

物理問題集

グラトコバ、チャディコフ

1996年 モスクワ ナウカ・物理数学書籍

目次

序文

第1章 分子物理と熱力学の基礎

1節 分子運動論の基礎

2節 理想気体の法則

3節 熱力学の基礎

4節 蒸気の性質 沸騰 大気中の水蒸気

5節 液体の性質

6節 固体の性質 溶解と結晶化 変形

7節 物体の熱膨張

第2章 電磁気学の基礎

8節 荷電粒子の相互作用 荷電の保存則 クーロンの法則

9節 電場

10節 導体の電気容量 コンデンサ コンデンサの電場のエネルギー

11節 定電流 金属中の電流 定電流の法則

12節 仕事 仕事率 電流の熱作用

13節 電界液中の電流 検電器と蓄電器

14節 気体と真空中の電流

15節 半導体中の電流

16節 電磁気

17節 電磁誘導

第3章 振動と波

18節 力学的振動と波 音波

19節 交流

20節 電磁場振動と波

第4章 光学 特殊相対性理論の基礎

21節 光の速度 光の本質

22節 光の反射 平面鏡と球面鏡

23節 光の屈折 レンズ 視角と光学装置

24節 測光法

25節 光の波動的性質で説明される現象

26節 放射とスペクトル レントゲン放射

27節 電磁放射の量子的性質で説明される現象

28節 特殊相対性理論の基礎

第5章 原子物理と原子核

29節 原子の構造

30節 核物理

第6章 天文学に関する一般的知識

31節 天文学上の問題

解答

付録

表

数学公式

第1章 分子物理学と熱力学の基礎

例題1 一酸化炭素 CO 150 g 中の分子数と原子数を求めよ。平常状態における 1 m^3 の気体中の分子数、その密度、平均分子間距離を算出せよ。

例題2 水 9.0 g 中の物質の量を求めよ。1 分子の質量を求めよ。水分子どうしは密着した球と見なし、1 分子当たりの体積、分子の中心間の平均距離を評価せよ。その値は、平常条件での水蒸気分子間の距離の何倍小さいか。

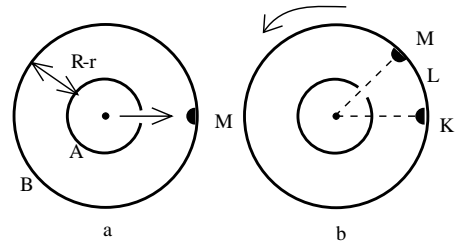


図 例題3

例題3 分子の熱運動の速さを定めるため、シュテルンは図3に示したような断面の装置を用いた。中心軸が一致している半径 6.0 mm の円筒Aと半径 12.0 mm の円筒Bの中心軸に張られた銀メッキされた白金導線に電流を流す。円筒Aの表面から蒸発した銀原子は円筒Aの隙間から真空中に飛び出し、円筒Bの内表面に薄膜(M部分に銀の帯)を作る(図aを参照)。2つの円筒が同じ周波数で回転しているとき、銀原子は隙間から円筒Bの内表面に飛行し、時間 t 経過後、最後には原子はKの部分に溜まるようになった(図b参照)。M部とK部の間隔 $l = 7.6\text{ mm}$ 、回転周波数 $= 47/\text{s}$ とし、銀原子の平均速度を算出せよ。

例題4 炭素と水素が結合してできている炭化水素気体がある。その分子 3×10^{26} 個が質量 13 kg である。この分子質量と化学式を書き下せ。この化合物にはどれだけの質量の炭素と水素があるか。

例題5 窒素分子が平常状態にある。1秒間で、各分子は平均 7.55×10^9 回他の分子と衝突するものと見なし、窒素分子の平均算術速度値、分子の平均自由行程長、分子の平均有効断面積を求めよ。求める分子の平均算術速度とは分子の速度の平均2次で最もあり得る値のことである。

モル数。分子と原子の質量と大きさ。

1. 1 90 kg の銅鋳物中に含まれている物質のモル数を求めよ。
1. 2 200 モルの鉛を含んでいる厚さ 2 mm の鉛板の面積と質量を求めよ。
1. 3 CH_4 32 kg は何モルか。
1. 4 平常条件下での 50 cm^3 の酸素、窒素、ヘリウムのモル数を求めよ。
1. 5 平常条件下で密度が 1.29 kg/m^3 の空気のモル数を求めよ。
1. 6 異なった物質の同じ質量に含まれているモル数は同じか？
1. 7 酸素分子、炭酸ガス分子、水蒸気分子、アンモニア分子の質量を求めよ。
1. 8 一酸化炭素分子の質量を求めよ。平常条件下での一酸化炭素 1.2 m^3 中の分子数を求めよ。
1. 9 平常条件下での、窒素 1 g 、炭酸ガス 1 g 、酸素 1 m^3 中の分子数を求めよ。
1. 10 平常条件下でのヘリウム 1 g 、完全に分離した窒素 1 g 、アルゴン 1 cm^3 中の原子数を求めよ。
1. 11 分離した酸素の半分の 1 g 中にどれだけの粒子数があるか。

1.12 1 g の水、1 g の硫酸、 1 cm^3 の硫酸 ($= 1800 \text{ kg/m}^3$)、直径 0.1 mm の 4 の水滴、に包含されている分子数を求めよ。

1.13 水面 1 cm^2 当たり毎秒 1.54×10^{17} 個の分子が蒸発し、水の表面積が 100 cm^2 であるとして、水 60 g の蒸発に要する時間を求めよ。

1.14 大きさ $4 \times 5 \times 2.7 \text{ m}$ の室内に、質量 $20 \mu\text{g}$ のヨウ素の結晶が気化している。室内の空気 1 cm^3 当たりにどれだけのヨウ素分子があるか。ヨウ素は一様に分布しているものとする。

1.15 体積 0.050 mm^3 の油滴が水面上で広がり、 600 cm^2 の膜を形成する。膜の厚さを 2 分子層が形成しているものと仮定し、油の分子の断面積を計算せよ。

1.16 脂肪酸の長さを計測するため、ベンゾールに溶かしたパルミチン酸の溶液を 5 滴容器の水面に垂らす。溶液は広がり、面積 $0.23 \times 0.14 \text{ m}$ の膜を形成する。ベンゾールは素早く気化し、パルミチン酸の分子が、末端の酸基同士を鎖合することにより、水面に垂直に配位するようになる。溶液 1000 滴当たりの質量が 0.0033 kg 、パルミチン酸は溶質 996 g に 4 g 溶け込んでいるとして、パルミチン酸分子の長さを計算せよ。パルミチン酸の密度は 850 kg/m^3 。

1.17 分子の大きさに関する理解を得るために、アルコールに溶け込んだオレイン酸 0.15% の溶液を利用する。水面上へのこの溶液の滴下により、水面に垂直に分子が配位し、単分子膜が形成される。溶液 1 滴の質量は $13.5 \mu\text{g}$ 、形成される膜の面積は 105 cm^2 、オレイン酸の密度は 895 kg/m^3 として、オレイン酸分子の長さを算出せよ。分子の断面積を円形として、1 分子当たりのその面積も評価せよ。

1.18 水銀 1 分子の体積とその直径を算出せよ。分子はお互いに接触し密に積み重なっているものとする。密度 $= 1.36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ 。

1.19 厚さ $10 \mu\text{m}$ の金箔は何原子層でできているか。

1.20 長さ 1.6 m 、断面積 12 mm^2 、温度 20°C の鉄棒内に包含されている分子数を求めよ。

1.21 窒素のモル質量は 0.028 kg/mol 。平常条件下で、その気体の密度が 0.72 kg/m^3 、窒素気体の密度が 1.25 kg/m^3 のとき、未知気体の分子質量を求めよ。

分子運動。拡散。ブラウン運動

1.22 分子の運動はどのような現象を立証するか。

1.23 どのような因子が、拡散過程に影響を与えるか。

1.24 同じ物質中で拡散が起こることができるか。もしそうだとすれば、どのような条件下でか。

1.25 高度の違いでの空気の密度を平均化するように、なぜ空気の拡散が起こらないのか。

1.26 気体が入っている密閉された円筒の一端を加熱する。円筒内の気体の濃度は均一か。

1.27 大気中に空気より軽い石炭ガス、メタン、その他の気体が存在することを観測するための装置の一部が図解してある。空気で満たされた多孔性円筒 A が水銀が満たされた U 字管 B と連結している。水銀スイッチ C はある一定の出来事の時、電気ブザー D の回路を閉じる。装置の動作を説明せよ。

よ。

1.28 無重力下では、燃焼が継続するために必要な条件である空気の対流が存在しない。しかし、この場合でも、蠟燭やマッチは少しの時間ではあるが、球状の弱く明るくない炎を出して燃える。この現象を説明せよ。

1.29 砂糖工場において、原料の最初の加工ではどのような現象が用いられるのか。

1.30 鉄の置換法 - 柔らかい鉄製品の表面に強靱な表層を得る方法。この置換法はどのような物理現象に基礎をおいているのか。

1.31 ルチヒン法による半田付けでは、鉄の表面を清浄し、それらの間に銅箔を挟み、電気炉で1080℃まで加熱する。この半田付け方法は、通常の銅半田付けより極めて簡単である。何故なのか説明せよ。

1.32 鉄片を他の鉄に溶接するために、炉の炎で白熱するまで加熱し、金敷の上に置いた鉄の上にそれを重ね、鍛造用ハンマーの強烈な打撃を加える。この様にすると、しっかりとした接合が何故得られるのか説明せよ。

1.33 冷えている鉄の上に鉄部品を重ねて置き、強烈な圧縮を加えると、鉄の部品を他の鉄に溶接することができる。この様にして、しっかりとした接合が何故できるのか説明せよ。

1.34 浸透性を開示する装置が図1.34に描かれている。浸透性とは、溶質が半透膜を経由して溶液中にゆっくりとしみこんでいく現象である。図で示している場合において、細管中の液面の高さはどのように変化するか。これらの場合において、多孔性膜（内側容器の底）はどのような働きをするか。

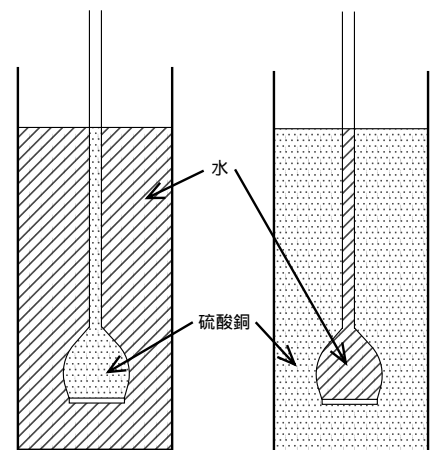


図1.34

1.35 液体と気体中で、ブラウン運動は何故ランダムな運動をするのか。粒子の大きさが小さくなればなるほどブラウン運動が顕著になるのは何故か。粒子がどのような大きさでもブラウン運動を観察することができるか。

1.36 気体中の分子の速さは大きく、1秒間に数百メートルである。それにも関わらず、こぼされた香水の香りが何倍も遅く伝搬するのは何故か。

1.37 通常では、ブラウン運動は折れ線で描写される。それをブラウン運動する粒子の軌跡と呼ぶことができるであろうか。

分子の速さ・シュテルンの実験

1.38 例題3中の図に、分子の熱速度の直接測定に使われる装置が示されている。半径6.0mmの円筒A、半径120mmの円筒Bは中心軸を一致しており、この中心軸に沿って張られた銀メッキされた白金線に電流を流す。その表面から蒸発した銀原子は真空中の中を円筒Aの隙間を通して飛行し、円筒Bの内側表面に薄層である銀の帯を形成する。装置が円筒の軸の周りに高速で回転しているときには、帯の中心位置Mが弧MK=1°だけ離れたKの位置に帯が移動する。導線の温度が117

3 Kで l が7.6 mm、円筒の回転周波数が47 / sの時、銀原子の平均速度を計算せよ。

1.39 前問の条件の下で記述したシュテルンの実験の実演において、装置は周波数50 / sで回転し、銀の帯の変移は9.5 mmであった。原子の算術平均速度、二乗平均速度、最もありそうな速度、はどうか。

1.40 シュテルンの実験(1.38)において、銀の帯の変移が7.6 mmである。帯の厚さの最大はどれだけ位置を移動したか。

1.41 シュテルンの実験の実行において、ある温度において原子の速さが異なるために、銀の帯が少し不鮮明となる。帯の各場所における銀の薄膜層の厚さを定めるのに、一定の間隔の速さを持った原子の全原子数に対する割合を計算することができる。次の表が測定結果である。この表をもとに、1173 Kにおける銀原子の速度の分配図を作成する。速度の間隔幅が小さくなるにつれて、図の様子はどのように変化するか。頭痛の長方形を上部で制限している折れ線は何を意味しているのか。

速度間隔 (m/s)	分子の割合 (%)
0 - 100	1.4
100 - 200	8.1
200 - 300	16.7
300 - 400	21.5
400 - 500	20.3
500 - 600	15.1
600 - 700	9.2
700 - 800	4.8
800 - 900	2.0
900 - 1000	0.6
1000以上	0.3

表 1.41

1.42 シュテルンの実験において、銀薄膜の曖昧さは何を示しているのか。

1.43 シュテルンの実験において銀導線は827 °Cまで加熱された。銀薄膜の平均移動幅が9.5 mmとなるためには、円筒をどれだけの周波数で回転する必要があるか。円筒の半径は6.0 mm、120 mmである(例題3の図参照)。

1.44 シュテルンの実験で、円筒の直径が19 mm、285 mmで、周波数50 / sで回転させ、どの帯の平均移動幅が8.4 mmとなるためには、銅導線を何度まで加熱しなければならないか。

1.45 温度27 °Cにおける窒素分子の平均二乗速度を求めよ。

1.46 ヘリウムと酸素が同じ温度にある。酸素分子の平均二乗速度が500 m / sである。ヘリウムの平均二乗速度を求めよ。

分子の相互作用力・物体の内部エネルギー

1.47 固体が固有の形状と体積を有するのは何故か。

1.48 分子間の引力と斥力は同時に作用するのかそれとも順々に作用するのか。

1.49 固体や液体と異なって、気体は一定の体積を有していない。何故か。

1.50 液体と固体は圧縮率が小さい。これは何によって説明できるか。

1.51 念入りに磨かれた断面を持つ計測用板を重ねると、密着する。一方、割れた茶碗は破片を組み立てても元に戻すことができない。何故か。

1.52 固体中の分子の引力及び斥力である分子間力がどのような関係の時、釣り合いの位置が相対的に振動するか。

1.53 2つの分子の中心間の距離に対する引力と斥力の関係図を教科書から利用することで、グラフ中のどの部分でフックの法則が満たされているか示せ。

1.54 融解温度にある固体状態にある鉄と液体状態にある鉄とで、分子の相互作用力は同じか。

1.55 熱力学において、内部エネルギーを粒子の相互作用のポテンシャルエネルギーと分子の運動エネルギーの総和として定め、化学、核及びその他の成分を考慮してしないのは何故か。矛盾はないのか。

1.56 温度の上昇に伴って、分子が存在する準位がどのように変化するか、そしてポテンシャル最小値に相対的に分子間の平均相対距離を、図中のグラフを用いて説明せよ。

1.57 明け放れた通風窓がある部屋で、電気ストーブにスイッチを入れた。空気の温度は T_1 から T_2 まで上昇した。室内の空気の内部エネルギーは変化したか。

