

九州大学理学部物理学科（物理学コース）

令和3年度 第3年次編入試験

物理学

令和2年9月12日（土） 9:00-12:00

注意事項

- (1) 試験開始の合図があるまでこの冊子を開かないこと。
- (2) 問題冊子は表紙を含めて7ページで、問題は [I] から [IV] までである。
- (3) 全ての解答用紙に、受験番号と氏名を記入すること。
- (4) 解答は指定された解答用紙に記入すること。特に指定のない場合には、裏面を使って解答してもよい。下書きには、問題冊子の余白や裏面などを利用し、解答用紙の余白には下書きをしないこと。
- (5) 解答用紙に書ききれない場合や、用紙を取り替えたい場合は、試験監督に申し出ること。
- (6) 問題冊子は持ち帰ってよい。

[I] (80点)

[I-1] 図 I-1 のように、傾角 α の斜面と半径 R の円弧状の曲面を点 S で滑らかに接続した坂道を転がる円柱の運動について考える。円柱は、斜面上で最下点 P から重心の高さが R となる点 Q に、そっと置かれるものとする。円柱は一様で、質量を M 、半径を a 、重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

まず、斜面上を滑らず、角速度 ω で転がる円柱について考える。

- (1) 斜面を下る方向に x 軸を取る。円柱の重心の並進運動に関する x 方向の運動方程式を記せ。ただし、接触点における円柱が受ける摩擦力の大きさを F_f とする。
- (2) 円柱の中心軸の周りの慣性モーメント I を求めよ。また、円柱の角速度 ω と求めた慣性モーメント I を用いて、重心の周りの回転の運動方程式を記せ。
- (3) 円柱の x 方向の加速度と摩擦力の大きさ F_f を求めよ。
- (4) 円柱と斜面との間の静摩擦係数を μ_0 とするとき、円柱が滑らないために必要な斜面の傾角 α の条件を求めよ。

次に、斜面を転がり終えて、曲面上を転がる円柱について考える。ここで、円柱と曲面との間の静摩擦係数は、斜面と同じ μ_0 とする。

- (5) 曲面の最下点 P に円柱が到達したときの角速度 ω を求めよ。
- (6) 円柱が転がりながら、曲面上を上昇しているときに、円柱に作用しているすべての力を矢印を使って図示せよ。
- (7) 円柱が曲面上を滑らずに上ることができる角度 θ の範囲を求めよ。ここで、 θ は最下点 P からの円弧の角度とする。

