

【問 2】 物理	受験 番号	
----------	----------	--

(1) 以下の問に答えなさい。

(a) 以下の文章の (ア) から (コ) に入る適切な数式を、解答欄に記入しなさい。

2つの質点 A、B が弾性散乱する現象を考える。A、B の質量はそれぞれ m 、 M で、 xy 平面内で散乱するものとする。はじめに、図 1-1(a)に示すように、空間に固定された座標系（実験室系）において、A、B が弾性散乱するとき、散乱前の A は x 軸方向の正の向きに速さ v で等速運動しており、B は静止している。実験室系での A と B の重心の速さは、 m 、 M 、 v のうち必要なものを用いて (ア) と表される。

次に図 1-1(b)に示すように、A と B の重心と共に移動する座標系（重心系）から観測したときの A、B の運動について考えると、A、B の散乱直前の速さは、 m 、 M 、 v のうち必要なものを用いて、それぞれ (イ)、(ウ) である。そして、重心系での弾性散乱は、重心が静止したままで、運動エネルギーが保存される。

重心系での A の散乱角を θ とするとき、B は A の反対方向に散乱し、散乱後の A、B の速さは、 m 、 M 、 v のうち必要なものを用いて、それぞれ (エ)、(オ) である。また、重心系での A の x 、 y 方向の速度成分の大きさは、 m 、 M 、 v 、 θ のうち必要なものを用いて、それぞれ (カ)、(キ) となる。

B の質量 M が $M = 2m$ のとき、実験室系での散乱後の A、B の運動エネルギーを m 、 v 、 θ を用いて表すと、それぞれ (ク)、(ケ) となる。さらに、実験室系の散乱角 ϕ の正接 $\tan\phi$ は、重心系での散乱角 θ を用いて、 $\tan\phi =$ (コ) と表すことができる。

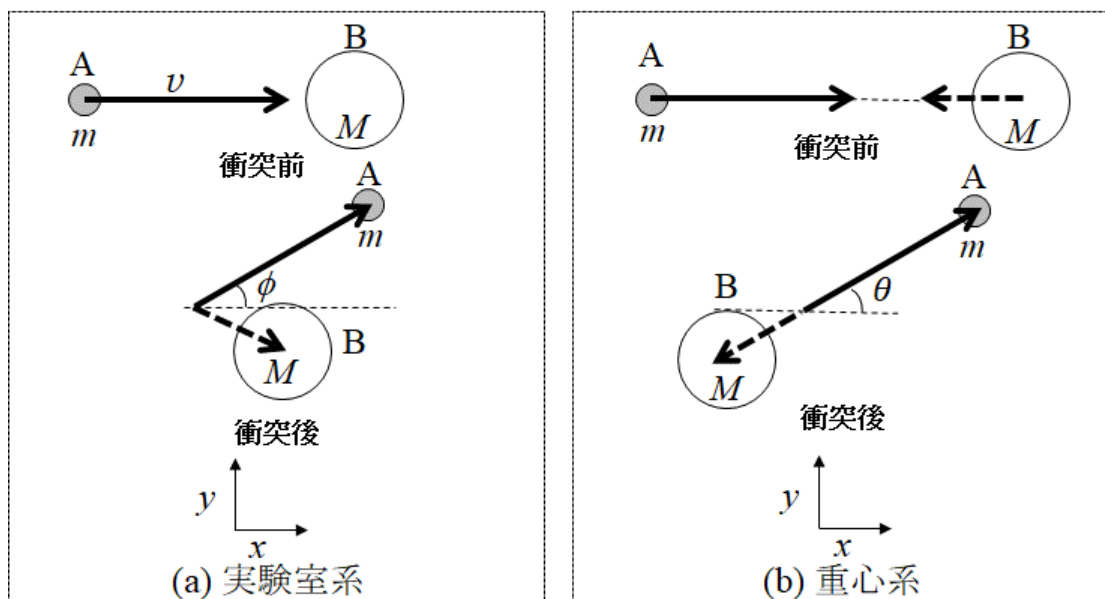


図 1-1

- (b) 図 1-2 に示すような、質量 m 、 $2m$ の 2 つの物体が、同一直線上を一定の速さ $2v$ 、 v ($v > 0$) で運動し、2 つの物体が衝突して一体となった。2 つの物体を質点とみなし、衝突前後で運動量が保存されるとき、衝突による系全体の運動エネルギーの変化量を求めなさい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