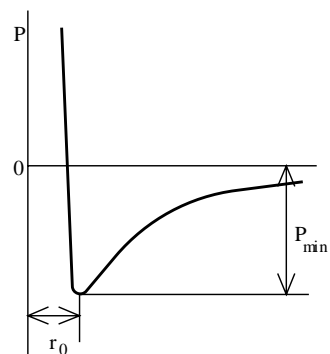


図 1.56

分子の平均自由行程

1.58 平常条件下での二酸化炭素 CO_2 分子の平均自由行程長を求めよ。各々の分子は 1 秒間当たり 9.05×10^9 回衝突するものとする。

1.59 分子線方法により気体分子や蒸気の自由行程長を直接に測定する装置を図解している。密閉容器 B 中に配置された赤熱した銀球 A の表面から蒸発する分子の一部は遮蔽板を通過し細いビームとなる。容器中にある希薄気体の分子と衝突し、銀分子は散乱される。スクリーン S_1 上には n_1 個の分子が堆積し、 S_1 を遠ざけた S_2 上には同じ時間長で n_2 個の分子が堆積する。 n_1 / n_2 の関係はスクリーン S_1 と S_2 上に形成された銀薄膜の厚さの計測とスクリーンの重さを計量することで算出することができる。自由行程長の算出のために、関係式

$$= L p' / (M \times \ln(n_1 / n_2) \cdot p)$$

を用いる。ここで、 $M = 2.302$ は常用対数から自然対数への変換係数、 n_1 と n_2 は各々のスクリーン上の銀分子数、 p' は実験中の気体の圧力、 p は所定の気体の圧力である。実験は圧力 0.8 Pa 、距離 $L = 3.0 \text{ mm}$ 、 $n_1 / n_2 = 1.2$ として行われたものとして、平常条件下での銀分子の求めよ。

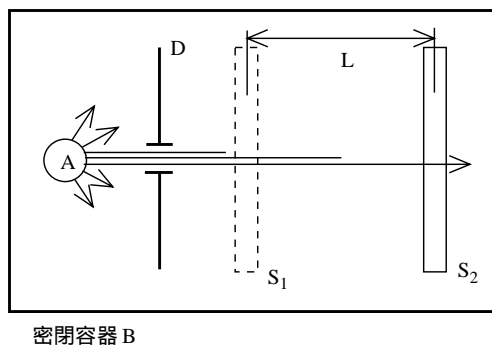


図 1.59

1.60 平常条件下での水素分子の平均自由行程長は $1.12 \times 10^{-7} \text{ m}$ である。同じ条件下で窒素分子ではそれは $6.0 \times 10^{-8} \text{ m}$ 。水素と窒素において、1 秒間当たりに衝突する個数を求めよ。それらの分子の有効直径を見いだせ。

1.61 平常条件下で、炭素分子の平均自由行程長は $6.50 \times 10^{-8} \text{ m}$ 、分子の平均速度は 425.1 m/s である。1 秒間当たりの 1 分子の衝突回数を求めよ。

1.62 平常条件下で、窒素分子の平均自由行程長は $6.00 \times 10^{-8} \text{ m}$ 、1 秒間当たりの 1 分子の平均衝突回数は $7.55 \times 10^9 / \text{s}$ である。1 分子の平均運動量を求めよ。

1.63 平常条件下で窒素分子は1秒間当たり 7.55×10^9 回の衝突を行う。窒素分子の有効直径を求めよ。

1.64 平常条件下で、水素分子の平均自由行程長は 1.12×10^{-7} m。水素分子の有効直径を求めよ。

1.65 同じ条件下で、酸素分子と二酸化炭素分子の平均自由行程長は各々、 6.5×10^{-8} m、 4.2×10^{-8} mである。これらの有効直径はどのような関係にあるか。

第2節 理想気体の法則

例題6 圧力 124 kPa の酸素は 1.6 kg/m^3 の密度を有している。単位体積当たりの分子数（濃度）、分子の前進運動の平均運動エネルギー、分子の平均2乗速度、分子の温度を求めよ。

例題7 温度 300 K 、圧力 160 kPa の酸素の密度を求めよ。この条件下での体積 200 m^3 の酸素の質量を計算せよ。

例題8 温度 27° 、圧力 203 kPa で 120 L を占める空気が加熱を受けた。以下のような加熱での気体の温度を求めよ。

- 1) 等積で、圧力が 259 kPa まで増加する。
- 2) 等圧で、体積が 150 L まで増加する。気体の質量を求めよ。

例題9 円筒ピストンポンプの作動体積は 0.5 L で、大気圧の空気の入った体積 3.0 L のバルーンに接続している。1) ポンプをコンプレッサポンプとして、2) 排気ポンプとして、ポンプを5回作動させたときのバルーン内の空気の圧力を求めよ。

例題10 ピストンのついているシリンダ内に1モルの気体が入っている。その状態変化は閉じたサイクルをなし、次のように変化する。1 - 2部分；温度 T_1 から T_2 までの上昇において、一定の圧力 P_2 で気体の体積が増加する。2 - 3部分；一定の温度のもとで P_3 までの圧力の変化で体積が増加する。3 - 4部分；一定体積のもとで圧力が減少する。4 - 1部分；一定温度のもとで体積が減少し、気体は最初の状態に戻る。問題している値 P_1 、 P_3 、 T_1 、 T_2 を用いて、 P - T 座標系で閉サイクルのグラフを作り、どのような地点で気体の体積の最大と最小が対応しているか求めよ。 P - T 座標系での過程のグラフを利用し、 V - T と P - V 座標系のグラフを作れ。 V - T 座標系において、等圧線はいつもその初期値を経由するか。

理想気体。圧力

2.1 気体において分子の相互作用力を無視できるのはどのような条件でか。

2.2 気体の分子の体積の総和はいつでも無視することができるか。

2.3 どのような気体が理想気体に最も近いか。

2.4 シリンダに閉じこめられ、ピストンの重さで条件付けられている気体の圧力を求めよ。ピストンの質量は 0.48 kg 、その直径は 12 cm 。

2.5 トリチェリのパイプにおいて高さ 760 mm の水銀柱はどれだけの圧力を発生しているか。

2.6 トリチェリのパイプ（問題2.5参照）を水平から 60° 傾けたとき、水銀柱の長さはどれだけ変化するか。

2.7 深さ15 mの淡水での圧力は幾らか。大気圧は通常である。

2.8 通常の大気圧より3倍大きい圧力は海ではどれだけの深さであるか。

2.9 皿形気圧計のパイプの上端が秤の天秤棒の肩の部分に固定されている(図参照)。他方の肩から吊されている皿には釣り合いのために錘がおかれている。それらが釣り合うということはどういうことか。大気圧が変化したならば、天秤の釣り合いは壊れるか。

2.10 人工衛星軌道を飛行している飛行船の室内には大気圧の空気が保持されている。飛行船内にある物体には重さはないのは室内の空気でも同じであるはず。これについて説明せよ。

2.11 無重力のもとで、水銀気圧計とアネロイド気圧計はどの様に振る舞うであろうか。この条件下で、水面計での読みとり値に信頼性があるか。

2.12 大気圧が133.3 Pa減少するためには地球表面から垂直にどれだけ移動しなければならないか。150 m上昇すると気圧はどれだけ減少するか。温度及び空気の高さによる変化は無視する。

2.13 高度に対する大気圧はグラフ(図参照)のごとくであり、式 $P = P_0 \times 10^{-0.06h}$ で計算できる。ここで、 P_0 は海水面での大気圧、 h は海水面からの高さ(キロメートルで)、 $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$ として、高度1 km、2 km、2.2 km、での圧力を求めよ。高さによる空気の温度変化は無視する。

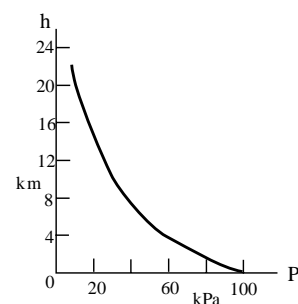


図2.13

2.14 直径10 cmのマグデブルグ半球に常圧の大気が及ぼす力を計算せよ。排気の後半球内に残っている空気圧は2.67 kPaとする。

2.15 気体の入ったバルーンに取り付けた気圧計が480 kPaを示している。大気圧は常圧である。気体の圧力を求めよ。

2.16 蒸気缶の蒸気圧を気圧計で測ると1.1 MPであり、予防弁で覆われた開口の面積は400 mm²である。蒸気がそれに及ぼす力を求めよ。

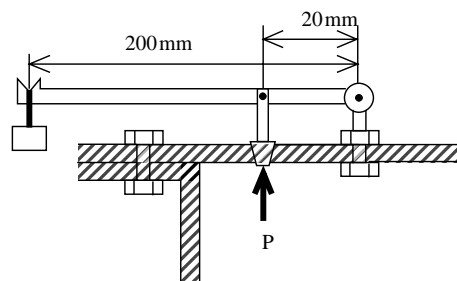


図2.17

2.17 予防弁の梃子部分に質量2 kgの錘が吊されているとき、蒸気缶内部の蒸気圧を求めよ。弁を覆っている穴の面積は2.5 cm²である。梃子の支点から穴の中心までの間隔、錘の吊している点までの間隔は各々20 mm、200 mmである。

気体の分子運動論の基本式

2.18 その分子の平均2乗速度が 2550 m/s で、分子濃度が $3.6 \cdot 10^{25}\text{ m}^{-3}$ である時、水素の圧力を求めよ。

2.19 分子濃度 $2.65 \cdot 10^{25}\text{ m}^{-3}$ において圧力が 98.8 kPa のとき、気体分子の平均運動エネルギーは幾らか。

2.20 酸素の圧力が 152 kPa 、平均2乗速度が 545 m/s である。酸素の密度を求めよ。

2.21 圧力 152 kPa のもとで 1.8 kg/m^3 の密度を有する気体分子の平均2乗速度を求めよ。

2.22 閉じたバルーン内にあるアセチレン分子の平均2乗速度は 500 m/s 、密度は 1.8 kg/m^3 である。1分子の運動エネルギー、全分子の総エネルギーを計算せよ。その質量が 7.2 kg として、気体の圧力を求めよ。

2.23 容積 1 L のバルーンの中に、圧力 200 kPa の窒素が入っている。この気体 1 cm^3 には 4.3×10^{19} 個の分子があることが知られているとする。1分子の運動エネルギー、全分子の全エネルギー、気体の密度を計算せよ。

2.24 温度 330 K で圧力 120 kPa の気体が、温度 240 K で 96 kPa となり、その時体積は不変である。温度 273 K 、 373 K 、 180 K での気体の圧力を計算せよ。この気体の圧力が 80 kPa の時の温度を見いだせ。

2.25 温度 60° で 2.4×10^{26} 個の分子を含む気体 1 m^3 の圧力を求めよ。

2.26 圧力が 10 kPa のとき、どのような温度で 1 cm^3 の気体が 1.0×10^{19} この分子を含んでいるか。体積と温度を変えないで、分子の半分をより重い気体で置き換えると圧力はどのように変化するか。

2.27 実験室条件下で、高真空、即ち $1.33 \times 10^{-9}\text{ Pa}$ の低圧を作り出す。この時、 1 m^3 、 1 cm^3 の気体中にどれだけの分子が残っているか。温度は 293 K とする。

2.28 ブラウン運動の観察のために、アルコールに墨（密度 $1.2 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ ）の溶液を入れる。直径 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ と $1\text{ }\mu\text{m}$ の粒子の速さを求めよ。速さ 0.5 m/s の粒子の直径はいかほどか。温度は全てにおいて 18° とする。

2.29 蒸着方法により、金属鏡の表面を銀の層で覆う。銀原子の圧力が 0.105 Pa 、原子の運動エネルギーの平均が $2.25 \times 10^{-20}\text{ J}$ である時、この層の厚さはどれだけの速さ z/t で成長するか。

2.30 金属表面を厚さ $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の金で覆うためにはどれだけの時間が必要か。平均2乗速度 580 m/s において、金の分子は 0.102 Pa の圧力を作り出しているものとする。

2.31 2つの同型の熱絶縁された容器が栓で分離され、両方とも酸素が満たされている。最初の容器の分子密度は2番目の容器の3倍である。最初の容器内の分子の平均2乗速度は 400 m/s 、2番目ののは 600 m/s である。栓を空けた後、分子の平均2乗速度はいくらとなるか。容器の温度はいくらとなるか。

2.32 閉じた容器内の分子の平均2乗速度が50%増加すると、圧力はどれだけ変化するか。

2.33 球状容器の直径は10cm、気体分子の有効直径は 2.5×10^{-10} mとする。これらの分子が容器内で衝突しないためには、分子数の最大値は幾らか。

気体の状態方程式。クライペロン・メンデーレフ方程式

2.34 圧力972kPa、温度47℃の気体が体積800Lを占めている。温度が285℃で体積が855Lを占めるようになると圧力はどうか。

2.35 圧力610kPa、温度300Kの気体が体積546Lを占めている。圧力453kPa、温度-23℃の時の体積を求めよ。

2.36 圧力720kPa、温度288Kの気体の体積が0.6m³である。圧力が255kPa、体積1.6m³となった時、温度は幾らか。

2.37 圧力126kPa、温度295Kの気体が体積500Lを占める。定常条件下での気体の体積を求めよ。

2.38 圧力32kPa、温度290Kの気体が体積87Lを占めている。定常条件下での体積を求めよ。

2.39 40Lの酸素は温度103℃でどれだけの圧力となるか。定常条件下でこの気体の体積は13.65Lである。気体の質量は何に等しいか。

2.40 定常条件下で、気体が体積380Lを占めている。体積210Lを占めながら、どれだけの温度でこの気体の圧力は150kPaとなるか。定常条件下で、その気体の密度が0.09kg/m³としたとき、気体の質量は幾らか。

2.41 気象用ゾンデの打ち上げ前に、その内部の気体の圧力は17℃で116kPaに等しい。大気の測定した温度と気圧が各々-30℃、85kPaである高度で、気球の体積はどれだけ変化しているか。気球の外殻の弾性で作られる圧力是不変で5kPaとし、気体の温度は周りの温度と等しいと見なす。

2.42 体積150L、温度228K、圧力150kPaである空気の重さは幾らか。

2.43 1サイクルで大気圧の空気35cm³を排気するポンプを用いて、容積0.45Lの容器を満たす。そこで空気の温度は286K、大気圧である。ポンプを20回作動させたとき、容器内の圧力はいかほどか。容器内空気の温度は325℃まで上昇したものとする。周りの空気の温度は286Kで、大気圧は101.3kPaとする。

2.44 排気ポンプはピストンの1行程で大気圧で22℃の空気を2L排気する。その後、ポンプは最初大気圧である容積0.15m³の貯蔵タンクに空気を押し出す。貯蔵タンクの圧力が405.2kPa、温度300Kとなるには、ピストンは何往復しなければならないか。

2.45 可変容積の小部屋が温度300K、常圧の空気を保持している。その容積を半分にするためには277Kの水中にどれだけの深さまで沈めなければならないか。

2.46 温度-47℃、気圧30.4kPaの高度8.7kmにおける空気の密度を求めよ。

2.47 気圧 93.3 kPa 、温度 250 K の二酸化炭素の密度、圧力 0.6 MPa 、温度 293 K の水素の密度を求めよ。

2.48 石炭ガスがガス管から圧力 405.2 kPa 、温度 300 K で供給される。パイプの断面積は 8 cm^2 で 20 分間に 8.4 kg 流れる。パイプを流れる気体の速さを求めよ。

2.49 空気を排気した半田つけした容器内に 9 g の水が入っている。球が壊れるためには何度まで上げればよいか。球の壁は圧力 4.06 MPa まで耐えることができる、容積は 1.2 L とする。

2.50 容積 40 L のバルーンに入っている温度 288 K 、圧力 5.07 MPa の酸化炭素の質量を求めよ。

2.51 容積 25.6 L のバルーンに圧力 3.55 MP の窒素 1.04 kg が入っている。気体の温度を求めよ。

2.52 気体定数測定実験のため、容積 5 L の容器に乾いている氷を 0.88 g 入れ、その後密閉する（図参照）。温度 295 K の水銀気圧計の差（二酸化炭素の分圧）が 73.6 mm となった。実験の結果を基に気体定数を求めよ。

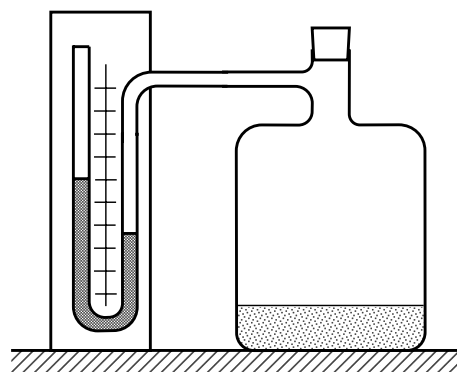


図 2.52

2.53 内燃エンジンのシリンダー内において、圧縮前の燃料の圧力が 75.98 kPa 、その温度が 315 K である。圧縮の最後には気圧は 851 kPa となる。圧縮比 6.3 。圧縮の最終時点における燃料の温度を求めよ。