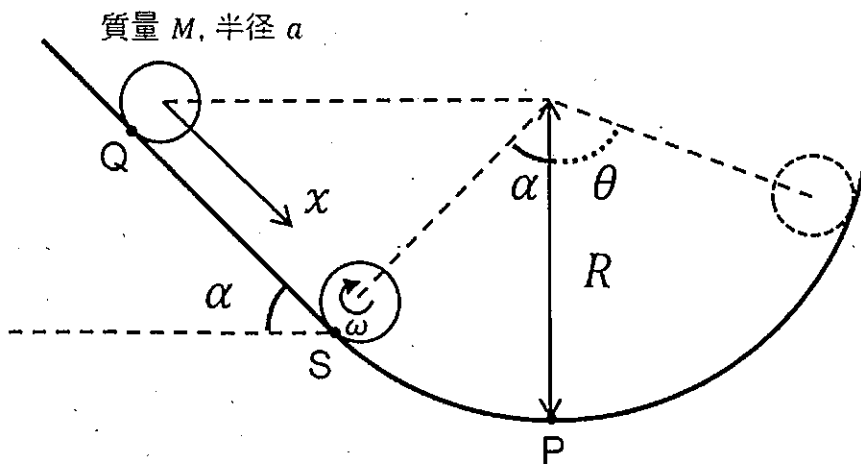


図 I-1

[I-2] 図 I-2 のように、質量がいずれも m の質点 A, B, C が同一直線上に並んでいる。ここで、質点 B と C は、自然長 l 、バネ定数 k のバネで接続されて静止している。A が速度 v_0 で B と弾性衝突した瞬間から、B と C からなる質点系は動き出す。運動は一次元で、バネの質量、床との摩擦や空気抵抗等は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 質点 A が質点 B に衝突した直後の質点 B の速度を求めよ。
- (2) B と C からなる質点系の重心の衝突直後の速度と重心の運動エネルギーを求めよ。また、これらの値は、衝突後は変化しない理由を記せ。
- (3) 衝突後のバネの長さを x とするとき、B と C からなる質点系の相対運動の運動方程式を求めよ。
- (4) 前問の運動方程式を解き、 x の時間変化を求めよ。ここで、衝突の瞬間を $t = 0$ とする。
- (5) バネに蓄えられているポテンシャルエネルギーの時間変化を求めよ。
- (6) B と C からなる質点系の重心に対する相対運動の運動エネルギーの時間変化を求めよ。
- (7) これまでに求めた各エネルギーを用いて、衝突の前後において力学的エネルギーが保存されていることを確認せよ。

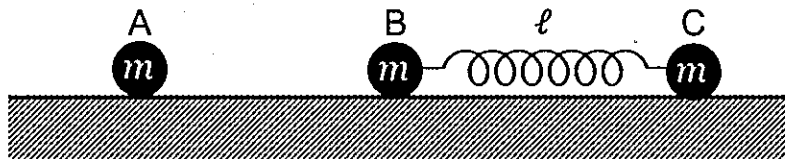


図 I-2

[II] (80点) 以下では、真空の誘電率を ϵ_0 、透磁率を μ_0 として解答せよ。

[II-1] 図 II-1 (a) のように、真空中の $0 \leq x \leq 2d$ の領域に、電荷密度 ρ の電荷が一様に分布している。なお、この電荷は、 yz 方向に無限に広がっているものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) x の全範囲における電場 E の大きさと向きを求めよ。また、 $-4d < x < 4d$ における、電場 E の x, y, z 成分で恒等的にゼロでない成分を答え、その成分の x に対する変化をグラフに図示せよ。
- (2) x の全範囲における電位 V を求めよ。ただし、 $x = 0$ で、 $V = 0$ とする。また、 $-4d < x < 4d$ における、 V の x に対する変化をグラフに図示せよ。
- (3) この電荷が、 y 軸正方向に速度 v で動いているとする。この電荷が作る電流密度 j を求めよ。
- (4) この電流による x の全範囲における磁束密度 B の大きさと向きを求めよ。

次に、図 II-1 (b) のように、電流が $x = 0$ で y 軸正方向に、 $x = 2d$ で y 軸負方向に流れている場合を考える。なお、 z 方向の単位長さあたりの電流を J とする。

- (5) x の全範囲における磁束密度 B の大きさと向きを求めよ。
- (6) yz 面の単位面積当たりの磁場のエネルギー ϵ を J を用いて表せ。

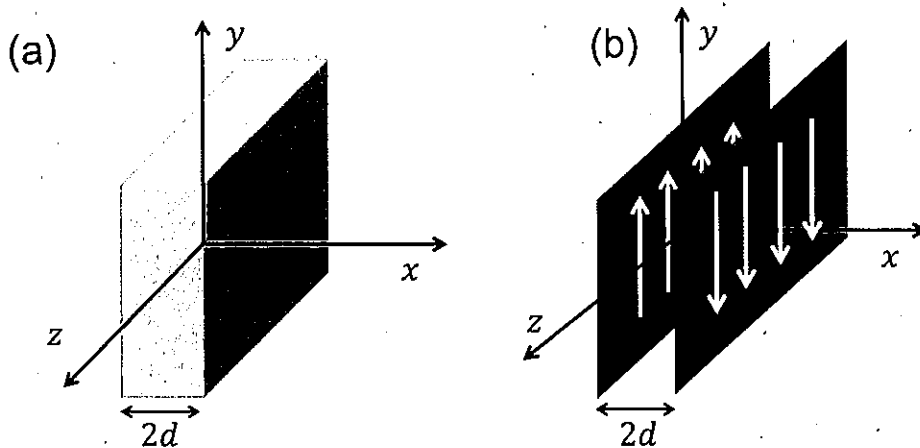


図 II-1

[II-2]