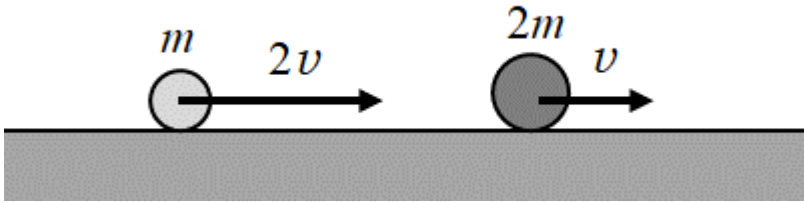


図 1-2

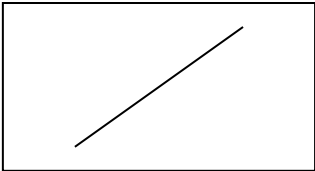
以下に記入すること

(1)

(a)

ア	イ
ウ	エ
オ	カ
キ	ク
ケ	コ

【裏面につづく】



以下に記入すること

(b)

以下に記入すること

【問 2】 物理	受験 番号	
----------	----------	--

(2) 以下の問に答えなさい。なお、気体定数を R とする。

- (a) 以下の文章中の (ア) から (シ) に入る適切な語句、数字、数式を答えなさい。解答欄に選択肢がある場合には、適切なものに○をつけなさい。解答欄にそれぞれ（語句）、（数字）、（数式）、（選択）と記載してあるので、その指示に従うこと。

温度が一定で体積が変化した時に理想気体の内部エネルギーがどのように変化するかを考える。ある体系の内部エネルギーを U とし、体系に外からなされた微小な仕事を $d'W$ 、外からの微小な熱を $d'Q$ とする。このとき、内部エネルギーの微小変化量である dU は $d'W$ と $d'Q$ を用いて (ア) で表される。ここで d と d' は、 W と Q が状態量で (イ) ことと U が状態量で (ウ) ことを区別するために用いている。準静的過程において、圧力を p 、体積の微小変化量を dV とすると、 $d'W$ は p と dV を用いて (エ) と表される。また、エントロピーを S とすると、 $d'Q$ は dS と温度 T を用いて (オ) で表される。(エ) と (オ) を用いると、 dU は (カ) と表される。この式を、 T を固定して V で偏微分すると、 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \text{(キ)}$ となる。マクスウェルの関係式 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$ を用いると、 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \text{(ク)}$ となる。1モルの理想気体では $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \text{(ケ)}$ であるから、 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \text{(コ)}$ となる。すなわち、理想気体において、温度が一定の時の内部エネルギーは体積に (サ)。実際の気体については、密度を (シ) すると $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ が (コ) に近づくことが知られている。

- (b) 体積 V_1 の1モルの理想気体を体積が V_2 になるまで等温膨張させた。このときの理想気体のエントロピー変化量を答えなさい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。
- (c) ヘルムホルツの自由エネルギーを F とする。 F の微分形は、 $dF = -SdT - pdV$ で与えられる。この式を用いて、マクスウェルの関係式 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$ の導出過程を示しなさい。

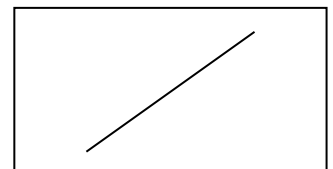
以下に記入すること

(2)

(a)

ア (数式)	イ (選択) ある ・ ない
ウ (選択) ある ・ ない	エ (数式)
オ (数式)	カ (数式)
キ (数式)	ク (数式)
ケ (数式)	コ (数字)
サ (語句)	シ (選択) 高く ・ 低く

【裏面につづく】



以下に記入すること

(b)

以下に記入すること

(c)