2.54 ディーゼルエンジンのシリンダー内の空気の圧力は圧縮前には 86.1 kPa 、圧縮後は 3.44 MPa 、温度は各々 323 K 、 923 K である。圧縮比を求めよ。得られた結果の数値を前問の値と比較し、特に異なる原理について説明せよ。

2.55 バルーン内に圧力 40 MPa 、温度 300 K の理想気体が入っている。その後、バルーン内に質量の $3/5$ が残るように気体を放出する。この時温度が 240 K まで下がった。バルーン内の残っている気体の圧力を求めよ。

2.56 容積 30 L のバルーン内に、圧力 7.29 MPa 、温度 264 K の酸素が入っている。バルーンから気体の一部を放出した後、バルーン内の圧力は 2.94 MPa 、温度は 290 K となった。どれだけの酸素が放出されたか。

2.57 室内の温度を 17 から 25 まで上昇させると、室内の空気分子はどれだけ変化するか。大気圧は一定にとどまり 100 kPa である。部屋の容積は 60 m^3 。

2.58 一端を閉じられたガラス管を水中に垂直に開放端から深さ h まで沈める。ガラス管の内部から完全に水を追い出すためには、管内の空気を何度まで加熱すればよいか。大気圧は P_0 。沈める前の管内の空気の温度は T 。水の密度は ρ 。

2.59 基底の面積 S の垂直に配置されたシリンダー内に温度 T の空気が入っている。基底から高さ h の所に、質量 m_1 のピストンが位置している。ピストンの上に質量 m_2 の錘を置くとシリンダー内の空気の温度が T_2 まで上昇したとすると、ピストンはどれだけ動いたか。大気圧は常圧で P_0 。ピストンの摩擦は無視する。

2.60 大気と連結している容積 500 m^3 の気球に温度 250 の加熱した空気を満たす。周りの空気の温度は 7 。外殻の質量は 80 kg 。常圧下で気球の上昇力を求めよ。

2.61 ヘリウムを満たすことができる気球は大気と連結している。気球が 2.45 kN の荷物を持ち上げることができるためには、気球にどれだけのヘリウムを充填しなければならないか。気球の容積はいかほどか。ヘリウムと空気の温度は 293 K 。大気圧は常圧。外殻の質量は無視する。

2.62 潜水艦を浮上させるために、潜水艦の水の入ったタンクに圧縮空気を吹き込む。吹き込みは水深 25 m で行い、その時の空気の温度は周りの水温 277 K とする。容積 30 L のバルーンからタンクに空気を送り込むとして、タンクからどれだけの水を排出しなければならないか。温度 285 K 下でバルーン内の空気の圧力は 14.7 MPa 、海水の密度は 1030 kg/m^3 。

2.63 一端の閉じられたガラス管に水素が入って、長さ 10 cm の水銀柱で閉じこめられている。最初、開放端を上にして垂直に配置されている。水素ガスの気温は 16 である。開放端が下になるように管を回転し 39 までのガスの加熱で水銀柱が 7 cm 移動したとすれば、水素ガスの長さはいかほどになるか。大気圧は 100 kPa に等しいとする。

2.64 図に示しているように、垂直に配置された管中に空気が入り、水銀柱で塞がれている。管中の空気の温度は T_1 。大気圧 P_0 は高さ l の水銀柱を垂直に作り出す圧力と等しい。水銀が流れ出すためには、管内の空気を最低何度 $T_{2\text{min}}$ まで加熱する必要があるか。全ての水銀が流れ出した瞬間の気体の温度 T_2 はいかほどか。

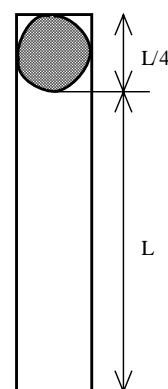


図 2.64

2.65 湿った空気と乾いた空気が同じ温度 T 、同じ圧力 P の 1 m^3 の容器内に入っている。空気の質量はどのような場合により大きくなるか。蒸気分圧 $P' = P/2$ である。

2.66 温度 279 で 14.5 g の水素が入っている容積 285 L のタンクに空気がしみ込む。タンク内が同じ温度で、圧力 92.7 kPa となるものとして、この空気の質量を見いだせ。

2.67 ポンペに温度 T 、圧力 P の2種の気体の混合気体が入っている。気体の質量と分子量は各々 m_1, M_1, m_2, M_2 である。混合気体の密度と平均分子量を求めよ。

2.68 その65%が解離している酸素 28 g の圧力はいかほどか。気体は体積 450 L 、温度 47 であるとする。

2.69 容積 0.5 dm^3 の閉じた容器内に 1.2 g の気体となったヨウ素 I_2 が入っている。温度 927 で容器内の圧力は 98 kPa 。その条件の下で、ヨウ素分子の解離度を求めよ。

2.70 問題 2.68 の条件の下で、炭酸ガスの圧力を求めよ。 ($2\text{ CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{ CO} + \text{O}_2$)

等積過程

2.71 電球の球には 50 kPa まで減圧した窒素ガスが充填されている。何故か。

2.72 医療用瓶を使用する前に、その内部にアルコールで湿った熱い綿タンポンを入れる。何故か。

2.73 閉じたボンベ内に温度295 K、圧力105 kPaの気体が入っている。気体は110 Kまで暖められたとしたら、圧力はどうなるか。ボンベの膨張は無視できるほど小さい。

2.74 温度294 K、圧力810 kPaのボンベに気体が入っている。気体の圧力は1.12 MPaの時温度は幾らか。

2.75 電球に圧力50.7 kPa、温度17 °Cの窒素が充填されている。気体の温度が630 Kに達したとき、加熱電球内の圧力は幾らか。

2.76 33 °Cで、ボンベの圧力計が243 kPaを示している。気圧計が202.6 kPaを指示するのは何度か。-66 °Cでは主力計はどれだけの値を指示するか。大気圧 $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$ とする。

2.77 283.6 kPaを指示しているボンベに取り付けている気圧計が、85 Kの温度低下により、指示値が101.3 kPaだけ低下した。両方の場合において温度を求めよ。大気圧は $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$ である。

2.78 ボンベ内の気体を300 Kから360 Kまで加熱する。その時圧力は810.4 kPaだけぞうかした。ボンベ内の最初の状態での気体の圧力を求めよ。ボンベの膨張は無視する。

2.79 排気されたX線管内部の圧力は15 °Cで $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$ である。温度80 °Cと150 °Cで動作中の管内の圧力はいかほどか。

2.80 気体の等積加熱において、1 K当たり圧力は初期値の $1/n$ 倍増加する。気体の初期温度を求めよ。この場合、圧力の温度係数は何に等しいか。それは初期温度とどの様に関連しているか。

2.81 熱力学的温度を2倍に増加させながら、2原子気体を等積加熱する。質量は一定として、気体の圧力は何倍となるか。

2.82 等積過程を座標系P - T、V - T、P - Vでグラフを描け。体積を変えないで、気体の質量を2倍とすると、グラフはどの様に变化するか。

2.83 $P = 2.5 T$ (?)として、等積過程のグラフを描け。グラフを利用して、理想気体の圧力の温度係数はどのような値を持っているか求めよ。初期値として273 Kではなく他の温度 T_0 。(例えば、水の沸点)を適用するものとする。

2.84 質量 m の気体に関する $P = f(T)$ 依存性のグラフ(図参照)に従って、A点からB点、B点からC点への変移で気体の状態はどの様に变化するか求めよ。どの点で体積が一番大きくなるか。最大密度はどの点か。

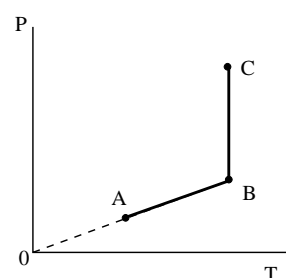


図2.84

2.85 気体が入った閉じたボンベの圧力計が圧力507 kPaを指示している。気体の温度を42 Kだけ低下させると気圧計は55 kPa少ない値を指示する。両方の状態での温度を求めよ。大気圧は定常である。

2.86 プロパン C_3H_8 の入っているボンベの気圧計が温度22 °Cで気圧608 kPaを指示している。温度を253 Kまで低下させると、圧力計の指示値は81 kPaまで低下した。ボンベの容積は25 L。気体の漏れはない。そうだとすれば、ボンベ内の気体の質量はどれだけに变化したのか。

2.87 25 で、810 kPaの気体の入ったポンベは最大5.1 MPaまで耐久性がある。強度の5倍の予備を残すためにはポンベは何ケルビンまで加熱することができるか。

2.88 容積120 Lの酸素の入っているポンベがある。それから2.93 kgの気体を排出し、その時温度が295 Kから288 Kに低下したとすれば、圧力はどれだけ低下するか。

2.89 問題2.84において、 $m_1 = 2m$ 、 $v_1 = v/2$ とし、気体の体積に関する等圧過程をグラフ化せよ。

2.90 ある質量の気体が状態1から状態2に変移する(図参照)。密度、圧力、分子の平均運動エネルギー、気体の内部エネルギーどのように変化するか。

2.91 図に示しているような $V(t)$ グラフがある。気体の質量は同じであるとして、 $P-T$ 座標系でこれらの過程のグラフを作れ。

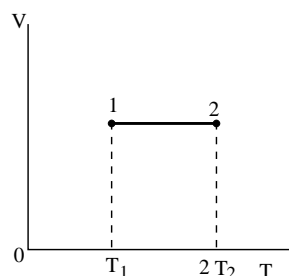


図2.90

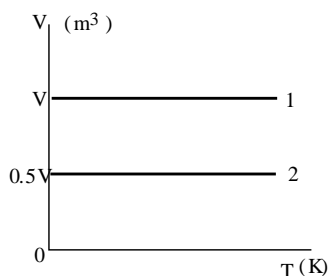


図2.91

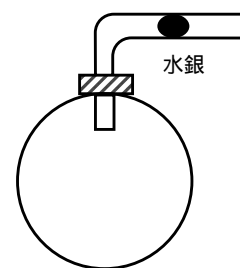


図2.92

等圧過程

2.92 フラスコ内にある気体(図参照)の状態変化は、フラスコと加熱あるいは冷却したとき、どのようなものであるか。大気圧は不変とする。

2.93 294 Kで気体の体積は0.35 dm³。どのような温度で、その気体の体積は0.4 dm³まで増加するか。

2.94 306 Kの気体を32 K冷却すると、たいせきは2.4 dm³だけ小さくなる。気体の初期体積は幾らか。

2.95 問題2.92において、1 Kだけフラスコを加熱すると、断面積12 mm²のパイプの中で水銀液滴はどれだけ移動するか。290 Kでフラスコとパイプ中の気体の体積は0.5 dm³である。

2.96 312 Kの水の入った浴槽に、円筒缶を逆さに沈める。その時、缶内の水面の高さは浴槽の水面の高さと同じである。缶内の水面から缶の底部までの距離は160 mm。浴槽の水温を273 Kまで下げると、缶内の水面はどれだけ上昇するか。缶内の空気の圧力の変化は無視する。

2.97 図に示しているように、容積8.5 cm³で320 °Cまで加熱したガラスポンベに水銀の入った部分が隣接している。温度を20 °Cまで下げるとどれだけの水銀が流れ出るか。



図2.97

2.98 温水の入った浴槽ないで、缶をひっくり返す。水面と缶の底までの距離はh、缶の内部と

外の水面は同じである。水と缶の温度を 288 K まで下げると、缶内の水面は $h/20$ だけ低下した。水の初期温度を求めよ。

2.99 発生炉ガスがパイプの出口で、大気圧で温度 400 K である。その際、体積が 3.5 倍小さくなっている。圧力は不変として、最初の状態の温度を求めよ。

2.100 円筒型パイプを発生炉ガスが上昇する。パイプの底で、その温度は 1073 K 、速さ 6 m/s 。パイプの上端でガスの温度が 423 K とすれば、ガスの速さはいかほどか。圧力は大気圧とする。

2.101 温度が 15°C から 28°C まで変化すると、大きさ $4\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$ の室内の空気の質量はどれだけ変化するか。気圧は常圧である。

2.102 1 K の等圧加熱において、体積は初期体積の 0.002 倍増加する。気体の初期温度を求めよ。得られた温度を考察の初期値として、体積膨張の温度係数の値を求めよ。

2.103 座標系 V, T ; P, V ; P, T で等圧過程のグラフを描け。

2.104 同じ質量の 2 つの異なる状態が V, T 図 (図参照) で点 1, 2 で示される。これらのうちのどれが大きな圧力に対応しているか。図で、等積及び 2 つの等圧過程を示せ。後半の 2 つのうちのどちらが圧力が大きい。

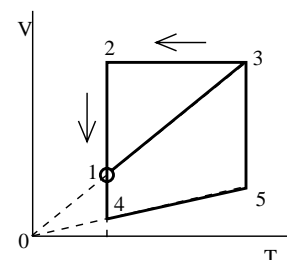


図 2.104

2.105 定圧のもとで、空気の体積を 2 倍とするためには、空気を何度だけ加熱しなければならないか。空気の初期温度は 17°C 。

2.106 問題 2.84 で示しているグラフで、同質量で、圧力が $P_1 = 2P$ 、 $P_2 = P/2$ の時、等圧過程のグラフを描け。

等温過程

2.107 どのような方法で等温過程を実現できるか。

2.108 図に示しているグラフを利用し、座標系 P, V と V, T でのグラフを作れ。

2.109 図に示したどのような等温条件の下で、様々な温度を経由する等温過程を満足させるであろうか。

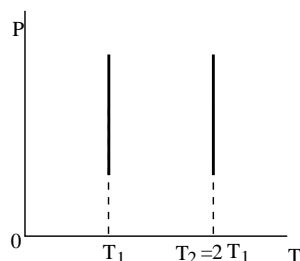


図 2.108

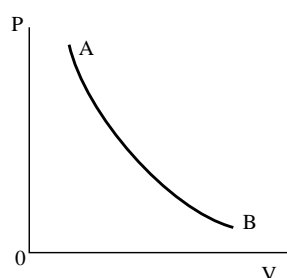


図 2.109

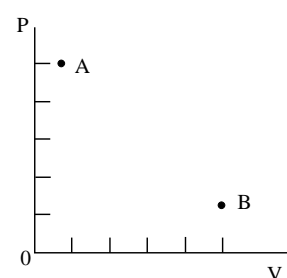


図 2.111

2.110 問題 2.109 の図で示している等温過程において、同じ温度ではあるが、気体の質量

を2倍多くしたときの等温過程のグラフを描け。

2.111 図のA点とB点で同じ質量の気体の2つの状態が固定している。これらのどちらの点がより大きな気体エネルギーに対応しているか、それは何倍か。

2.112 常圧の大気が満たされた気球が上昇し、体積が1.3倍となった。気体の圧力はいくらになったか。気球の外殻の弾性及び温度の変化は無視する。

2.113 伸び縮みする容器内に圧力 104 kPa の空気が入っている。体積が $2/5$ となるように容器を圧縮する。圧力はどうなるか。気体の温度と質量は不変とする。

2.114 質量の決まった気体の圧力を一定の温度のもとで、最初の値の $1/n$ 倍する。この時気体の体積はどうなるか。

2.115 容積 6 dm^3 、 4 dm^3 の2つの容器が図に示されているように、コックのついたパイプで連結している。大きい方の容器内の気体の圧力は 300 kPa ；小さい方には気体はない。コックを開け放つと、圧力はどうなるか。過程は等温とする。連結パイプの容積は無視する。

2.116 問題2.115の条件の下で、小さい方の容器内に圧力 45 kPa の気体が入っているとき、それらを連結した後の圧力を求めよ。

2.117 長さ $h = 60\text{ cm}$ のシリンダが可動ピストンで2つの部分に分けられている(図参照)。摩擦はない。シリンダの中央にピストンを固定して、片方の圧力が他方の圧力より3倍大きいように気体を充填する。ピストンを放つと、どれだけ移動するか。