- (1) 電磁誘導の法則は、電場を E 、磁束密度を B とすると、以下の式で記述できる。

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

この式の意味を説明せよ。

- (2) 前問の方程式から電磁誘導に関する B と E の微分方程式を導け。
- (3) 問 (1) で記載した式を用いて、静電場における任意の 2 点間の電位差 $\Delta\phi$ は、2 点の位置だけで決まることを示せ。
- (4) 図 2 のように、 N 個の抵抗 R_i ($i = 1 \sim N$) と M 個の直流電源 V_j ($j = 1 \sim M$) を、直列に接続して作った閉回路に流れる電流 I を求めよ。
- (5) 半径 a の無限長導体中を、時間変化しない電流 I が均一に流れている。この場合に、導体の内外に発生する磁束密度の大きさ B を求め、 B の r に対する変化をグラフに図示せよ。ここで、 r は中心軸からの距離である。
- (6) 導体内部の単位長さあたり磁気エネルギー ϵ_L を I を用いて表せ。また、この導体の単位長さあたりの内部インダクタンス L を求めよ。ここで、導体の透磁率は μ_0 とする。

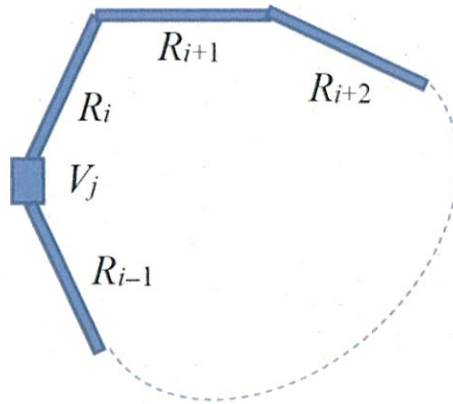


図 II-2

[III] (40点)

図 III のように、長さ ℓ の紐につるされた質量 m のおもりを N 個配置し、それらをバネ定数 k のバネで連結した系を考える。ここで、おもりは質点として取り扱い、 n 番目の質点の変位 x_n は、 $|x_n| \ll \ell$ とする。1 番目の質点と壁の間、および N 番目の質点と壁の間も、バネ定数 k のバネで接続されており、すべての質点が静止しているとき、各バネの長さは自然長と一致しているとする。紐やバネの質量は無視できるとして、以下の問いに答えよ。ここで、重力加速度を g とする。

- (1) $2 \leq n \leq N - 1$ において、 n 番目の質点の運動方程式を書け。
- (2) 得られた運動方程式において、 $x_n = A_n \cos(\omega t + \phi)$ が解となるためには、次の条件式を満たす必要がある。

$$\omega^2 A_n = \omega_0^2 A_n + \omega_M^2 (2A_n - A_{n+1} - A_{n-1})$$

ここで、 A_n は n 番目の質点の振動振幅である。 ω_0 と ω_M を ℓ, m, N, k, n, g の中から必要なものを用いて表せ。

- (3) $n = 1$, 及び $n = N$ の質点については、壁と質点の間のバネの壁側の端が固定されているが、 $n = 0$, 及び $n = N + 1$ に質量 m の質点を仮想的に配置することで、問 (1) と同一の運動方程式で記述できる。その場合、問 (2) と同様の解を満たすためには、 A_0 , 及び A_{N+1} に、どのような値が要求されるかを述べよ。
- (4) 問 (2) の条件式は、新たな実数 p を使って $A_n = A \sin np$ と仮定することで、以下の固有振動数の関係式が得られることを示せ。

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 4\omega_M^2 \sin^2 \frac{p}{2}$$

- (5) 問 (3) と問 (4) の結果を用いて、異なる振動パターンを形成する p の値をすべて記載し、系の固有振動数の最小値と最大値を求めよ。

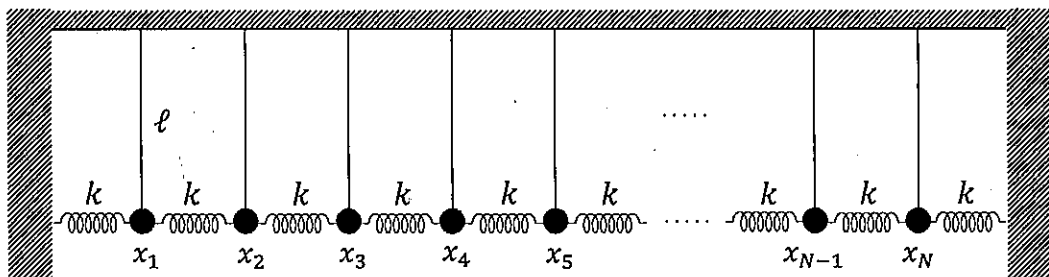


図 III

[IV] (40点)

