イ** ～ **エ** は適切な語句を枠内の選択肢から選べ。

図2の破線は、この白熱電球のフィラメント(金属線)が常に室温と同じ 20°C であるとしたときの電流－電圧特性である。電圧がじゅうぶん小さくてフィラメントで発生する **ア** が無視できるときには、破線と実線は重なると考えられるが、電圧が大きくなると両者は一致しなくなる。手順①でスイッチを入れた直後に電流が流れると、フィラメントの温度は **イ**：上がる・下がる ので、それに伴い白熱電球の抵抗値は **ウ**：上がる・下がる。つまり、電流計の値はスイッチを入れた直後よりも **エ**：上がる・下がる。一般に、金属でできた物体の抵抗 R [Ω] は、温度 t [$^\circ\text{C}$] では $R = R_0(1 + \alpha t)$ と表されることが知られている。ここで、 R_0 [Ω] は 0°C での抵抗値である。 α [1/K] は抵抗に関する温度係数で、このフィラメントの場合 $\alpha = 5.0 \times 10^{-3}$ [1/K] である。この値を用いると点Pでのフィラメントの温度は、**オ** $^\circ\text{C}$ と求められる。

(c) 次に、上記で測定したものと同一電流－電圧特性をもつ白熱電球2つを、図3のように直列につなぎ、同様の手順で測定した。この直列につながれた白熱電球の電流－電圧特性として得られる曲線を、図4の(あ)～(お)から1つ選び、その理由を述べよ。