2.118 両端の閉じた水平なシリンダが2つの固定されたピストンで3つに分けられている。各々の部分の容積と圧力は V_1, P_1 ； V_2, P_2 ； V_3, P_3 。ピストンを自由にした後、各部分の圧力と容積を求めよ。温度の変化とピストンの摩擦は無視する。

2.119 ピストンのついた水平なシリンダが可動隔壁で容積 V_1, V_2 の2つに分けられている(図参照)。シリンダ内の気体の圧力は P 。ピストンを距離 H だけ移動させると、隔壁はどれだけ移動するか。過程は等温であり、隔壁の摩擦は無視する。

2.120 ボイル - マリオットの法則の試験のために使用するパイプの中に、長さ 75 mm の水銀柱が入っている。閉端を下にしてパイプを垂直にすると、閉端部分からの空気柱の長さは 120 mm となる。パイプを水平にして置いたときには空気中の長さは 132 mm であった。大気圧を求めよ。閉端を上にしたときの空気柱の長さを計算せよ。

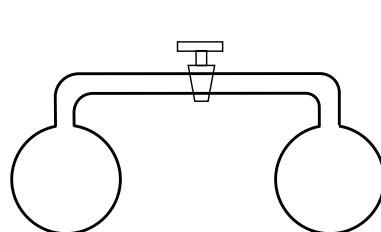


図2.115

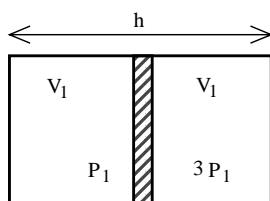


図2.117

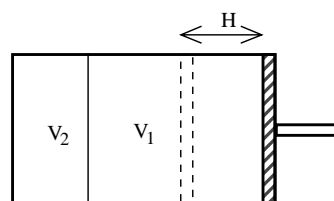


図2.119

2.121 開放端を上にして(問題2.120参照)水平から30°パイプを傾けると、空気柱の長さはどうなるか。

2.122 一端が閉じられたパイプ内に空気があり、長さ100 mmの水銀柱で閉じこめられている。パイプが水平状態にあるときには、空気柱の長さは90.5 mm。開放端を上にしてパイプを垂直にすると、閉じこめられた空気柱の長さは80 mmとなる。大気圧を求めよ。

2.123 水に空気の泡が浮いている。どれだけの深さで、この体積は、水面にあるときの半分になるか。深さ3 mで泡の体積が5 mm³ならば、水面での泡の体積は幾らか。大気圧は常圧で、深さによる水の温度の変化は考慮しない。

2.124 容積300 cm³、質量100 gの薄手の化学ビンを底を上にして水中に沈める。ビンが浮くのを止め、沈み始めるのはどれだけの深さでか。大気圧は常圧で、深さによる水の温度変化は考慮しない。

2.125 容積2.5 dm³のサッカーボールに、ポンプで空気を入れる。常圧の空気150 cm³を一回のポンピングで送る。サッカーボールが最初空っぽであるとしたとき、50回のポンピング後では内圧はいくらとなるか。

2.126 容積45 Lの気球にコンプレッサが接続している。コンプレッサは1秒間に大気から空気を2.5 L供給する。最初は気球の圧力が大気と等しいとして、どれだけの時間後気球内の圧力は大気圧の6倍となるか。

2.127 容積12 dm³の自動車のチューブを355 kPaの圧力までポンピングしなければならない。ポンプは1回のポンピングで常圧の空気を500 cm³送り出すとして、ポンプのポンピングの回数を求めよ。チューブは最初は空とする。その後で、空気半分満たす。常圧まで空気完全に満たす。

2.128 250回のポンピング後、電車の空気ブレーキのタンク内の圧力はいくらになるか。タンクの容量は30 dm³、ポンプは1回当たり常圧の空気を600 cm³送り出す。温度変化は無視する。

2.129 コンプレッサのタンク内の空気圧は大気圧である。ポンプのシリンダの容積はタンクの容積の40分の1である。タンク内の圧力を405 kPaとするためには、コンプレッサのピストンを何往復させなければならないか。

2.130 容器内の空気圧は102.4 kPa。排気ポンプのシリンダ容積は容器の3分の1である。ピストンが3回動いた後、容器内の圧力は幾らか。4回ではどうか。温度変化は無視する。

2.131 容器の体積は3 dm³、排気ポンプのシリンダの容積は200 cm³。ピストンが48往復した後、容器内の圧力は4.53 kPa。容器内の初期圧力は幾らか。温度変化は無視する。

2.132 垂直に立っているシリンダ内のピストンの下に300 cm³の気体がある。ピストンの質量は6.75 kg、その面積は25 cm²。ピストンに錘を載せ、気体の体積が212 cm³になるまでピストンを押し下げる。錘の質量を見いだせ。過程は等温的であり、圧力は常圧である。

2.133 垂直に立っているシリンダのピストンの下に気体がある。ピストンの質量は3 kg、面積は20 cm²。ピストンを490 Nの力で押し下げると、シリンダの底から13 cmの高さの所まで下がった。気体の初期体積は幾らか。気圧は常圧であり、温度は一定。

2.134 気体分子間の引力と斥力を考慮すると、ボイル - マリオットの法則からの逸脱はどのようなものか。

第3節 熱力学の基礎

例題 1 1 質量 60 g のアルミニウム製熱量計に、 18°C の水が入っており、それに 100°C まで加熱している質量 150 g の真鍮を沈めた。周りへの熱量の損失を 15% と見積もり、熱平衡温度を求めよ。温度 t と熱移動量 Q を座標として描け。

例題 1 2 台地にある大砲から、速度 850 m/s で鉄の砲弾を打ち出す。砲弾の落下地点は 150 m 下である。地面に衝突した瞬間に、砲弾のエネルギーの 60% が地面の加熱に消費されるものとして、砲弾の上昇温度を求めよ。

例題 1 3 銅円柱に直径 2.5 mm の穴を空けると、円柱は 4.3 K 分温度が上昇する。ドリルの掘削ピッチを求めよ。ドリルの回転モーメントは 16.2 Nm ；消費エネルギーの 70% が円柱の内部エネルギーに転換するものとする。

例題 1 4 エンジンの効率が 24% の時、 300 km 走行するに必要なガソリン量を求めよ。自動車の全重量は 49 kN 、エンジンの抵抗は自動車の重さの 0.05 。水平な道路を速度 90 km/h で走るとき自動車の出す馬力を求めよ。

例題 1 5 例題 8 の条件とそれに対する解答を利用し、気体（空気）に吸収される熱量、その内部エネルギーの変化量を求めよ。等圧過程として、気体の仕事量を計算せよ。

例題 1 6 炭酸ガスに 16 kJ の熱量を与える。ガスによってなされる仕事、等温、等積、等圧過程での気体の内部エネルギーの変化量を求めよ。等温、等圧過程での気体の分子熱容量を求めよ。

例題 1 7 図に示している閉回路に沿って、2 原子気体の状態を変化させる。 $V_1 = 0.25\text{ dm}^3$ 、 $P_1 = 100\text{ kPa}$ 、 $V_2 = 1.5\text{ dm}^3$ 、 $P_2 = 1\text{ MPa}$ 。以下に答えよ。

- (1) 高熱源からもらう熱量 Q_1 。
- (2) 低熱源に放出する熱量 Q_2 。
- (3) 1 サイクルで気体が行う仕事量
- (4) サイクルの効率。
- (5) 気体が初期状態に戻ったとき、気体の内部エネルギーはどれだけ変化しているか。図中で内部エネルギーの最小値と最大値の点を示せ。これらの値を求めよ。

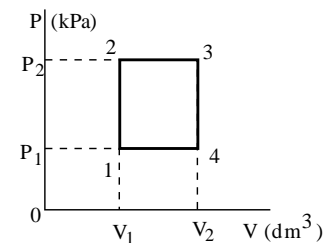


図 例題 1 7

例題 1 8 内燃エンジンのシリンダ内に、作動中 800°C の温度の気体が形成され、 1.5 時間当たり 9.6 kg のガソリンが消費される。排気ガスの温度が 120°C であるとして、エンジンは最大どれだけの馬力を出すか。

熱交換においての物体の内部エネルギーの変化。燃料の燃焼熱量

3.1 100°C の水が 45 L ある。それに 18°C の水を流し入れて 36°C の温度の水とするには 18°C の水はどれだけ必要か。

3.2 蒸気釜に 225°C で 40 m^3 の水が入っている。 5.2 m^3 の冷水を添加すると、 200°C となった。冷水の温度を求めよ。水の密度及び比熱の温度依存性は無視する。

3.3 40°C の水 300 L を得るためには、 20°C と 100°C の水をいかに必要とするか。

- 3.4 20 の水 39 L と 60 の水 21 L を混ぜると何度の水となるか。
- 3.5 42 の水 6 kg、72 の水 4 kg、18 の水 20 kg を混ぜると何度の水となるか。
- 3.6 90 の水 60 kg と 23 の水 150 kg を混ぜた。熱湯によって与えられる熱量のうちの 15 % は周りの媒体の加熱に使われる。水の最終温度を求めよ。
- 3.7 20 の水 2.4 kg の入った容器に、500 K まで加熱した錫の固まりを沈めた。その後水の温度は 15 K だけ上昇した。錫の質量を求めよ。容器の加熱と水の蒸発は無視する。
- 3.8 焼き入れのため 840 まで加熱された質量 0.09 kg の鉄ドリルを 20 の機械油の入った容器に沈める。油の最終温度が 70 度を超えないようにするためには、どれだけの油を用意しなければならないか。油の蒸発は無視する。
- 3.9 予め 500 まで加熱された部品を、13 で 18.6 L の水の入った容器に沈める。水温は 35 まで上昇した。部品の質量は 8 kg。部品の材料の比熱を求めよ。水の蒸発は無視する。
- 3.10 予め加熱された質量 0.2 kg のじゅ鉄のブロックを 15 で 0.8 kg のケロシン（灯油）の入っている容器に沈める。ケロシンの最終温度は 20 。ブロックの最初の温度を求めよ。
- 3.11 85 まで加熱した 0.3 kg のプラスチックを、22 で 0.25 kg の水の入った質量 42 g のアルミニウム製熱量計に沈める。熱量計の温度は 28 となった。プラスチック材料の比熱を求めよ。
- 3.12 20 で 185 g の水の入った質量 50 g のガラスフラスコに、100 の水銀を注ぎ入れる。フラスコ内の水温が 22 まで上昇した。水銀の質量を求めよ。
- 3.13 炉の温度を測定するため、質量 0.3 kg の鉄のボルトをその中で加熱して、15 、1.27 kg の水の入った容器内にそれを投げ入れた。その結果水温は 32 まで上昇した。炉の温度を計算せよ。
- 3.14 20 、150 g の水の入った質量 46 g のアルミニウム製熱量計に、100 まで加熱した質量 160 g の真鍮円筒を沈める。水温を求めよ。周りへの熱の損失は無視する。
- 3.15 熱容量 84 J / K の容器に 75 、200 g の水が入っている。これに温度 22 、質量 80 g の鉄の円柱を沈めると水の温度はどれだけ低下するか。
- 3.16 20 の灯油の入っている質量 29.5 g のアルミニウム製熱量計に 100 まで加熱した質量 0.6 kg の錫の円柱を沈める。最終温度が 29.5 、熱の損失が 15 % としたとき、熱量計内の灯油の量はいかほどか。
- 3.17 焼き入れで、0.6 kg で 15 の機械油の入っている質量 0.1 kg のアルミニウム容器に鉄製バイトを沈めると、油の温度は 48 となった。バイトは何度まで加熱していたのか。周りへの熱の損失は 25 % とする。
- 3.18 質量が各々 180 g、120 g、60 g の鉄、銅、アルミニウムで出来ている物体の熱容量を求めよ。
- 3.19 水暖房ラジエータに、断面積 500 mm² のパイプを通して速さ 1.2 cm / s で 80 の水を流し込む。ラジエータから出てきた水の温度は 25 。一昼夜に室内が得る熱量を求めよ。

3.20 水暖房装置のラジエータに341 Kで水が入り、313 Kで出てくる。室内の空気の初期温度が279 K、40 Lの水がラジエータを通過したとすれば、大きさ6 m × 5 m × 3 mの室内の空気は何度まで加熱されるか。

3.21 大きさ10 m × 6 m × 3.5 mの室内の空気が10 から22 まで加熱するためには、水暖房装置のラジエータにどれだけの水が流れなければならないか。ラジエータ内で水は25 K低下する。壁、窓、床での熱損失は60 %とする。

3.22 効率36 %の加熱装置で12 Lの水を18 から100 まで加熱する必要がある。このためのどれだけの灯油を燃やさなければならないか。

3.23 溶鉱炉の効率は20 %。銑鉄を283 Kから融点まで加熱するには、どれだけの石炭を燃やす必要があるか。

3.24 4.5 Lの水を85 Kだけ加熱するガスバーナーで110 Kの天然ガスを消費する。バーナーの効率を求めよ。

3.25 1.55 Lの水を80 Kだけ加熱するアルコールランプで、80 gのアルコールを消費する。アルコールランプの効率を求めよ。

3.26 屑鉄を18 から1530 まで加熱するのに、効率62 %の加熱炉で62 kgのコークスを消費する。鉄の質量を求めよ。

3.27 効率26 %の溶鉱炉でアルミニウムを283 Kから融点まで加熱する。25 kgの石油を燃やすものとしてどれだけのアルミニウムを加熱することができるか。

3.28 室内空気の温度を一定に保つため、一昼夜に10 kgの石炭を燃やす必要がある。暖炉の効率を35 %とすると、壁や窓からの熱の損失量はいかほどか。

3.29 通りに面した部屋の壁の面積は45 m²、厚さ0.6 mである。熱伝導率は0.8 W / (m K)(普通の煉瓦)。室内の温度は295 K、室外は268 K。室内外の温度差を一昼夜の間一定とするためにはどれだけの薪を燃やさなければならないか。炉の効率は40 %、壁からの熱の損失は全熱損失のうちの3 / 4である。

力学的仕事の実行に伴う物体の内部エネルギーの変化

3.30 歯のない鉄円盤である摩擦鋸はどの様にして金属を着ることができるのか。

3.31 水平面上で、鉄ブロックが距離9.2 mを一様に移動する。移動で消費されるエネルギーのうちの60 %がブロックの内部エネルギーとなるとして、ブロックの温度変化を求めよ。表面とブロックの間の摩擦係数は0.3。g = 10 m / s²。

3.32 速さ28.8 km / h、質量12.5 tの電車がブレーキをかけて停止する。鋳鉄製ブレーキの質量が9 kg、車体の運動エネルギーのうちの60 %がブレーキ板の加熱に消費されるならば、8個のブレーキ板はどれだけ加熱されるか。

3.33 水が高さ1200 mから落下する。重力のなす仕事のうち60 %がその加熱に消費されるとすれば、水はどれだけ温度が上昇するか。

3.34 代置に衝突して373 Kまで温度が上がるためには、錫のブロックはどれだけの高さから落下しなければならないか。融点までかどうか。重力エネルギーの40%が錫の加熱に消費され、錫の初期温度は273 Kとする。

3.35 同質量の銅とアルミニウムの2つの球を高度1000 mから落下させる。どちらがどれだけ温度が上昇するか。熱の損失は無視する。

3.36 空気破碎ハンマーのハンマーは37.5 Jの衝撃エネルギーを有し、1分間に1000回の衝撃を与える。ハンマーの出す仕事率を求めよ。全エネルギーの15%がハンマーの加熱に消費されるものとする、3分間の仕事の後でハンマーはどれだけ温度が上昇するか。ハンマーの質量は1.8 kg。

3.37 打撃の瞬間のプレス機のハンマーの速さが7 m/sで、鉄の加熱にハンマーのエネルギーの60%が消費されるとしたならば、質量400 kgのハンマーの打撃で質量1.5 kgの鉄片はどれだけ加熱されるか。

3.38 質量12 kgの鉄ハンマーが金敷の上に置いてある質量0.2 kgの鉄板に当たる。ハンマーの落下距離は1.5 m。ハンマーの運動エネルギーの40%が鉄板の加熱に消費されるものとして、50回の打撃後の鉄板の温度の上昇を求めよ。

