

物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入し、必要なら単位も含めて答えなさい。有効数字は特に指示のない限り考慮しなくてよい。[2]、[4]、[5]は特に指示のない限り解答の過程も簡潔に示しなさい。

1 以下の文章の (①) から (⑳) に適切な語句、数値または式を入れなさい。

[1] 陽子や中性子は 3 個のさらに小さな粒子 (素粒子) から構成される。これらの素粒子を一般に (①) という。陽子や中性子は、通常「アップ」、「ダウン」と呼ばれる 2 種類の (①) から構成されており、アップ、ダウンはそれぞれ電気素量の $2/3$ 倍、 $-1/3$ 倍の電荷をもつ。アップを u 、ダウンを d と表せば、陽子と中性子はアルファベット 3 文字の組合せでそれぞれ (②)、(③) と表される。一方、自然界には (④) 種類の基本的な力が存在し、これらを媒介する粒子をゲージ粒子という。たとえば光子は (⑤) 力を媒介するゲージ粒子である。

[2] x 軸の正の方向に進行する正弦波を考える。図 A は $x = 0$ m での媒質の振動のようす、図 B はある時刻での波形を表している。図 A、図 B の縦軸は谷からの高さ h [m]、図 A の横軸は時刻 t [s]、図 B の横軸は媒質の位置 x [m] である。この波の周期は (⑥) s、波長は (⑦) m、振幅は (⑧) m、速さは (⑨) m/s である。この波が、 $t = 0$ s 以降で初めて図 B の波形になる時刻は (⑩) s である。

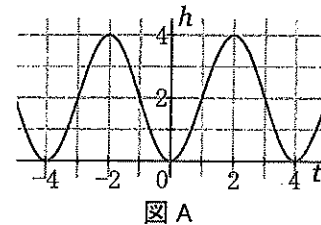


図 A

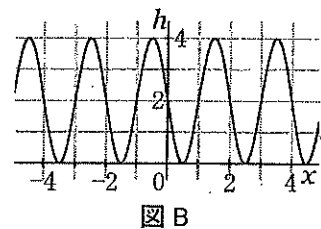


図 B

[3] 等加速度運動する電車内の人には電車の加速度と逆向きに慣性力を感じる。一般に、加速度運動する座標系では、運動の第 1 法則である (⑪) の法則が見かけ上成り立たない。このような座標系を (⑫) と呼ぶ。また、慣性力は物体間に作用する力ではないので、(⑬) を伴わない。等速円運動も加速度運動なので、等速円運動をする物体上の人には慣性力を感じる。この慣性力を、特に (⑭) という。地上の物体には、地球の自転による (⑮) がはたらく。したがって、地上の物体が受ける重力は (⑯) と地球の各部分から物体に作用する (⑰) の合力である。

[4] 物質が外部の磁場 (磁界) によって磁石の性質をもつことを (⑱) という。鉄のように磁場の向きに強く (⑲) される物質を (㉑) という。また、アルミニウムのように磁場の向きにわずかに (⑲) される物質を (㉒)、銅のように磁場と逆の向きに弱く (⑲) される物質を (㉓) という。磁場の中に小さい磁針を置き、N 極が指す向きに磁針を少しずつ移動させると、1 本の線が得られる。この線に沿って磁場の向きに矢印をつけたものを (㉔) という。



2 波の干渉に関する以下の [A]、[B] の各問に答えなさい。

[A] 光源 1 または光源 2 からの光を格子定数 $10\mu\text{m}$ の回折格子に照射して、半円筒形のスクリーンに映る干渉縞を観察する。光源 1 は真空中における波長が 500 nm の緑色の単色の平行光線(単色の平面波)を出し、光源 2 は真空中における波長が 380 nm 以上 480 nm 以下の範囲内の青色の単色の平行光線を出す。光源、回折格子、スクリーンを屈折率 1 の空气中に設置した。図 1 は回折格子とスクリーンの位置関係を表し、位置 O は円筒の中心、スクリーン上の位置 A、B、…、H は等間隔である。以下の各問に答えなさい。ただし、干渉縞の明線は非常に鋭いものとし、 $\sin\theta < 0.1$ のときは近似 $\sin\theta \approx \theta$ を用いなさい。