図 IV のような P - V 図で表現される熱力学サイクルについて考える。ここで、各状態変化は全て準静的且つ可逆的で、 $A \rightarrow B$ は断熱過程、 $B \rightarrow C$ は定積過程、 $C \rightarrow D$ は等圧過程、 $D \rightarrow E$ は断熱過程、 $E \rightarrow A$ は定積過程である。サイクル中の作動ガスは単原子分子で、理想気体の状態方程式に従うとし、各状態における圧力、体積、温度を、それぞれ、 P_i, V_i, T_i とする。ここで、 $i = A, B, \dots$, である。以下の問いに答えよ。

- (1) 準静的過程において、温度が T から $T + dT$ に、体積が V から $V + dV$ に変化した場合の単原子分子の理想気体のエントロピー変化 dS を気体のモル数 n 、気体定数 R を用いて表せ。
- (2) A の状態のエントロピー S_A を用いて、各状態におけるエントロピーの値を記載せよ。ここで、解答には、 P_i, V_i, T_i 、及び気体のモル数 n 、気体定数 R を用いて良い。また、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ の状態変化に対応する T - S 図の略図を描け。
- (3) 各状態変化に対応する気体が外部に行う仕事 ($W_{AB}, W_{BC}, W_{CD}, W_{DE}, W_{EA}$) を T_i 、及び気体のモル数 n 、気体定数 R を用いて表せ。また、この熱サイクルを一周させた際に、気体が外部に行う総仕事量 ΔW を求めよ。
- (4) 各状態変化に対応する系の熱量変化 ($Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD}, Q_{DE}, Q_{EA}$) を T_i 及び気体のモル数 n 、気体定数 R を用いて表せ。ここで、気体が受け取る熱量を正、気体が放出する熱量を負とする。また、この熱サイクルを一周させた際に、外部から加えられた総熱量 ΔQ を求め、問 (3) の結果と一致することを示せ。
- (5) $T_B \sim T_E$ を T_A 、及び圧縮比 $\varepsilon = V_A/V_B$ 、締切比 $\sigma = V_D/V_C$ 、爆発比 $\rho = P_C/P_B$ を用いて表せ。
- (6) 熱サイクルを一周させた際、気体が吸収した熱量の絶対値を $|Q_{in}|$ 、気体が外部に放出した熱量の絶対値を $|Q_{out}|$ とすると、熱サイクルの効率 η は、以下の式で求めることができる。

$$\eta = \frac{|Q_{in}| - |Q_{out}|}{|Q_{in}|} = 1 - \frac{|Q_{out}|}{|Q_{in}|}$$