3.39 重さ58.8 kNのハンマーで、質量205 kgの鉄の鍛造を行う。35回の鍛造で283 Kから291 Kまで温度が上がる。打撃の瞬間のハンマーの速さは幾らか。ハンマーのエネルギーの70%が加熱に消費されるものとする。

3.40 手動ドリルでの金属の穿孔において質量50 gのドリルは3分間の連続動作で70.5 K加熱する。全消費エネルギーのうちの15%がドリルの加熱に使われるものとして、穿孔で発揮される仕事率を求めよ。

3.41 押し出し成型方法は電線製造法の1つである。電線の断面積に相当した穴のあるシリンダに予備材料を加熱した状態で挿入する。その後、シリンダの中を移動するピストンで予備材料に圧力を加える(図参照)。この押し出し成形で発揮する仕事率が4.41 kW、予備材料の加熱にエネルギーの60%が使われるとしたならば、5秒間で銅の予備材料1 kgはどれだけ温度が上昇するか。

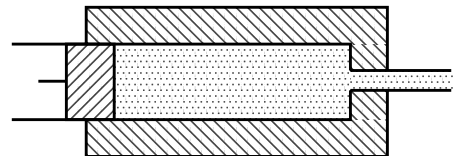


図3.41

3.42 ダイス回しに7.6 Nmの回転モーメントが作用するとして、面積2 cm × 8 cmの銅板に0.5 mmのピッチで穴を刻むと、銅板はどれだけ加熱されるか。熱の損失は無視する。

3.43 鉄のナットに0.75 mmピッチでネジ穴をうがつダイス回しに作用している回転モーメントを求めよ。掘削によりナットは50 K加熱するものとする。ナットの断面は円形で直径20 mm。熱の損失は無視する。

3.44 質量 m_1 の鉛玉が速さ u_1 で停止している質量 m_2 の鉛玉に衝突する。商都るを非弾性として衝突で発生する熱量を求めよ。衝突で発生するエネルギーがそれらの加熱に消費されるものとして、球の上昇温度を求めよ。

3.45 質量 m_1 , m_2 の2つの完全非弾性球が速さ u_1 , u_2 で向かい合って動く。衝突後2つは一体となる。衝突で発生する熱量を求めよ。

3.46 質量 0.4 kg の 2 つの鉛球が速さ 0.6 m/s 、 1.8 m/s で向かい合って動く。それらの完全弾性衝突の結果として、球の温度はどれだけ上昇するか。

理想気体の内部エネルギー。体積変化による気体の仕事。

3.47 同じ温度で、 He 、 H_2 、 CO_2 分子の並進運動の平均運動エネルギーと全運動エネルギーはどうなるか。

3.48 水素分子の平均運動エネルギーは $1.38 \times 10^{-20} \text{ J}$ 。同じ温度における炭酸ガス分子の平均運動エネルギーを求めよ。気体温度を求めよ。

3.49 温度が 273 K 、 423 K での理想気体分子の並進運動の平均運動エネルギーを求めよ。この温度における水素分子の平均 2 乗速度を求めよ。

3.50 温度 127°C での窒素 1 モルの内部エネルギーを求めよ。

3.51 -23°C にあるオゾン 3.2 kg はどれだけの内部エネルギーを持つか。

3.52 160 K 加熱すると、 1 g のアルゴンと 1 モルの水素の内部エネルギーはどれだけ変化するか。

3.53 常圧で空気 2.4 m^3 はどれだけの内部エネルギーを持つか。

3.54 4 kPa だけ圧力が増加すると、 0.5 m^3 のアンモニア NH_3 の内部エネルギーはどれだけ変化するか。

3.55 体積 6.6 L を占めている気体が一定の圧力 515 kPa のもとで 33 L まで膨張する。気体のなす仕事は幾らか。

3.56 垂直に置かれたシリンダのピストン下に気体がある。定圧加熱により、ピストンは 0.15 m 移動した。ピストンの質量は 0.3 kg 、その断面積は 0.022 m^2 。気圧は常圧である。膨張において気体のなした仕事を求めよ。

3.57 温度 280 K で体積 460 L を占めている気体を 295 K まで加熱する。圧力は変化せず、 999 kPa であるとして、気体のなした仕事を求めよ。

3.58 底面積が 1.2 dm^2 であるシリンダが垂直に置かれてその中に空気が入っており、質量 2.5 kg の可動ピストンで閉じこめられている。いる。空気の初期体積は 5 L 。 850 K の定圧加熱下で、 1.5 kJ の仕事をした。空気の初期の温度を求めよ。外部の気圧は 100 kPa 。

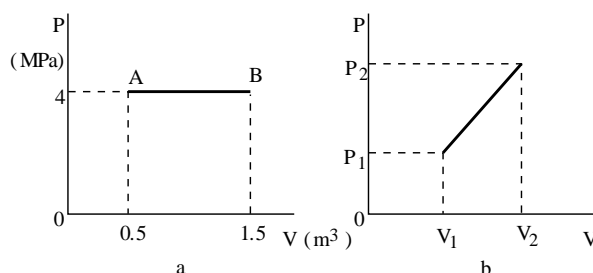


図 3.59

3.59 グラフに従って (図参照) 気体のなす仕事を求めよ。

3.60 グラフに従って、気体のなす仕事を求めよ (図参照)

3.61 気体の状態変化過程において、圧力が式 $P = \frac{1}{V}$ で変化する。 V_1 から V_2 まで膨張するとき気体のなす仕事を求めよ。この過程で熱量は吸収されるかそれとも放出されるか。

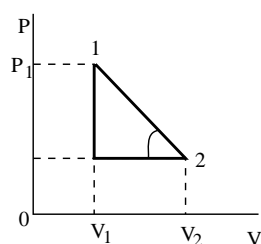


図 3.60

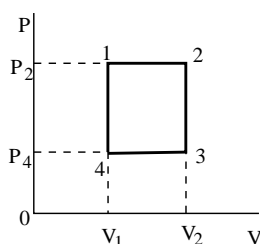
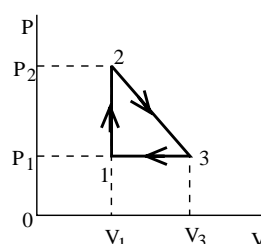
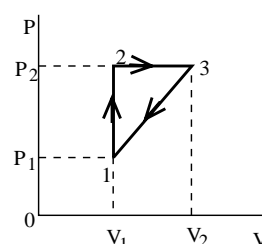


図 3.63



a



b

図 3.64

3.62 ピストンのついているシリンダ内に体積 1.5 L 、圧力 1.52 kPa の空気が入っている。温度が体積の 2 乗に比例する ($T \propto V^2$) ように、強い加熱に晒す。P-V 座標系でこの過程のグラフを作成せよ。これに従って、 9 L まで体積が膨張するときの空気のなす仕事を求めよ。空気の質量が 58 g として、係数 γ の値を求めよ。

3.63 図に示している 1-2-3-4-1 のサイクルで気体はどれだけの仕事をするか。

3.64 図に示しているように気体の状態が変化すると、1 サイクルで気体はどれだけの仕事をするか。

3.65 ピストン付きのシリンダ内に入っている窒素の質量を求めよ。 340 K から 700 K までの加熱過程において、窒素は 460 J の仕事をするもとする。この過程において、窒素の内部エネルギーはどれだけ変化するか。

3.66 ピストン付きのシリンダ内に質量 290 g の空気があり、定圧加熱のもとで 5.9 kJ の仕事をする。空気の温度はどれだけ変化するか。

3.67 250 K にある 12 mol の気体は等圧加熱でどれだけの仕事をするか。仕事は気体の圧力に依存するか。

3.68 質量 220 g の炭酸ガスの温度が 290 K である。体積 2.4 dm^3 から 7.2 dm^3 までの等温膨張において気体のなす仕事を求めよ。

3.69 120 kPa 下にある気体を等温的に体積 3 dm^3 から 5 dm^3 まで膨張させる。気体はどれだけの仕事をするか。気体の $P = f(V)$ と仕事の依存性をグラフで示せ。

熱力学第一法則。等変化過程への熱力学第一法則の適用。断熱過程。

3.70 等温過程において、熱交換で気体に与えられるエネルギーは何に使われるか。

3.71 気体の等温圧縮において、 250 J の仕事になされた。気体の内部エネルギー、周りの媒体に与えられた熱量を求めよ。

3.72 ヘリウムの等温膨張において、温度 T_1 と T_2 ($T_2 > T_1$) でエネルギー Q を得た。両方においてどれだけの仕事になされたか。

3.73 圧力が P_2 のもとで、体積が V_1 から V_2 までの等温膨張において、気体はどれだけの熱量

を得るか。

3.74 等積過程において気体に与えられたエネルギー Q は何に使われるか。

3.75 一定体積の 1, 2, 多原子分子 1 モルの気体を 1 K だけ加熱するのにどれだけの熱量が必要か。

3.76 14 g の窒素の 25 K だけの等積加熱に 1.04 kJ のエネルギーを使った。16 g の酸素を同じように加熱するのにどれだけの熱量が必要か。各々の気体の内部エネルギーはどれだけ変化するか。

3.77 等圧加熱において、2 原子分子を 250 K 上げるのに 260 J 必要とした。気体の種類を求めよ。

3.78 容積 20 L のボンベ内に、300 K、0.6 MPa の 2 原子気体が入っている。気体が 6.3 kJ の熱量を得ると、温度と圧力はどうか。

3.79 1 原子分子気体が容積 50 L のボンベに閉じこめられている。等積加熱により、圧力は 0.6 MPa となった。気体に伝わった熱量、気体の内部エネルギーの変化量を求めよ。

3.80 気体の等圧加熱において、同じ温度での等積加熱より多くの熱量が必要となるのは何故か。

3.81 一定圧力での気体のモル熱容量は一定体積でのモル熱容量よりどれだけ大きいのか。

3.82 一定圧力のもとで、1 kg の気体を 1 K 加熱するのに 1043 J 費やし、一定体積では 746 J である。この気体は何か。

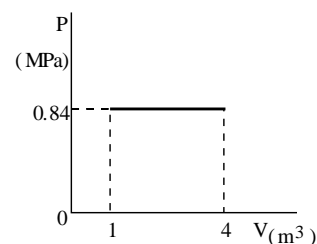


図 3.84

3.83 圧力 140 kPa にある気体を等圧的に加熱し、体積を 4 倍とする。この時 8.4 kJ の仕事が行なわれた。気体の初期体積を求めよ。

3.84 2 原子分子気体の状態が図に示されている。気体が行なった仕事、気体の内部エネルギーの変化、この過程で気体が得た熱量を求めよ。

3.85 質量 90 g の水素は圧力 200 kPa で体積 0.5 m³ を占める。最初、気体を等積で 300 kPa まで加熱し、続いて等圧的に体積 0.9 m³ まで加熱する。気体の内部エネルギーの変化、気体のなす仕事、伝達された熱量を求めよ。

3.86 1.2 MPa、300 K で体積 50 L を占めている 3 原子分子気体に 60 kJ の熱を与える。等圧膨張としての気体の仕事、内部エネルギーの変化、過程の最終での気体の温度を求めよ。

3.87 問題 3.63 の条件の下で、2 原子分子気体はどれだけの熱量を得るか。低熱源にどれだけの熱量を与えるか、サイクルの効率はいくらか。

3.88 1 モルの 1 原子分子気体の状態が図 3.88 に示されているように変化する。点 1, 3 での気体の温度は各々 T_1 , T_2 。点 2 と 4 は同じ温度である。1 サイクルにおける気体の仕事、気体の得る熱量をもとめよ。グラフのどの部分で、気体は熱をもらい、どの部分で放出するか。

3.89 以下に記述している過程の例のうちどれが断熱的であるか。(1) ディーゼルエンジンの

シリンダー内で、空気の吸い込みが行われる最初のストロークで。(2) ボンベからの炭酸ガスの急激な噴射。弁の表面に霧が形成される。(3) アルコールを湿らせ、透明なシリンダ内に入れた綿がピストンの急激な運動により発火する。

3.90 パラメータ V_1 , P_1 , T_1 の気体が体積を V_2 まで大きくし、(a) 等温的に (b) 断熱的に 他の状態となる。これらの過程のどちらが圧力が小さいか。何故か。これらの過程において気体の内部エネルギーはどのように変化するか。

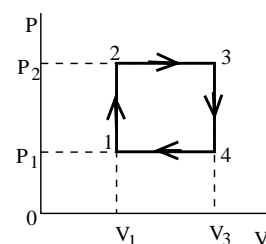


図3.88

3.91 断熱膨張において、気体の内部エネルギーが 120 J 少なくなった。気体はどれだけの仕事をなしたか。

3.92 断熱圧縮において、1モルの2原子気体が 8.31 kJ の仕事をした。気体の内部エネルギーの変化と気体の温度を求めよ。

3.93 パラメータ V_1 , P_1 の3原子気体が断熱的に膨張し、パラメータ V_2 , P_2 の状態となった。気体の内部エネルギーはどのようにどれだけ変化したか。

3.94 260 K 、 152 kPa の空気が断熱圧縮を受け、その体積が $1/2$ となった。気体の圧縮後の圧力、温度となされた仕事を求めよ。空気の質量は 1 kg 。

3.95 問題3.88での図で、1-2-3-4は閉サイクルである。点2と4は同じ温度である。座標系 P - T 、と V - T でサイクルのグラフを描け。熱の吸収が行われる過程の部分を示せ。グラフのどの部分が気体の温度が最高の部分か。

3.96 等温、等圧、等積からなる閉サイクルが図に示されている。これを座標系 P - T 、 V - T で表せ。最小温度はグラフのどの点に対応しているか。

3.97 図に1-2-3-4の閉サイクルが示されている。これを座標系 P - T で描け。過程のどの部分で熱の吸収が行われるか。

3.98 気体がボンベとバルブで閉じこめられている。どのような場合に、気体の状態変化は図に描かれたグラフに対応しているか。

3.99 2原子気体の状態変化過程が図に示されている。気体のなす仕事、この過程の効率を求めよ。

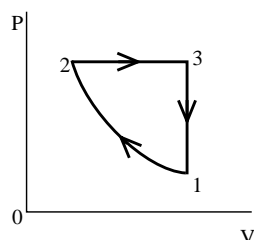


図3.96

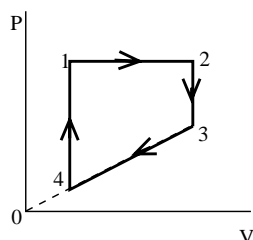


図3.97

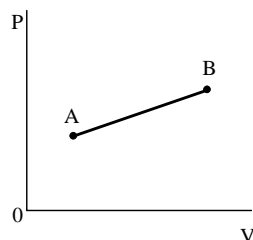


図3.98

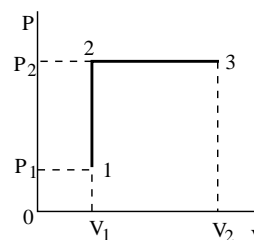


図3.99

3.100 問題3.95の図で、1原子気体の状態変化の閉サイクルが描かれている。このサイクルの効率を求めよ。

3.101 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ のエネルギーに 0.2 kg のガソリンを消費する自動車エンジンの効率を求めよ。

3.102 1 時間に 30 kg の軽油を消費するトラクタは平均どれだけの馬力を出すか。エンジンの効率は 30% とする。

3.103 時速 36 km で動いている質量 220 t の蒸気機関車が停止する。運動エネルギーの 80% が内部エネルギーに変換するものとして、ブレーキの過程でどれだけの熱量は放出されるか。

3.104 時速 90 km で 100 km の道を移動する自動車はどれだけのガソリンを消費するか。エンジンの効率は 28% 、エンジンが出す馬力は平均で最大馬力 90 kW の 0.4 である。

3.105 ボートの船外機の馬力は 13.2 kW 、効率は 15% である。ボートの速さが時速 30 km の時、 20 L のガソリンでどれだけの距離を走れるか。

3.106 船の機関は馬力 800 kW のディーゼルエンジンが 2 機である。燃料の消費は $245\text{ L}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ として、エンジンの効率、1 週間の航行に必要な燃料消費量を求めよ。