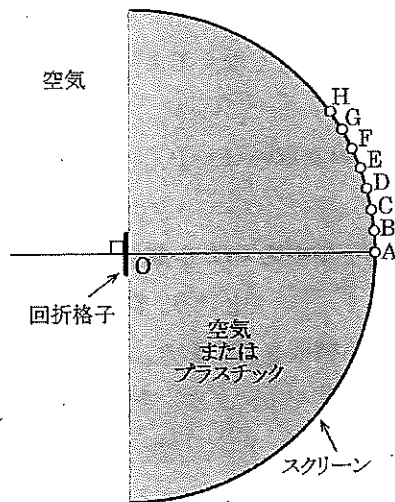


図 1

回折格子とスクリーンの間(図 1 の灰色部分)を屈折率 1 の空気であら満たした。

- [1] 光源 1 からの光を回折格子へ線分 AO の延長線上から垂直に入射させるところ、スクリーン上の AH 間の範囲においては、明線は位置 A、F のみで観察された。位置 F で観察された明線について、隣り合うスリットを通過する光の光路差を求めなさい。また、 $\angle AOF$ の角度[rad]を求めなさい。

次に、回折格子とスクリーンの間(図 1 の灰色部分)を屈折率 $5/3$ の透明なプラスチックであら満たした。

- [2] 光源 1 からの光を回折格子へ線分 AO の延長線上から垂直に入射させるところ、スクリーン上の AH 間の範囲においては、位置 A、D、G のみで明線が観察された。位置 D、G で観察された明線について、隣り合うスリットを通過する光の光路差をそれぞれ求めなさい。
- [3] 光源 2 からの光を回折格子へ線分 AO の延長線上から垂直に入射させる。入射光の真空中における波長を 380 nm 以上 480 nm 以下の範囲で連続的に変化させるところ、スクリーン上を移動する明線が観察された。位置 B、C、…、H の中から明線が通過する位置をすべて選び、アルファベット順で答えなさい。位置 B、C、…、H のいずれの位置においても明線が通過しない場合は「なし」と答えなさい。
- [4] 光源 1 からの光を回折格子へ線分 FO の延長線上から入射させるところ、位置 A、B、…、H のうちの複数の位置に明線が観察された。これらの位置をすべて選び、アルファベット順で答えなさい。

[B] 図 2 は、可視光を用いたヤングの干渉実験の概略図である。S は光源、W はスクリーン、P は W に映った像であり、W に干渉縞が生じているところを表している。ただし、分かりやすいように明るい部分を黒く表示した(以下、図中の枠内の黒い部分が明るい部分を表す)。光は波でも

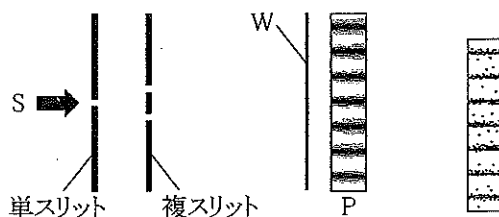
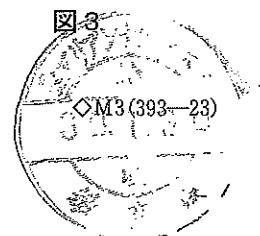


図 2



あり、同時に粒子（光子）でもあるので、光による干渉縞は原理的には微細な光点の集合である。このことを誇張して表すと図2の干渉縞は図3のように表すことができる。黒い点は1個の光子が当たったことを示している。ただし、図3は模式的な図であり、実際には、光点の大きさは非常に小さく、光点の数は非常に多い。一方、ド・ブROIが提唱したように粒子である電子は波の性質をもつため、Sとして光源の代わりに十分に加速した電子（加速電子）を照射できる電子線源を用いてヤングの実験をすれば、電子の波による干渉縞が観察できるはずである。実際、照射する加速電子の個数が数百個程度のヤングの実験では電子波の干渉はほとんど確認できないが、十分に多量の加速電子を照射したヤングの実験でははっきりした干渉縞が観察できる。以下の各問に答えなさい。ただし、プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、真空中の光速を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。

- [5] Sを電子線源とし、両スリットに専用のスリットを、またWに専用の検出器を設置して、十分に多量の加速電子を用いたヤングの実験を行った。専用の検出器は、1個の電子が衝突するとその位置に1個の光点を表示する。Wに観察されると考えられるもっとも適当な像を【選択肢】(あ)～(く)から一つ選び、その記号を答えなさい。ただし、解答の過程は示さなくてよい。
- [6] Sを真空中における波長が550 nmの可視光を出す光源とし、真空中でヤングの実験を行った。Sの出力を $5.4 \times 10^{-13} \text{ J/s}$ とし、1秒間に照射される光子の個数を有効数字2けたで求めなさい。
- [7] 1個の光子も検出可能なほど感度の高い検出器をWに設置して[6]の実験を行った。この検出器は、1個の光子が衝突するとその位置に1個の光点を表示する。実験開始から十数 μ 秒後にWに観察されると考えられるもっとも適当な像を【選択肢】(あ)～(く)から一つ選び、その記号を答えなさい。ただし、解答の過程は示さなくてよい。