効率 η を、圧縮比 ε 、締切比 σ 、爆発比 ρ を用いて表せ。

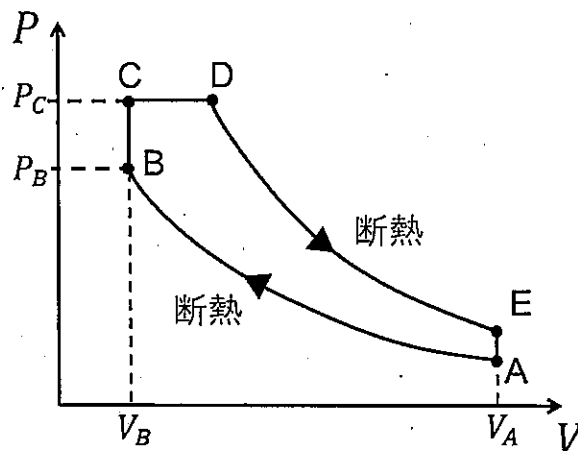


図 IV

九州大学理学部物理学科（物理学コース）

令和3年度 第3年次編入試験

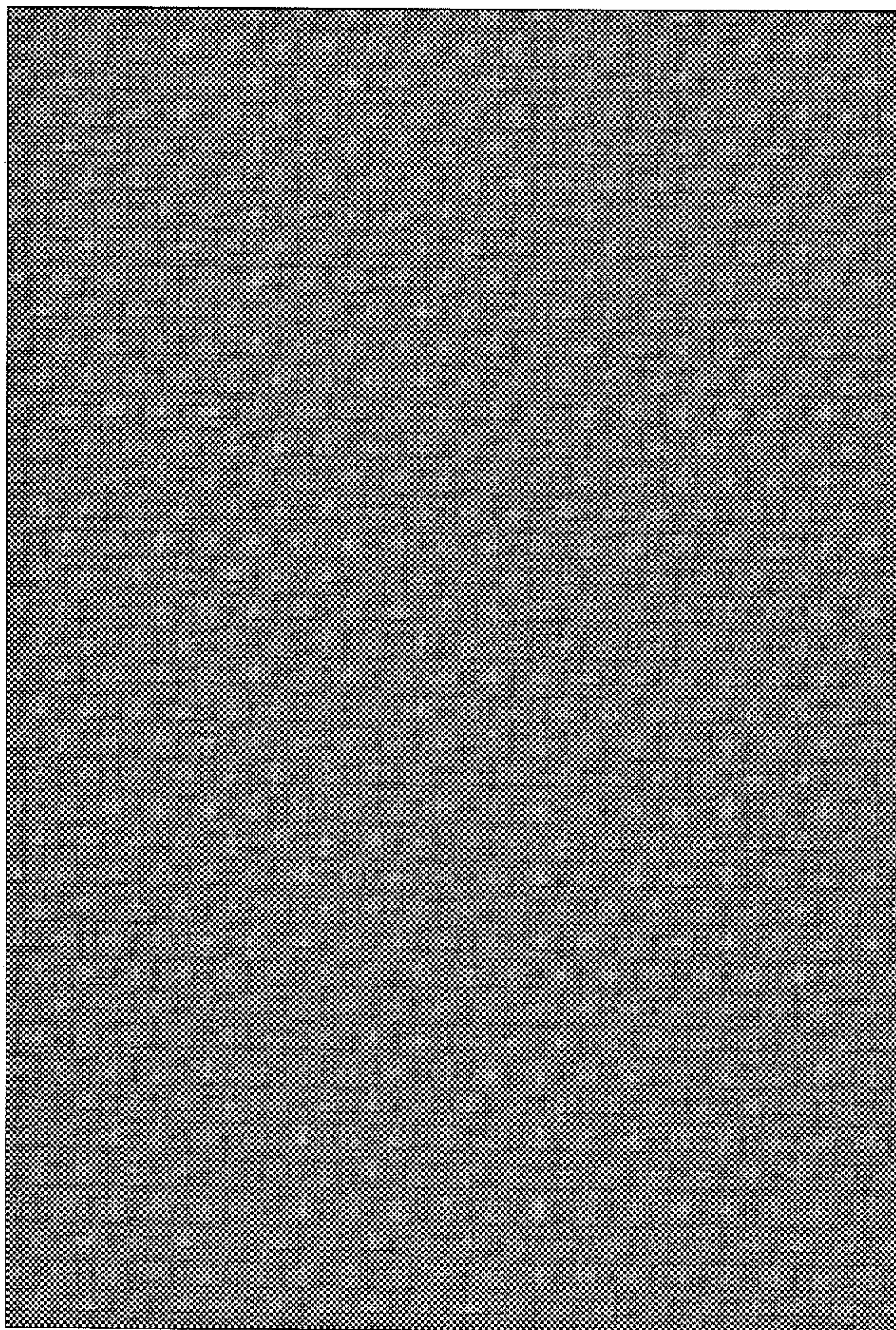
英語

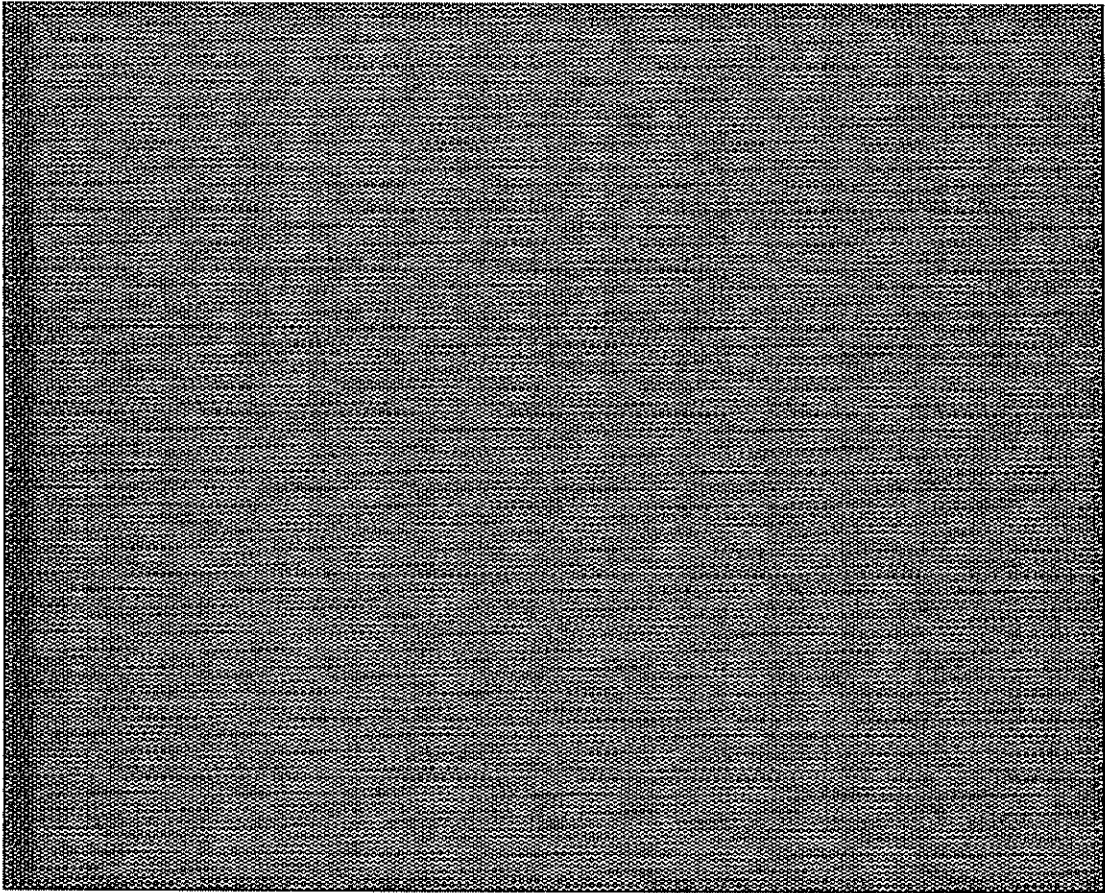
令和2年9月12日（土） 12:15-13:00

注意事項

- (1) 辞書は使用できない。
- (2) 試験開始の合図があるまでこの冊子を開かないこと。
- (3) 問題冊子は表紙を含めて3ページである。
- (4) 解答用紙には、受験番号と氏名を記入すること。
- (5) 解答は指定された解答用紙に記入すること。特に指定のない場合には、裏面を使って解答してもよい。下書きには、問題冊子の余白や裏面などを利用し、解答用紙の余白には下書きをしないこと。
- (6) 解答用紙に書ききれない場合や、用紙を取り替えたい場合は、試験監督に申し出ること。
- (7) 問題冊子は持ち帰ってよい。

英語 (60点)





(出典 Richard P. Feynman, "Meaning of it all")

[1] Science が意味するものは主に 3 つあると著者は考える。その 3 つを挙げよ。日本語で解答すること。

[2] (1)~(4)の英文を訳せ。

[3] (5)の英文の意味するところを日本語で説明せよ。

[4] 科学の発展を追求しながら、同時に守るべき科学者の倫理について、自身の考えを英語で70語以内で述べなさい。