3.107 出力馬力 25.2 kW 、効率 20% で 1 時間半の作動において、 33 kg の燃料を消費する熱機関ではどのような種類の燃料を使用しているか。発熱比は幾らか。

3.108 時速 1800 km での飛行で効率 20% の飛行機のジェットエンジンは 88.2 kN の牽引力を出す。1 時間当たりの飛行に要する灯油の量、出る馬力を求めよ。

第 4 節 蒸気の性質。沸騰。大気中の水蒸気。

例題 19 効率 90% の電熱器の上で、水を 10 分間で 46.9 まで加熱する。水を更に 40 分間加熱すると 100 の蒸気にどれだけの水が変化するか。電熱器の電力はいかほどか。水の初期温度は 20 、水の質量は 2.2 kg である。

例題 20 373 K での水の蒸発に 4.54 MJ の熱量を消費した。消費したエネルギーのどれだけの部分が外力に対する仕事に、どれだけの部分（水の内部エネルギーの増加）が蒸気に使われたか。

例題 21 室内の温度を 18 度から 12 に下げると、湿った空気 1 m^3 当たり 1.5 g の水が出た。 18 における空気の絶対湿度と相対湿度を求めよ。

例題 22 300 K 、 103 kPa で湿った空気の密度は $1.19\text{ kg}/\text{m}^3$ 。湿った空気の絶対湿度と相対湿度を求めよ。

例題 23 大きさ $5\text{ m}\times 4\text{ m}\times 3\text{ m}$ の室内に、乾湿計がある。温度計が 25 あるいは 18 を示しているとき、空気の相対湿度は幾らか。これらの温度において、相対湿度を 70% まで上げるために、室内で蒸発させるために必要な水の質量を求めよ。

蒸発と凝縮。蒸気の性質。

4.1 濡れた下着は風の日によく乾くのは何故か。

4.2 開放容器で液面が低下する。蒸発が起きていることを確信することができるか。

4.3 真空発熱電球はガス入り電球よりしばしば切れ易い。何故か。

- 4.4 多孔性容器内の水の温度が、周りの温度より低いのは何故か。
- 4.5 雨の時寒くなるのは何故か。
- 4.6 夏に、開放容器にある水の温度が周りより低くなるのは何故か。
- 4.7 外部からのエネルギーが入らなければ、蒸発過程で蒸発する液体の温度はどのように変化するか。
- 4.8 液体分子の平均運動エネルギーが分子のその温度での脱出仕事より極めて小さいとき、液体は蒸発することができるか。
- 4.9 蒸発（凝縮）の比熱は温度にどのように依存するか。
- 4.10 凝縮において、同じ質量のその液体の蒸発で失うより大きなエネルギーを得ることができるか。
- 4.11 熱力学的温度の上昇と共に、分子の平均運動エネルギーは同じだけ大きくなる。この時、蒸発速度は同じだけ増大するといえるのは妥当か。
- 4.12 フラスコを半分アルコールで満たし、真空密閉する。アルコールの液体の上部の空間を満たしている蒸気の圧力と密度はどれだけまで増加するか。飽和蒸気の圧力と密度について何をいうことができるか。
- 4.13 蒸気の密度は、同じ温度での飽和蒸気のそれより大きくなることができるか。
- 4.14 加熱すると飽和蒸気圧は、理想気体の場合より極めて急速に増大する。何故か。
- 4.15 一端の閉じられたU字管に液体を注ぐ。液体の上の空間には飽和蒸気だけがあるのか、それとも空気と蒸気の混合体があるのかどのようにして知ることができるか。
- 4.16 22 °Cでの水蒸気圧は2319 kPaである。その蒸気の体積を100 Lから20 Lまで小さくし、温度を40 °Cまで上昇すると蒸気圧はどのようになるか。蒸気の質量はどのように変化するか。
- 4.17 初期温度293 Kの飽和水蒸気を水から分離し、107 Kだけ温度を上げる。この時蒸気の占める体積が2倍となった。蒸気圧を求めよ。そのような蒸気を何と呼ぶか。
- 4.18 圧力1117 kPaで313 Kの水蒸気を体積一定のまま280 Kまで冷却する。蒸気圧を求めよ。そのような蒸気を何と呼ぶか。体積を変えないで275 Kまで更に冷却すると何が起こるか。
- 4.19 希薄な空気（真空装置）内で、野菜や果物が急速に乾燥するのは何故か。真空装置の室内で野菜群が乾燥する結果発生する水の量を求めよ。空気と水蒸気の排気は70 L/minの速さで1時間行い、室内の圧力は986.4 Paの一定値に保つとする。排気後圧力はほとんど0までとなる。室内の温度は一定で280 K。
- 4.20 温度が0 °C、20 °C、100 °C、圧力が各々613 Pa、2333 kPa、101325 kPaであるときの水蒸気の密度を求めよ。
- 4.21 温度が18 °C、29 °C、50 °C、蒸気密度が各々15.4, 25.8, 83.2 g/m³

の時の水蒸気圧を求めよ。

4.22 ピストンのついたシリンダ内に、 2433 kPa 、 80°C の水蒸気が 58.6 L 入っている。凝縮が開始されるまで等温圧縮をすると蒸気圧はどの様に変化するか。

4.23 ピストン付きのシリンダ内に温度 T の水が高さ h だけ入っている。水全部が蒸発するためにはピストンの高さはどれだけにすればよいか。水の密度 ρ 。飽和水蒸気圧は p 。過程は等温的である。

4.24 276 mg の非飽和水蒸気を等温圧縮する。蒸気で占められている体積が 12 L まで減少したとき、凝縮が始まった。その時の温度を求めよ。

4.25 ピストン付きのシリンダ内に、 -55°C の温度で 2 g の気体のアンモニアが入っている。気体を等温的に圧縮すると、 27 kPa の圧力で飽和する。この瞬間に気体の体積は幾らか。体積を更に 6 L 小さくするとどれだけのアンモニアが凝縮するか。

4.26 飽和水蒸気圧と温度の依存性が図のグラフに描写されている。このグラフを利用し、温度 575 K で圧力 3 MPa と 14 MPa ；圧力 10 MPa で温度 525 K と 625 K ；温度 655 K で圧力 22.3 MPa と 25.3 MPa で水はどのような集合状態にあるか求めよ。

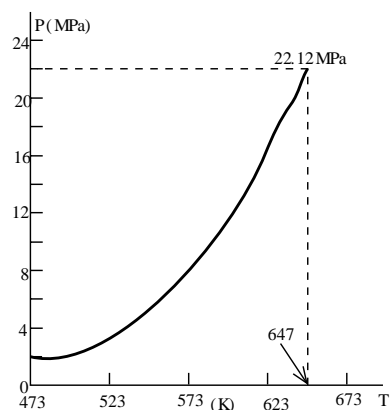


図 4.26

4.27 常圧 1013 kPa 下で、温度 100°C における水の蒸発過程で消費されるエネルギーのどの部分が、外力に逆らって膨張の仕事をするために使われるのか。

4.28 温度 T で飽和水蒸気の等温圧縮過程において、仕事 A が外部に力を及ぼす。蒸気の凝縮過程においてどれだけの熱量が発生するか。蒸発（凝縮）の比熱は r 。

沸騰。物質の臨界状態。

4.29 沸騰温度は外部圧力にどのような依存があるか。深い坑道と高い山で同じ液体の沸騰温度は同じか。

4.30 どのような条件で液体は沸騰し始めるのか。液体が沸騰するためには、その沸騰温度まで液体を加熱することで充分か。

4.31 20°C の水はどのような圧力かで沸騰し始めるか。 80°C で沸騰する水の表面の圧力は何に等しいか。

4.32 沸騰水の入った鍋に浮かんでいる鍋に入っている水は沸騰するか。

4.33 吸い込みポンプで 10.3 m の高さまで冷水を持ち上げることができるか。

4.34 20°C にある 0.2 kg のアルコールを蒸気とするにはどれだけの熱量が必要か。同量のエーテルではどうか。

4.35 110°C の水蒸気 450 g から 15°C の水を作る。この時どれだけの熱量が発生するか。過程は損失無く行われると見なす。気圧は常圧である。

4.36 22 の水 255 g の入った容器に、100 の水蒸気 14 g を入れた。水の最終温度を求めよ。容器の熱量量と周りへの熱伝導は無視する。

4.37 42 L の水の入っている容器に、100 の水蒸気 2.23 kg を注入する。蒸気の凝縮の後で、水温は 40 度まで下がった。エネルギー損失を 15 % として、初期の水温を求めよ。

4.38 液体を温度 T_1 から T_2 まで加熱するのに、時間 t_1 を要した。沸騰温度でその半分を蒸発させるのに時間 t_2 を要した。液体の蒸発比熱を求めよ。液体の比熱を c とする。加熱器の電力は一定と見なす。

4.39 水の蒸発熱を定め得るため、9 の水 250 g の入っている質量 52 g のアルミニウム熱量計に、100 の蒸気を導入した。熱量計内での凝縮の後、30 の水が 259 g 残っていた。これらのデータから、水の蒸発熱を求めよ。

4.40 質量 180 g の銅の熱量計に 18 の水が 467 g 入っている。熱量計内部の温度を 64 に保つには、100 の蒸気をどれだけ導入する必要があるか。

4.41 温度 t_2 (> 100) の蒸気を温度 t_1 の水の入っている熱量計に熱量計に導入したときの熱交換の様子が図のグラフに示されている。グラフの各部分の意味を説明せよ。

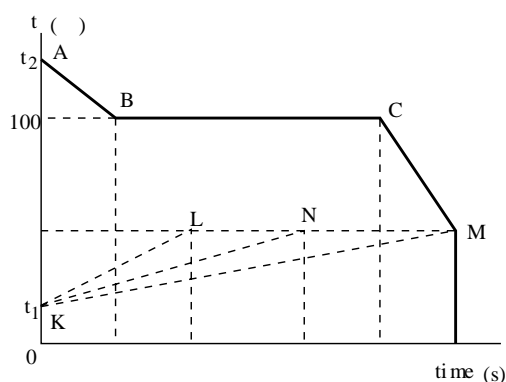


図 4.41

4.42 100 の水蒸気 47.5 g を、565 g の水の入った真鍮製熱量計に注入すると、熱平衡はどの温度で実現されるか。

熱量計内の初期水温は 19 、その質量は 112 g。周りとの熱交換は無視する。

4.43 効率 75 % の湯沸かし器のボイラーに温度 15 の水が 208 L 入っている。タンク内の水とコイル管内を流れる水が温度 92 であるためには、ボイラーのコイル管を通して 104 の蒸気をどれだけ流せばよいか。

4.44 ??? 蒸気は 100 の温度で加熱器のコイル管にはいる。コイル管から出る復水の温度は 90 。初期温度 8 の水 2 m³ が加熱器を通り抜けた後、コイル管から 360 L の復水が流れ出た。加熱器の効率を 80 % として、水はどれだけの温度まで加熱されたか。

4.45 温度 20 の水 1.75 L の入った容器に、532 まで加熱した質量 432 g の鉄の塊を沈める。この時、水の一部は蒸発し、28 で温度が安定した。蒸発した水の量を求めよ。

4.46 効率 33 % の蒸留器に 283 K の水 20 L を注ぎ入れた。蒸留器の火室で 2 kg の石油を消費するとして、どれだけ蒸留された水が得られるか。

4.47 20 の水 40 L から 12 L の蒸留水を得るために、天然ガス 2853 m³ を消費する。蒸留器の効率はいかほどか。

4.48 1.2 kW で効率 80 % のコーヒーマットで水を常圧下で沸かす。面積 1.5 cm² の穴からどれだけの速さで蒸気が噴き出すか。

4.49 20 から沸騰まで15分で水を加熱する。同じ条件下でこの水の半分を蒸気とするためにはあとどれだけの時間が必要か。

4.50 アンモニアガスで作動する冷蔵庫の効率は75%。0.86 kgの水を293 Kから氷点まで冷却するためには冷蔵庫のパイプでどれだけのアンモニアを蒸発させなければならないか。

4.51 2 kgの水を282.5 Kから氷点まで冷却するため73 gのフロンガスを蒸発させる必要があるとき、冷蔵庫の効率はいかほどか。

4.52 物質の臨界状態はどのようなパラメータで特徴づけられるか。

4.53 臨界状態にある物質の蒸発熱は何に等しいか。

4.54 臨界温度以上にある気体を圧縮して、液体とすることができるか。

4.55 お互いに化学反応をしない炭酸ガス、窒素、水素の混合体がある。圧縮するとどの気体が早く液体となるか。

大気中の水蒸気。

4.56 冬季に、自動車の車体に霜ができる。何故か。

4.57 秋の寒いとき、暖房していない室内が湿っぽく感ずる。何故か。

4.58 露や霧の形成はどのように説明されるか。

4.59 暑い日のあと、露が良くできるのは何故か。

4.60 曇天の夜には露ができないのは何故か。

4.61 25 の空気5 m³は86.5 gの水蒸気を含んでいる。空気の絶対湿度と相対湿度を求めよ。

4.62 空気の温度が21 。露が10度で発生するならば、空気の絶対湿度と相対湿度はいくらか。

4.63 絶対湿度が低下し、相対湿度が増加する。どのような条件下でこれが可能か。

4.64 正午の空気の温度は298 K、相対湿度は46%。空気の絶対湿度を求めよ。夕方どのような温度で露ができるか。

4.65 どちらの場合により強く湿気を感じるか。温度30 で15 g/m³の蒸気を含んでいる空気、或いは20 で4 g/m³の蒸気を含んでいる空気。

4.66 水蒸気の分圧12 kPaの温度330 Kの空気がある。空気の絶対湿度を求めよ。

4.67 空気の絶対湿度は15.4 g/m³、その中の水蒸気の分圧は2.1 kPa。空気の温度とその相対湿度を求めよ。

4.68 温度21 で、大きさ5 m×5 m×3 mの室内に0.96 kgの水蒸気がある。室内の空

気の絶対湿度と相対湿度を求めよ。

4.69 16℃、大きさ4 m×10 m×3 mの室内で、相対湿度が45%である。相対湿度を60%とするためには、どれだけの水を蒸発して補えばよいか。

4.70 問題4.69の条件で、湿度を60%に増加させると共に、室温を20℃まで上げるとすると、更にどれだけの水分を蒸発させる必要があるか。

4.71 乾湿計の乾式温度計と湿式温度計が各々、29℃と22℃、15℃と9℃、25℃と21℃、20℃と18℃を示しているときの空気の相対湿度を求めよ。同じ場所で、ランプレフタ湿度計が各々18℃、2℃、19℃、17℃を指示しているとして、両方の指示値を比較せよ。

4.72 空気温度20℃、相対湿度51%の時、乾湿計の湿式温度は何を指示しているか。

4.73 空気の相対湿度が73%。乾湿計の乾湿温度計と湿式温度計の指示する値は幾らか。それらの指示値の差を2℃の時、或いは4℃の時について。

4.74 乾湿計の湿式温度計が28.7 Kを指示している。乾式温度計と湿式温度計の指示値の差は7 K。空気の相対湿度は幾らか、そして温度は。

4.75 室内の相対湿度は24℃で68%。室内の温度を14℃まで下げると、1 m³の空気からどれだけの湿気が凝縮するか。

4.76 夕方、18℃の湖畔で、空気の相対湿度が75%。朝空気の温度が何度ならば、霧の発生を期待できるか。

4.77 22℃で空気の相対湿度が60%であった。16℃まで温度が低下すると霜が発生するか。11℃ではどうか。もし発生するならば、空気1 m³当たりどれだけの水分が分離してくるか。

4.78 6℃で空気の相対湿度が55%であった。-1℃まで温度が下がると霜が発生するか。-3℃ではどうか。もし霜が発生するならば、空気1 m³当たりどれだけの水分が分離するか。

4.79 10℃の温度低下により、空気1 m³当たり6 gの水が分離されたとすれば、25℃での空気の相対湿度は幾らか。

4.80 大きさ8 m×5 m×3 mの室内の空気温度は23℃、相対湿度は65%。この室内にどれだけの水が蒸発しているか。

4.81 大きさ5 m×4 m×3 mの室内の温度は20℃で、空気の相対湿度は70%。相対湿度を小さくするためには、空気の温度をどの様に变化させなければならないか。どの様な温度で空気の湿度が59%となるか。