【選択肢】

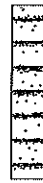
(あ) スクリーン一面に均一に無数の光点が観察される。



(い) 光点は全体に広がっているが、中央付近がもっとも多い。



(う) 非常に多くの光点から成る干渉縞が観察される。



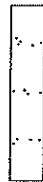
(え) 光点は中央付近に集中している。



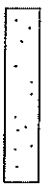
(お) 単スリットと複スリットを結んだ延長線上に非常に多くの光点が観察される。



(か) (え)の位置と(お)の位置に少ない光点が観察される。



(き) 光点はまばらで規則性はほとんど確認できない。



(く) (き)と似た分布だが、ぼやけた像がまばらに観察される。



3 箔検電器に以下の操作を行い、表1のように各操作後の箔の状態、箔検電器の金属板の電荷、箔検電器全体の電荷（箔の電荷と金属板の電荷の合計）についてまとめる。表1の各欄にふさわしい記号を表1の指示にしたがって答えなさい。

〔A〕箔検電器を帯電していない状態にして以下の操作をそれぞれ行った。

- 操作 A-1 負の帯電体を金属板に十分に近づけた。
- 操作 A-2 A-1 の状態で、帯電体と金属板との間に十分に面積が広い板（帯電していない絶縁体）を図4に示すように配置した。
- 操作 A-3 A-1 の状態で、帯電体と金属板との間に十分に面積が広い板（導体）を図4に示すように配置し、さらに板（導体）を接地した。
- 操作 A-4 A-1 の状態で、帯電体を金属板から十分に遠ざけた後に金属板を接地して、正の帯電体を金属板に十分に近づけた。

〔B〕箔検電器を負に帯電させた状態で以下の操作をそれぞれ行った。

- 操作 B-1 負の帯電体を、金属板の電荷が0Cとなるまで金属板に近づけた。
- 操作 B-2 B-1 の状態から、帯電体を金属板へさらに近づけた。

〔C〕箔検電器を負に帯電させて、正の帯電体を金属板に十分に近づけたところ、箔は開いていた。

この状態から以下の操作をそれぞれ行った。

- 操作 C-1 帯電体の位置を保ちながら金属板を接地した。
- 操作 C-2 C-1 の状態で接地をはずした後に、帯電体を金属板から十分に遠ざけた。

〔D〕箔検電器を帯電していない状態にして以下の操作をそれぞれ行った。

- 操作 D-1 図5に示すように箔検電器を導体の箱に入れて、この箱を電池の一極に、導体の棒を電池の+極に接続して、棒を箱に近づけた。
- 操作 D-2 図6に示すように金属板を電池の一極に、導体の棒を電池の+極に接続して、棒を金属板に接触させた。

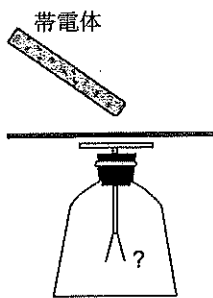


図4

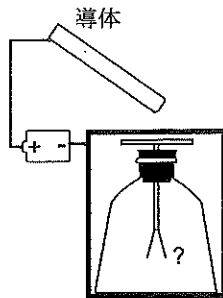


図5

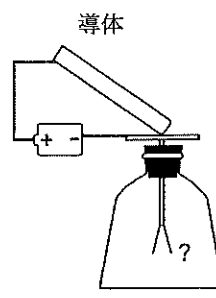
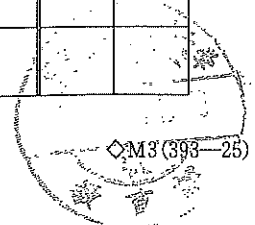


図6

表1

		操 作											
		A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2		
箔の状態	開いている場合は○ 閉じている場合は× と記入しなさい。												
金属板の電荷	正の場合は+ 負の場合は- ゼロの場合は0 と記入しなさい。												
箔検電器全体の電荷													



4 図7のように、高さ h 、幅 w の密度が一樣な直方体を粗い板 A の上に載せ、板 A を水平面からゆっくりと傾けたところ、直方体は板 A 上を滑ることなく、板 A と水平面との角度（板 A の傾斜角）が β になったときに、直方体底面の下端を軸（回転軸 P）として直方体が転倒した。直方体の質量を M 、重力加速度の大きさを g 、直方体と板 A の間の静止摩擦係数を μ とする。図7は直方体の重心を通る断面を図示している。以下の各問に答えなさい。