【問 2】 物理	受験 番号	
----------	----------	--

(3) 以下の問に答えなさい。

- (a) 図 3-1 に示すような符号は異なるが同じ電荷量 q を持ち、距離 d だけ離れて位置する真空中に置かれた電荷対を考える。真空の誘電率を ϵ_0 として以下の問に答えなさい。

- (i) このような電荷対のことを電気双極子と呼ぶが、この電気双極子モーメント \mathbf{p} の向きと大きさ p を答えなさい。

- (ii) 図 3-1 で示されるような二つの電荷の中心を結ぶ軸（双極子軸）上にある、電荷間の中心から距離 z だけ離れた点 P_1 について考える。 $z \gg d$ のとき、この電荷対が点 P_1 に作る電場の大きさ E を、電気双極子モーメントの大きさ p を用いて表しなさい。このとき、 $d/z \ll 1$ となるので、 d/z の 2 次以上の項は無視してよい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

- (iii) 図 3-1 で示されるような双極子軸に対して角度 θ で電荷間の中心から距離 r だけ離れた点 P_2 について考える。 $r \gg d$ のとき、この電荷対による点 P_2 の電位 V を、電気双極子モーメントの大きさ p を用いて表しなさい。ここで、無限遠を基準面とし、基準面での電位を 0 として答えなさい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

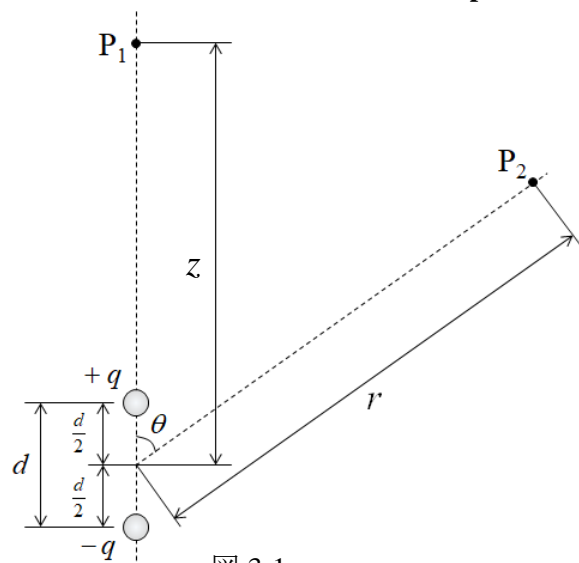


図 3-1

- (b) 図 3-2 に示すように、長さ L 、幅 W 、厚さ d の銅片に、電流 i を y 方向正の向きに流す。この銅片は紙面手前から奥向きの一様磁場 \mathbf{B} （大きさ B ）中に置かれている。電荷キャリアは自由電子でその電荷量を $-e$ 、数密度を n とする。ここで、 e は素電荷量である。以下の問に答えなさい。

- (i) 電荷キャリアである自由電子は銅片中をドリフト速度 v_d でドリフトする。このドリフト速度 v_d を、 L 、 W 、 d 、 i 、 B 、 e 、 n のうち必要なものを用いて表しなさい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。
- (ii) このとき、銅片の左右両側の面（ x 軸に垂直な面）の間には電圧 V が発生する。電荷キャリアの数密度 n を、 L 、 W 、 d 、 i 、 B 、 e 、 V のうち必要なものを用いて表しなさい。なお、答えだけでなく導出過程も示しなさい。

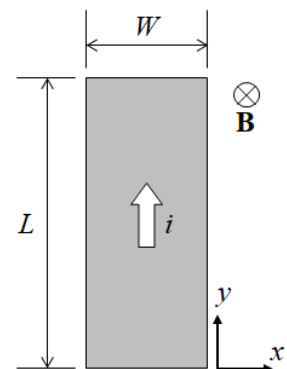


図 3-2

以下に記入すること

(3)

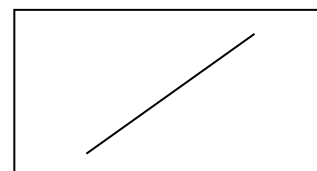
(a)

(i)

向き	
大きさ p	

(ii)

【裏面につづく】



以下に記入すること

(iii)

以下に記入すること

(b)

(i)

(ii)