4.82 乾湿計の乾部と湿部の温度計が23℃と16℃を指示している。この温度で空気の相対湿度が60%となるためには1 m³当たりどれだけの水分を蒸発させる必要があるか。

4.83 容量500 Lのボンベが温度300 Kで湿った空気を満たされている。飽和蒸気を形成するために、タンク内で更に3.2 gの水を蒸発させる必要があったとして、空気の相対湿度を求めよ。

4.84 容積1500 m³の倉庫は夜に相対湿度75%、温度12℃である。温度を22℃まで上げ、同時に湿度を60%まで低下する必要がある。これはどの様にして実現できるか。

4.85 空気の温度は 27°C で、相対湿度は 54% 。温度が変化しないで、相対湿度が 70% まで増加しているとすれば、大気圧はどれだけ変化しているのか。 45% までの減少の場合ではどうか。

4.86 37°C で相対湿度 81% の空気の絶対湿度を求めよ。この温度での飽和水蒸気圧は 5.95 kPa である。大気圧は 101 kPa と見なす。

4.87 閉じた体積 2 m^3 の中に、 97.6 g の水が入っており、その上にみつど 51.2 g/m^3 、圧力 7.36 kPa の飽和水蒸気がある。温度一定下で、体積を 10 m^3 まで増加させる。最終圧力、その温度、相対湿度を求めよ。

4.88 可変体積のタンク（ふいごやアコーディオンのようなペローズ）は、温度 25°C 、湿度 62.5% 、圧力 98 kPa の空気 4 L の容量を持っている。容器に若干の水を持ってきて、タンクを密閉し、タンクを引っ張り、その体積を 20 L まで増加させる。その時温度は不変であるが、湿度は 80% まで増加する。水の量と最終の空気の圧力を求めよ。

4.89 体積 1200 L を占める空気が温度 295 K で、相対湿度 75% のもとにある。空気の体積を 25 分の 1 、温度は 100°C まで上げるとすると相対湿度はどうか。

第5節 液体の性質

例題24 温度一定下で、半径 4 mm の水銀の球状の液滴を 8 つの同型の球状の液滴に分離するためにはどれだけのエネルギーを消費しなければならないか。

例題25 補足圧（ラプラスの圧力）を求めよ。

- 1) 直径 12 mm の球状水滴において
- 2) 直径 16 mm のシャボン玉において
- 3) 水中にある 2 枚の平行ガラス板の間隔が 12 mm のとき。完全に濡れているとする

例題26 直径 0.2 mm のガラス細管中での水の上昇する高さ、とこの時表面張力のなす仕事を計算せよ。この仕事は何に消費されるか。接触角度は 30° 、水温は 20°C 。

表面張力。液体の表面層の自由エネルギー。

5.1 液体状態にある物質は、固体のように振る舞うことができるか。

5.2 液体は固有の形状を持っていないという確信は常に正しいか。

5.3 厚さ 10^{-10} m オーダー（分子運動圏の半径）の液体の表面層の脂質は他の層の性質と異なる。何故か。

5.4 水の静水圧はどれだけの深さで、室温におけるその表面層の圧力と同じとなるか。

5.5 液体中にある物体は何故分子の圧力の作用を受けないのか。

5.6 液体の表面層の表面圧力、表面張力、自由エネルギーは加熱と共にどの様に変化するか。

5.7 その自由表面が増大すると液体の温度はどう変化するか。液体は熱絶縁され、蒸発はないとする。

5.8 半径が2.16 mm、質量が42.5 mgの水滴の表面層の自由エネルギーを求めよ。

5.9 半径12 mmのシャボン玉の表面の自由エネルギーを求めよ。

5.10 大きさ6 cm × 3 cmの長方形の枠に石鹸膜が張り付いている。大きさを3倍縮めると膜の自由エネルギーはどの様に変化するか。

5.11 温度293 Kの球状水滴を質量18.1 mgの同型の2つの球状水滴に分割するために、どれだけのエネルギーが必要か。

5.12 8個の同型の水銀液滴が影響しあって1個の球状液滴を形成する。この時水銀の温度はどれだけ上昇するか。

5.13 石鹸膜が張られた可動の水平棒のついた導体棒が垂直に配位している。直径1.08 mmである銅の横棒が釣り合いの状態にあるとして、石鹸溶液の表面張力を求めよ。

5.14 水の表面張力を求めるとき、スタンドに固定したビューレット管を利用した(図参照)。174滴で全体の質量は5.00 gであった。ビューレット管の穴の直径は1.38 mm。水の表面張力を計算せよ。

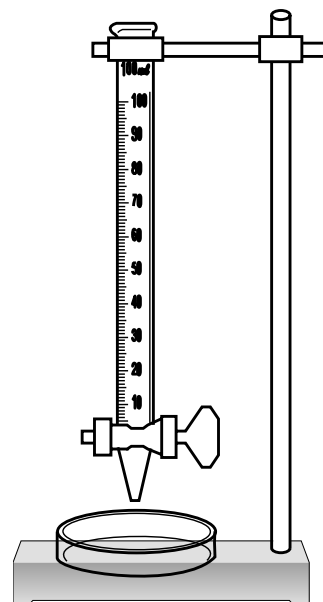


図5.14

5.15 穴の直径1.5 mmのビューレット管から1秒毎に1滴の灯油が流れ出す。どれだけの時間で31.4 cm³流れ出すか。

5.16 小さい直径の穴を持ったビューレット管から水が流れ出し、その後で同じ体積のアルコールが流れ出す。水が150滴流れ出したとすれば、アルコールなどれだけの数の液滴を形成するか。

5.17 平均直径85 mmの5.2 gのアルミニウムリングをグリセリンの表面から引き離すために必要な力はいかほどか(図参照)。

5.18 水の表面張力を求めるために、質量6.1 gのアルミニウムリングを水の表面から引き離す(問題5.17の図を参照)。離れる瞬間、秤は0.15 Nの力を示した。リングの平均直径を200 mmと見なし、水の表面張力を求めよ。

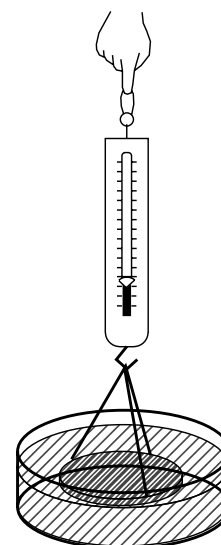


図5.17

5.19 平均直径120 mmの銅リングが水面上に水平に接している。リングを引き離すために必要な力を求めよ。銅の断面積は2.2 mm²。

5.20 長さ10 cm、質量4.8 gの細い木の棒が水面に浮かんでいる。水面の片側の端に灯油を垂らすと、棒はどれだけの加速度でどの方向に動き始めるか。媒質の抵抗は考慮しない。

濡れ。表面の曲率による圧力。毛管現象。

5.21 水はいつでも濡れの性質のある液体であるか。水銀は濡れない液体か。

5.22 染色、半田付け、溶接では液体のどのような性質を利用しているのか。

5.23 アルミニウムは通常の（錫の）半田で半田付けできないのは何故か。

5.24 半分まで水の入ったガラス製の球形容器を無重力条件の下におく。液体は濡れた状態であるか、それとも濡れない状態であろうか。容器は閉じてある。

5.25 1辺が2 cmのコルク製の立方体が水面に浮いている。濡れは完全として、立方体に沈む深さを求めよ。

5.26 脂肪に馴染みやすい細い円柱鉄針は水面に浮くことができる。その最大直径を求めよ。針に沈む深さは直径の半分。針の直径 d はその長さ L の0.05。

5.27 濡れやすい液体、濡れにくい液体は加熱により曲率はどのように変化するか。

5.28 開放端を閉じた後、三つ又管の2つの端にシャボン玉A、Bを膨らます（図参考）。外部の影響がないようにしておくと、シャボン玉はどうなるか。

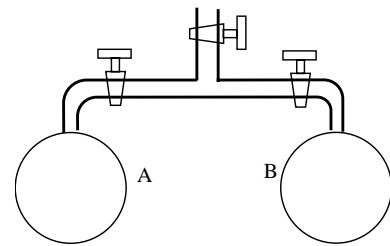


図5.28

5.29 表面が作り出すラプラスの圧力を求めよ。

a) 水中にある直径18 mmの空気玉。

b) 直径20 mmのシャボン玉。

5.30 半径 r 、表面層エネルギー P の水滴におけるラプラスの圧力を求めよ。

5.31 空気の泡が水の表面にあったとき、その半径が1 mm。常圧で、293 Kのもとで、泡の中の空気の密度はいかほどか。

5.32 ガラス管内の水の歪んだ表面が320 Paのラプラスの圧力を作り出しているとき、管の内径は幾らか。接触角は30°。

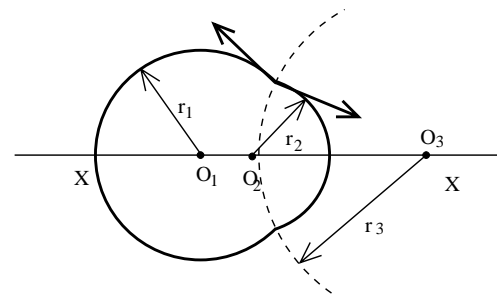


図5.33

5.33 半径 $r_1 = 24$ mm、 $r_2 = 20$ mmの2つのシャボン玉が衝突している表面が球形状をしているとして、この表面が作っているラプラスの圧力、その半径 r_3 を求めよ（図参考）。これらの衝突点でシャボンの帯が形成している角度を求めよ。

5.34 水銀液滴が2枚の平行な板の間にある。板の間隔を3.02 μ mとするには、どれほどの力で2枚の板を押しつけないといけないか。液滴の質量は306 mg。濡れは無い。

5.35 蝋燭の芯、ガーゼの包帯、吸い取り紙の作用を説明せよ。

5.36 干ばつの時、地面に固い層が形成される。地面の下層を干上がらないようにするためには、その固い層を保持しなければならないか。

5.37 地表面に地下水を持ち上げるために、どうしたらよいか。

5.38 アルコールの表面張力の測定に、内直径 0.15 mm の円筒管を利用した。温度 293 K で、アルコールはその管内を 7.6 cm 上昇した。実験の結果からアルコールの表面張力は何と等しいか。

5.39 温度 293 K の時、水が管内をそれぞれ 15 mm 、 40 mm 上昇した。各々の円筒管の内直径を求めよ。

5.40 細管において、液体が広い容器の水面から高さ H だけ上昇した。細管を沈めていきその上端が液面に近づくとどうなるか。

5.41 細管の内直径は 0.2 mm 。その管内を水、灯油がどれだけ上昇するか計算せよ。水銀ではどれだけ下降するか。温度は室温。灯油の場合において、表面張力のなす仕事、液体柱のポテンシャルエネルギーを計算せよ。

5.42 内直径 0.66 mm の細管をエーテルが上昇する高さはいかほどか。管との接触境界における接触角度は、エーテルと空気では 20° と同じである。この細管では水銀はどれだけ下降するか。水銀の場合の接触角度は 155° に等しいとする。

5.43 水の入った缶に細管がおいてある（図参照）。缶の水面上高さ H の所の歪んだ表面の位置する点 B における圧力を求めよ。大気圧は P_0 。

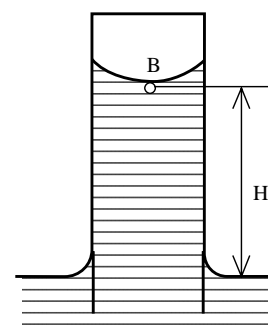


図 5.43

5.44 容器の底は水に濡れない篩でできている。水が底から漏れ出ないまで、どれだけの高さまで水を注ぎ入れることができるか。灯油の場合についても考察せよ。篩の穴の直径は 0.22 mm 。

5.45 ガラス円筒の底に直径 1.0 mm の穴がある。円筒の底の直径は 10 cm 。水銀が漏れ出るまでにどれだけの量まで注ぎ入れることができるか。

5.46 U字型細管の左右端の内直径は各々 $d_1 = 1.0\text{ mm}$ 、 $d_2 = 0.20\text{ mm}$ 。管に注ぎ入れた水の高さの差 h を求めよ：灯油、水銀。この管に飽和硫酸銅を入れ、差が 105 mm の時、液の表面張力は何に等しいか。

5.47 U字細管の内半径が R_1 、 R_2 で $R_1 < R_2$ である。高さ h の細い方から水が流れ出さないためには、太い方にどれだけの高さまで水を注ぎ入れることができるか（図参照）。

5.48 問題 5.47 において液体を加熱すると細管中の液面の差はどの様に变化するか。

5.49 2つの開放端を持つ長い細管が水で満たされ、垂直に配置されている。細管の直径は 1.2 mm 。水はどれぐらいの高さまで管中にとどまることができるか。

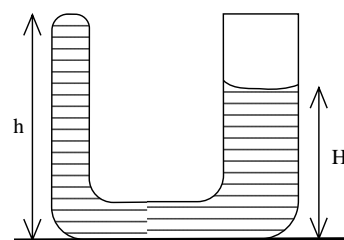


図 5.47

5.50 2枚のガラス平板が部分的に水に沈んでいる（例題 2.5 参照）。濡れは完全として、板の間を水が上昇する高さ、板を引き寄せる力を求めよ。板の幅 $b = 5\text{ cm}$ ；いたの間隔 $d = 0.25\text{ m}$ 。

浸透圧。粘性。

5.51 温度 40° で 0.5 L の水に 10 g の砂糖 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ の融けている溶液で発生する浸透圧を計算せよ。解離は存在しないと見なす。

5.52 浸透圧が 260 kPa となるためには、 298 K で水 1 L にどれだけの硫酸ナトリウム Na_2SO_4 を溶かす必要があるか。

5.53 水の入った槽に半透明膜が張られた長いパイプのついた逆さになった漏斗があり(問題 1.34 の図参照) 3 L の水に 0.5 g の硫酸銅が溶けた溶液が入っている。温度は 288 K 。パイプと槽の液面差は何に等しいか。

5.54 直径 2 mm の鉄球がグリセリンの入った容器中を一定の速さ 1 cm/s で沈んでいく。球の運動抵抗は $F = 6\pi r\eta v$ 、ここで r は球の半径、 v は速さ、 η は液体の粘性である。グリセリンの η を求めよ。ひまし油についても同じことをせよ。この時の球の落下速度は 0.19 cm/s 。

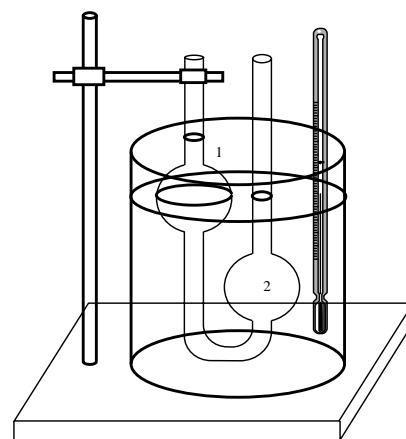


図 5.55

5.55 水より小さいか少し大きい粘性を測定するのに使用するオストバリド粘性計が図に示してある。実験では最初に水の体積を正確に定める装置(目印 1 から 2 の間)を流れる経過時間 t_1 を見出し、続いて、非検体液体の同じ体積の経過時間 t_2 を見出す。公式 $\eta_2 = \eta_1 t_2 / (t_1)$ 、ここで η_1 と ρ_1 は粘性 η_2 を測定する 293 K での水の粘性と密度である。この温度で、ベンゾール、エチルアルコール、ニトロベンゾールの粘性を計算せよ。各々の液体に対する t_2 は 42 s 、 90 s 、 100 s で、水に対しては $t_1 = 60\text{ s}$ 、 $\rho_1 = 0.001\text{ Pa}\cdot\text{s}$ である。エーテルの同体積が粘性計を通過するためにはどれだけの時間が必要か ($\eta_2 = 2.43 \times 10^{-4}\text{ Pa}\cdot\text{s}$)。