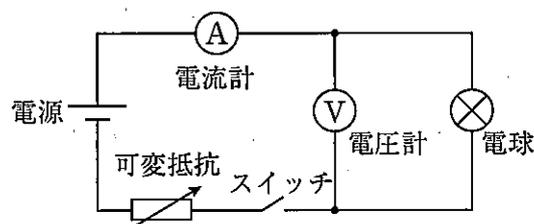


図1

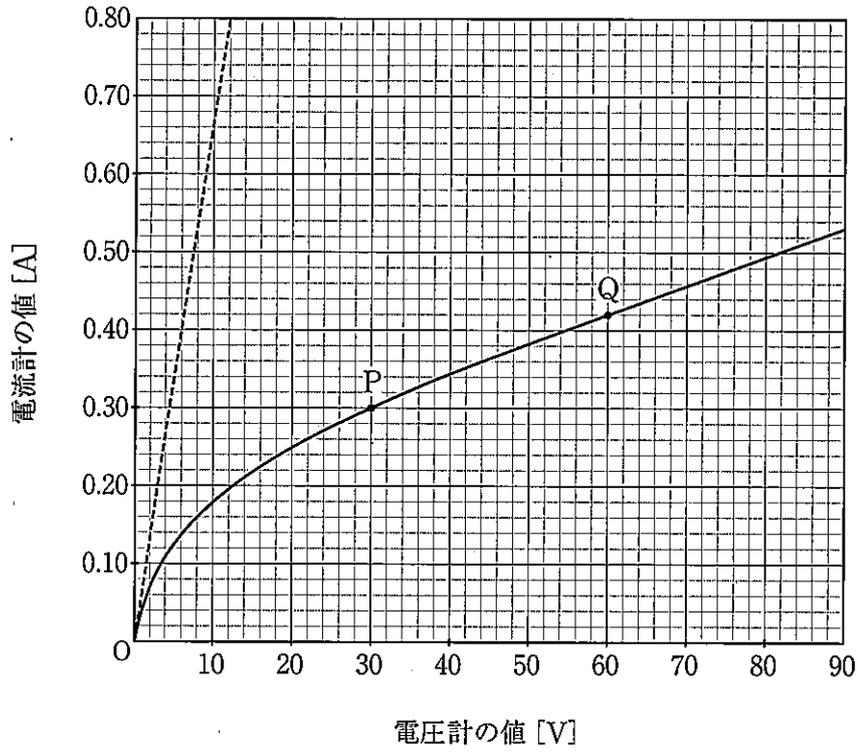


図 2

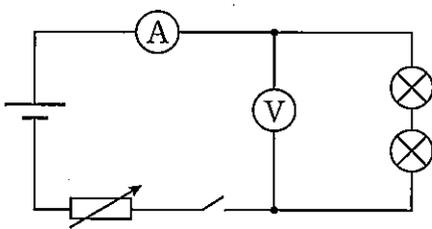


図 3

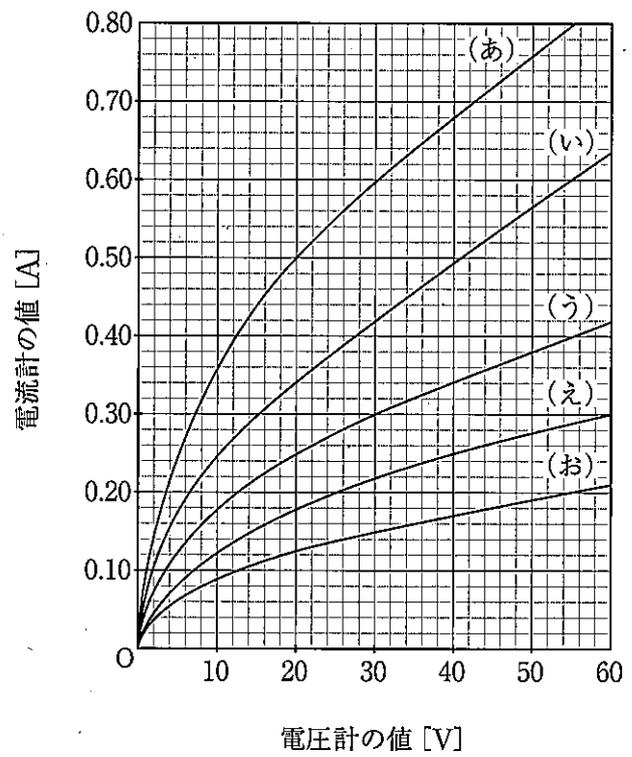


図 4

4 カメラは人間の目に見える可視光線を捉えて記録する装置であるが、人間の目には見えない赤外線や紫外線などを捉えて可視化する(目に見える形にする)ことができるカメラもある。コンプトンカメラは γ 線(ガンマ線)を捉えられるカメラで、 γ 線のエネルギーと入射方向を測定し、可視化することができる。コンプトンカメラは元々は、宇宙に飛びかうX線や γ 線を測定して宇宙の様子を調べるX線天文学・ γ 線天文学の実験装置として開発されたものであるが、小型で広範囲を測定できるという特徴を活かして、様々な分野への応用が考えられてきている。例えば、福島原発事故後の除染作業では放射線が目に見えないという困難があるが、コンプトンカメラを用いて γ 線を可視化することで作業効率を高める試みが行われている。コンプトンカメラの性能の向上を目指した研究が各地で進められており、信州大学においても、高エネルギー実験の研究室が素粒子実験の測定器として培った技術を基にして研究を行なっている。コンプトンカメラはコンプトン効果という現象を利用している。

以下では、コンプトン効果や光・電磁波の基本的な性質を問う。以下の問いに答えよ。問(c)~(g)の空欄 ~ には適当な語句を、空欄 ~ には適当な式を入れよ。ただし、 ~ には異なる語句が入る。また、問(f)(g)については、記号 p , ν を用いないこと。なお、真空中の光速を c [m/s], プランク定数を h [J·s] とする。

(a) 光は、中波や短波などラジオ放送で使われている電波と同じ電磁波であって波の性質をもち、波長に応じて色々な名前ではばれている。以下の1~5の電磁波を波長の長い順に並べよ。(波長の範囲が重なるものもあるが、典型的な波長で答えよ。)

1 : 紫外線 2 : γ 線 3 : 可視光線 4 : 赤外線 5 : X線

(b) 可視光線が波の性質をもつことによって生じる現象を、自然現象や身のまわりの現象の中から2つ挙げよ。

(c) 光は粒子の性質ももつ。金属に紫外線などの光を当てると、金属表面から が飛び出すことがある。この現象を といい、飛び出した を という。アインシュタインは、振動数 ν [Hz] の光はエネルギー $E =$ [J] をもつ粒子として振る舞うと考え、 を説明した。金属中を自由に動きまわれる が金属原子からの引力の束縛を断ち切って外部に飛び出すために必要なエネルギーの最小値 W [J] は金属ごとに定まっており、それを という。当てる光の振動数 ν が を満たす場合に が起こり、飛び出した の運動エネルギーは [J] となる。