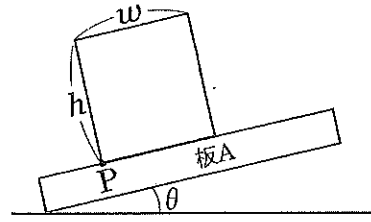


図7

- [1] 板 A の傾斜角が θ ($< \beta$) のとき、直方体に加わる静止摩擦力の大きさを求めなさい。
- [2] 板 A の傾斜角が θ ($< \beta$) のとき、回転軸 P のまわりの直方体の重力のモーメントを h 、 w 、 M 、 g 、 θ を用いて表しなさい。ただし、反時計まわりを力のモーメントの正方向とする。
- [3] 角度 β の正接 ($\tan \beta$) を h と w を用いて表しなさい。

次に図8のように、板 A と物体 B を互いに離れないように接着し、板 A の上に直方体を置いた。図8は直方体の重心を通る断面を図示している。物体 B の上部の突起に軽いばねの一端を固定し、他端に質量 m の小球を取り付けた。小球を直方体上面の端点 Q の位置にあるとき、ばねは自然の長さになった。ばねの両端、点 Q、直方体の重心は図8の平面内にあるものとし、直方体上面は滑らかで小球との間に摩擦はないものとする。図9のように、板 A を水平面からゆっくりと傾けたところ、直方体は板 A の傾斜角が β になっても板 A に対して静止したままであった。さらに板 A を傾けたところ、直方体は板 A 上を滑ることなく傾斜角が φ ($> \beta$) になったときに回転軸 P のまわりに回転し、底面が板 A から離れた。ただし、このとき小球は直方体上面から離れず、力のつり合いの位置を保ちつつ動くものとする。図9は直方体の重心を通る断面を図示している。

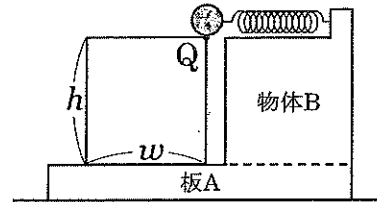


図8

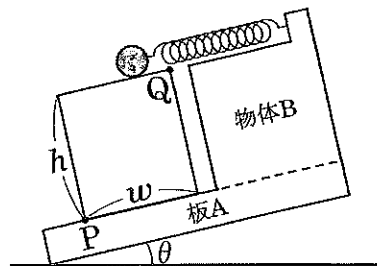
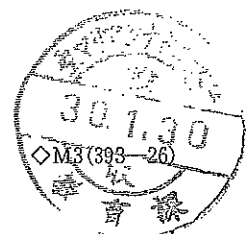


図9

- [4] 板 A の傾斜角が θ ($< \varphi$) のとき、直方体が板 A から受ける最大摩擦力の大きさを求めなさい。
- [5] 板 A の傾斜角が φ になったときの、ばねの自然の長さからの伸びを求めなさい。



5 滑らかに動くピストンがついたシリンダーの中に単原子分子理想気体（以下、「気体」とよぶ）が封入されている。初期状態として、ピストンは固定され、気体はある決まった温度の状態にある。シリンダーとピストンの熱容量は無視できるものとして、以下の各問に答えなさい。ただし、以下で「温度」は絶対温度を意味し、「物体」はその熱容量が定積変化における気体の熱容量の 2 倍に等しい性質をもつものとする。

- [1] 気体の比熱比を答えなさい。ただし、比熱比は定圧モル比熱を定積モル比熱で割った値である。
- [2] 初期状態に対し、初期状態における気体の温度の 2 倍に等しい温度をもつ物体をシリンダーに接触させ、物体と気体との間のみ熱が伝わるようにした。十分に時間が経過した後、気体と物体の温度が等しくなった。このときの温度は、初期状態における気体の温度の何倍であるかを求めなさい。
- [3] 気体が外部との熱のやりとりを行わないようにし、初期状態からピストンを押して気体の体積を初期状態の $1/8$ に圧縮した。十分に時間が経過した後、気体の温度は初期状態での温度の何倍になったかを求めなさい。ただし、この変化では、気体の圧力、体積、比熱比の間に「(圧力) \times (体積)^(比熱比) = (一定)」の関係があるものとする。
- [4] [3] の変化の後、初期状態における気体の温度と等しい温度をもつ物体をシリンダーに接触させ、物体と気体との間のみ熱が伝わるようにし、かつ気体の圧力を一定に保つようにピストンを動かした。十分に時間が経過した後、気体と物体の温度が等しくなった。このときの温度は、初期状態における気体の温度の何倍であるかを求めなさい。
- [5] [4] の変化により、気体の体積は初期状態における気体の体積の何倍になったかを求めなさい。
- [6] [4] の変化の後、ピストンを固定し、物体と気体との間に熱が伝わるようにした状態のまま、物体を一定時間冷却した。冷却を止めてから十分に時間が経過した後、気体と物体の温度がともに初期状態における気体の温度に等しくなった。このときの気体の圧力は初期状態における気体の圧力の何倍であるかを求めなさい。

以上