(d) X線を物質に当てて、その散乱X線を調べると、入射X線と同じ波長をもつ散乱X線のほかに、それよりも 波長をもつ散乱X線が含まれている。この波長の変化を伴う散乱をコンプトン散乱といい、 γ 線でも同様である。

(e) 粒子としての光は、エネルギーだけでなく、その進行方向に運動量をもっている。振動数 ν の光の運動量の大きさ p [kg·m/s] は $p =$ である。光の波長を λ [m] とすると、 $p =$ である。

(f) コンプトン散乱は、粒子としてのX線と物質を形作る原子中の が衝突して起こると考えられる。図1のように、静止していた にX線が衝突して散乱が起きたとする。x軸に沿って入射した入射X線の波長を λ [m]、散乱X線の波長を λ' [m]、 の質量を m [kg]、はね飛ばされた の速さを v [m/s]、入射X線と散乱X線のなす角を θ [rad]、入射X線とはね飛ばされた のなす角を ϕ [rad]とし、 v は c に比べてじゅうぶんに小さいとする。x軸方向の運動量保存則より が、y軸方向の運動量保存則より が、エネルギー保存則より が成り立つ。

(g) と より ϕ を消去すると、 $(mv)^2 =$ が得られる。一方、 より $(mv)^2 =$ が得られる。よって = となり、この両辺に適当な式を掛けることにより、 $\lambda' - \lambda =$ を得る。ただし、 には λ と λ' の文字が残っている。 λ' と λ の差は λ に比べてじゅうぶんに小さいので、 において $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \cong 2$ と近似すると、 $\lambda' - \lambda =$ を得る。

(h) γ 線の場合には、 λ' と λ の差は λ に比べて必ずしもじゅうぶんに小さくはないが、より精密な計算により、 $\lambda' - \lambda =$ が成り立つことが分かっている。セシウム $^{137}_{55}\text{Cs}$ があると、それがもととなってエネルギー 6.6×10^5 eVの γ 線が放出される。この γ 線の波長 λ を求めよ。また、この γ 線がコンプトン散乱で $\theta = \frac{\pi}{3}$ radの方向に散乱されたとして、散乱後の波長 λ' との差 $\lambda' - \lambda$ を求めよ。ただし、 $c = 3.0 \times 10^8$ m/s、 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J \cdot s、 $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg、電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ Cとせよ。

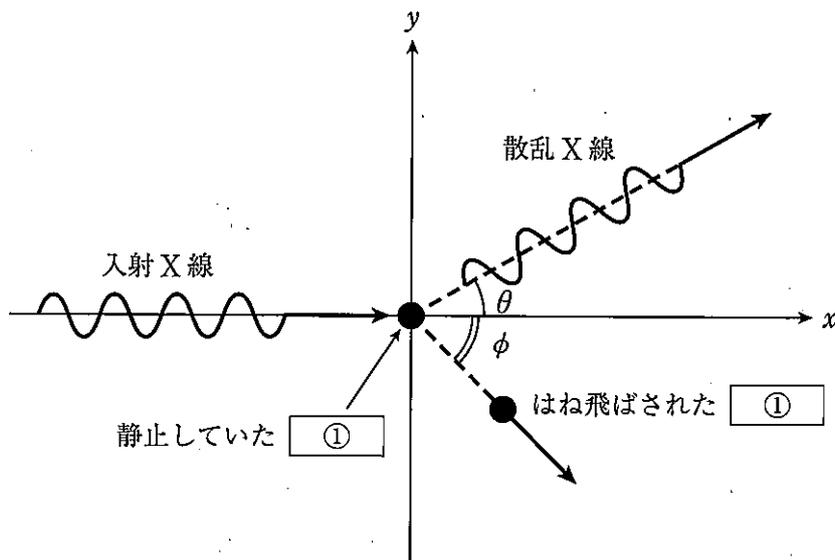


図1

平成30年度 個別学力検査 (後期日程)
問題訂正
「物理」

【問題冊子】

4ページ ① (c) (i) 1行目

(誤) 「・・・間に, ばねが・・・」

(正) 「・・・間に, ピストンBが・・・」

10ページ ④ 10行目

(誤) 「て研究を行なっている。・・・」

(正) 「て研究を行っている。・・・」