5.56 水より極めて大きな液体の粘性を測定する目的のエンゲレル粘性計が図に示してある。最初、容器 A から非検体液体 200 g が流れ出す時間 t_2 と同じ容器から水が流れ出す時間 t_1 の関係を求める。公式 $\eta = (7.32 \times 10^{-6} / E) \times 10^{-6}$ を用いて、各種液体の粘性を求めよ。ここで ρ は該当する液体の密度、 $E = t_2 / t_1$ 。共に 293 K においてである。液体としてアニリン、フェノール飽和溶液、重油。密度は各々 $\rho = 1250\text{ kg/m}^3$ 、 $\rho = 900\text{ kg/m}^3$ 。液体 200 g の流出時間は各々 63.5 s 、 87.5 s 、 400 s 。水 200 g の流出時間は 50 s である。ニトロベンゼン 200 g ではどれだけの流出時間となるか ($\eta = 0.002\text{ Pa}\cdot\text{s}$)。

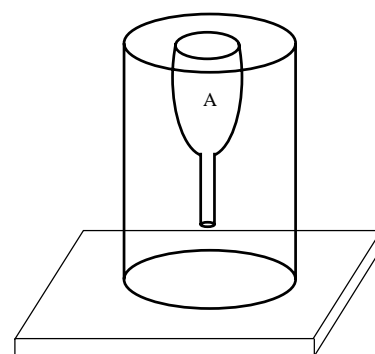


図 5.56

第 6 節 固体の性質。溶解と結晶化。変形。

例題 27 銀の微結晶は立方面心格子(問題 6.1 参照)であることを知っておいて、各銀原子の再近接原子数、基本単位格子中の原子数、格子定数、原子間の最短距離を求めよ。

例題 28 冷蔵庫の効率が 80% 。初期温度 289 K の水 150 g を氷とするために、冷媒フロン

12のどれだけ蒸発が必要か。

例題29 断面積 2 cm^2 、長さ 0.5 m の鉄棒に質量 5 t の錘を吊す。材料の伸長強度限界が 1.25 GPa である時、棒の強度の余裕を求めよ。棒の相対的な伸びと弾性変形によるエネルギーはいかほどか。棒の質量は無視する。

例題30 焼き戻し鋼鉄の弾性限界は 572 MPa 。長さ 3 m 、断面積 1.2 mm^2 の鋼鉄線が引っ張り力のもとで 8 mm 伸びるとすれば、バネ及び板のひずみはどうか。そのような力の作用のもとでどのような変形が起こるか。

結晶の空間格子

6.1 図に基本格子が描かれている。aは単純、bは体心、cは面心格子である。各場合について次のことを求めよ。再近接原子数と格子の原子数。格子定数と最短原子間距離 d を計算せよ。各々の格子において、 d/a は 1 、 $\sqrt{3}/2$ 、 $\sqrt{2}/2$ 。

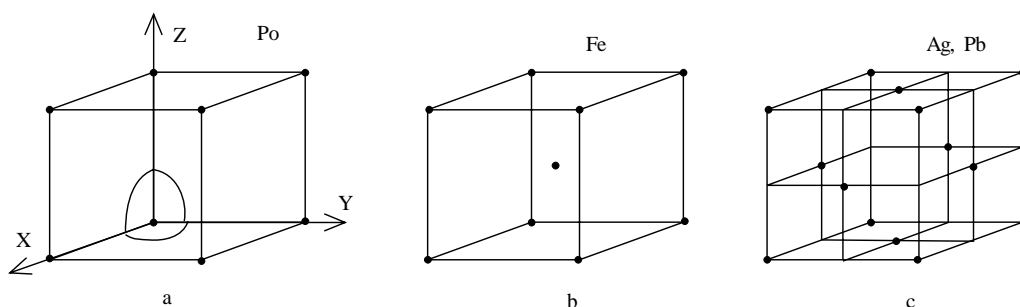


図6.1

6.2 図にダイヤモンド（或いはゲルマニウム）の立方格子が示されている。立方体中の黒丸印が原子。平面格子として見たときの様子と、2つの面心格子として見たときの様子を表現せよ。それらのうちの1つを4分の1だけ対角線方向に移動したものである。各原子の近接原子数、基本格子にある原子数を求めよ。

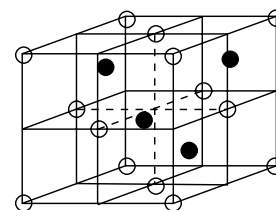


図6.2

6.3 ダイヤモンド空間格子の格子定数と最近接間隔を求めよ（問題6.2の図を参照）。大きさ $12\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 0.74\text{ cm}$ のゲルマニウム板に含まれている原子数を求めよ。

6.4 アモルファス物質は何故等方結晶と異なっているのか。

6.5 溶融物から金属が結晶化する過程で多結晶が得られる。何故か。

6.6 金属がより固いときには、大きい結晶粒或いは小さい結晶粒か。

6.7 溶融物からアモルファス材料を得ることができるか。

6.8 イオン結晶の破碎における堅さが、破碎応力の理論値より千倍も小さいのは何故か。

溶解と結晶化

6.9 貯水池の水が凍るとき、何故最初にその表面が氷で覆われるのか。

- 6.10 解氷期にはより寒くなり、降雪期にはより暖くなるのは何故か。
- 6.11 ヒューズ安全器で鉛導線が使われ、白熱電球でタングステン導線が使われるのか何故か。
- 6.12 同じ体積で同じ温度の物質のどちらが冷剤としてより優れているか。川の氷と雪。
- 6.13 冬季に自動車の停留所で冷却システムから水を抜き出すのは何故か。
- 6.14 溶けている雪に、温度 0° の氷の入った試験管を入れた。試験管の氷は融けるか。
- 6.15 質量が等しい水と氷の温度は共に 0° である。それらの内部エネルギーは等しいか。
- 6.16 氷の大きな融解熱と水の蒸発熱は春の農耕作業においてどのような価値を持っているか。
- 6.17 0° と -10° の氷を 200 g 溶かすためにはどれだけの熱が必要か。
- 6.18 200 g の硫黄を融点から 20° まで凝固及び冷却すると放出される熱量は幾らか。 200 g のナフタリンではどうか。
- 6.19 -20° で取り出した氷加熱により 100° の水となった。氷の質量は 10 kg 。消費された熱量を求めよ。
- 6.20 100° の水蒸気を -20° の氷にするときに放出される熱量は幾らか。蒸気の質量は 6 kg 。
- 6.21 0° の氷を溶解するのに4分を必要とし、 100° まで加熱するのに5分必要とした。周りへの熱の損失を無視して、氷の融解熱を求めよ。
- 6.22 暖かい室内で、水の温度が10分間で 5 K 上昇した。この室内で、同じ質量の 0° の氷はどれだけの時間で半分融けるか。熱交換速度は一定とする。
- 6.23 家庭用冷蔵庫は20分間で 1.5 L の水を 16° から 4° まで冷却する。同じ状況下で、冷蔵庫が水の 40% を氷に変えるためにはどれだけの時間が必要か。
- 6.24 氷の上にあるアルミニウムブロックが完全に氷の中に沈むためにはブロックを何度まで加熱すればよいか。氷の温度は 0° 。
- 6.25 一定の条件の下では水は 0° 以下に冷却しても氷とならない。 -10° まで過冷却した 1000 g の水に小さい氷を投げ入れると結晶化が起こる。どれだけの氷が形成されるか。
- 6.26 0° にある質量 100 g の氷が断熱カバーで囲われ、 55.93 MPa の圧力を受けている。 13.98 MPa の圧力の上昇で融解温度が 1° 下がるとして、氷の融ける量を求めよ。
- 6.27 断熱カバーで囲われた氷の20分の1を溶かすためにはどれだけの圧力が必要か。(問題6.26を参照)。
- 6.28 0° 、 575 g の水の入っているフラスコから、空気と水蒸気を排気する。それによりフラスコ内で水の一部分が凍った。氷の量を求めよ。
- 6.29 0° 、 518 g の水がフラスコに入っている。フラスコから空気と水蒸気を抜いて水を凍

らせた。どれだけの水が蒸発したか。

6.30 質量 0.2 kg 、温度 23.5 の水 0.34 kg の入った熱量計に 0 、 81.5 g の氷を入れる。氷が融けた後の熱量計の温度を求めよ。

6.31 25 、 0.7 kg の水が入っている熱量計に 0 の氷を入れる。氷が融けると、熱量計内の水は 0.775 kg で 15.2 となった。熱量計の質量は 0.2 kg 。実験のデータを利用して、氷の融解熱を求めよ。

6.32 アルミの鍋に入っている 20 、 2 kg の水を -10 の氷の塊で 10 まで冷やす。鍋の質量は 500 g 。どれだけの氷が使われたか。

6.33 10.5 、 5.52 kg の水が入っている容器に、 -20.4 、 455 g の氷を入れるとどうなるか。 5.692 g の氷ではどうか。容器の熱量量は無視する。

6.34 熱量計に 450 g の水と 325 g の氷が入っており、 0 である。温度を 22.5 とするためには、 100 の水蒸気をどれだけ導入する必要があるか。熱量計の質量は 224 g 。

6.35 容器に 0 、 2 L の水と氷が入っている。 100 の水蒸気 380 g を導入した後、氷は融け、水温は 70 となった。容器内の氷の量はいくらであったか。容器の熱容量は 57 J/K 。

6.36 温度 19 の水 20.5 L が入っている質量 6 kg の銅製の釜に融点温度で溶けている錫を注ぐ。その後、 100 g の水が蒸発し、釜の温度は 32 となった。熱の損失を 25% として、錫の質量を求めよ。

6.37 温度 20 、 2 L の水の入っている容器に温度 327 の鉛を 0.65 kg そそぎ入れる。この時水の一部は蒸発し、温度は 23.5 となった。容器の熱容量として 120 J/K 、熱の損失を 25% を採用し、蒸発した水の質量を求めよ。

6.38 錫が地面に衝突して溶けるためには、どれだけの高さから落とすべきか。錫の加熱と溶解において、重力の仕事の 50% が使われる。錫の初期温度は 0 。

6.39 鉛を高度 2 km から真下に投げる。鉛の半分が地面との衝突で融けるためには、どれだけの初期速度で投げるべきか。鉛の初期温度は 20 。物体の力学的エネルギーの 60% が加熱と融解に消費される。

6.40 地球の大気中で隕石が蒸発するためには、最低どれだけの速さが必要か。隕石の初期温度は絶対零度に近い。

6.41 衝突したとき蒸気となるには、2つの氷山はどれだけの速さで正面衝突しなければならないか。氷山の初期温度は -100 。周りへの熱の伝達は無視する。

6.42 1 t のアルミニウム鋳物を得るためにはどれだけの熱量が必要か。鉄ではどうか。鋳物生産装置の効率前者には 35% 、後者には 45% を適用する。金属の初期温度は 0 。

6.43 3 t の石炭を消費するならば、効率 18% の炉でどれだけの銑鉄を溶かすことができるか。銑鉄の初期温度は 20 。

6.44 初期温度 25 の 10 t の銅を溶かさなければならない。効率 30% の溶鉱炉でどれだけの石油を燃やす必要があるか。

6.45 240 g のアンモニアの蒸発で初期温度 18 °C の水 0.6 L を氷にすることができる冷凍設備の効率を求めよ。

6.46 100 g のフレオンの蒸発により 0 °C の氷がいくら得ることができるか。冷凍設備の効率は 87 %、水の初期温度は 15 °C、水の 4 分の 1 が氷に変化する。

6.47 家庭用冷蔵庫の中で、2 時間の作動下で、水が 20 °C から 0 °C まで冷却される。この水のうち 5 分の 1 が氷となる。冷蔵庫は 75 W であるとして、冷蔵庫の効率、室内の空気の放出される熱量を算出せよ。

6.48 2 つの同型のデュワー瓶があり、それらの 1 つには沸騰している窒素、もう一方には 0 °C で融けかかっている氷が入っている。6 時間で前者の瓶から 99.65 g の窒素が蒸発し、後者では 8 時間で 6.94 g の氷が融けた。窒素の沸点を求めよ。窒素の蒸発熱は $1.88 \times 10^5 \text{ J/g}$ とする。周りの空気の温度と圧力は両方の場合で 20 °C、101.3 kPa である。

相転移

6.49 P-T 状態図（図参照）において、どの点が 3 相 - 固体、液体、気体の釣り合いに対応しているか。この点は何と呼んでいるか。水ではそれらのパラメータはどうなるか。

6.50 3 重点を持っていない物質は自然に存在するか。

6.51 固体と気体の間の曲線は原点から始まる（問題 6.49 の図参照）。これからどのような結論が出るか。

6.52 氷、ビスマス、ガリウム の p-T 状態図で（図参照）溶解曲線は左に傾いている。これは何を示しているのか。

6.53 融解過程を相転移と見なすことができることを常に確信することは正しいか。

6.54 P-T 図で（問題 6.52 参照）物質の状態は点 C で特徴づけられる。物質を等温圧縮を合わせると、どのような変化が生ずるか。

6.55 P-T 図（問題 6.52 の図参照）で、結晶物質の状態が C' 点で特徴づけられる。それを一定圧力のもとで加熱すると何が生ずるか。例を述べよ。

6.56 固体二酸化炭素が常圧下で何故昇華するのか。二酸化炭素の 3 重点は 516 kPa、216 K。

6.57 等圧冷却において気体物質が、最初液体に、続いて固体になるためにはどのような条件が必要か。

6.58 8.5 °C、0.15 kg の水に、-8 °C の氷 60 g を入れた。水 - 氷の系を熱絶縁されていると見なし、熱平衡が達成されたときの温度を求めよ。

6.59 0.9 kg の錫に 75 kJ の熱を与えると、半分が溶解し、液体と固体の間には熱平衡が

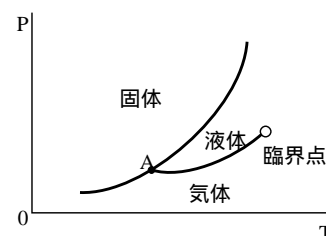


図 6.49

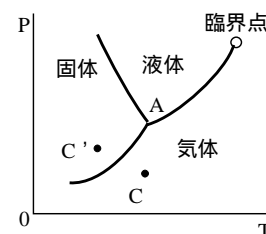


図 6.52

達成された。錫の初期温度を求めよ。周りへの熱の損失は無視する。

6.60 状態図（問題 6.49 の図参照）において、液体 - 気体相転移線が点 K（臨界点）で途切れているのは何故か。臨界点以上の高温で気体の液体への転移は可能か。

6.61 具体的な物質において、昇華熱は蒸発熱より大きいことが知られている。エネルギー保存法則に反しないためには、この差違は何なのであろうか。

6.62 0 °C の氷が入っている容器に質量 450 g の熱い銑鉄の塊を入れる。沈めるときの瞬間の塊の体積は 61 cm^3 。熱平衡が達成されたとき溶けるか。容器の加熱及び周りへの熱の損失は無視する。0 °C における銑鉄の密度は 7400 kg/m^3 とする。

6.63 熱量計に 400 g の水と 27.19 g の氷が入って、温度は 0 °C である。100 °C の飽和水蒸気を水に導入し、温度 10 °C で熱平衡に達した。この温度を求めよ。熱量計の熱容量、周りとの熱交換は無視する。

6.64 やかんの水は蓋が閉じていると早く沸き立つ。何故か。

6.65 蒸気タービンでは何の目的で過熱蒸気を使用するのか。

6.66 近日点に接近したとき、彗星の核の変化はどのようなものか。

6.67 雪崩の後に何が残されるか。

力学的強度。変形

6.68 建物の壁、起重機のロープ、鉄道の線路、車の車軸、切断中の紙はどのような変形を受けるか。

6.69 軸の断面積はどのように変化するか。軸方向への圧縮。軸方向への引っ張り。

6.70 2 枚の平行板の間にある物体に、2 つの力が対向して作用している。物体はどのような変形を受けるか。

6.71 石はどのような変形で、圧縮、曲げ、ねじりに耐えるのか。石は建物、門、アーチでどのような変形を受けるか。

6.72 コンクリートは圧縮によく耐えるが、引っ張りには弱い。鋼鉄は引っ張りに対して極めて耐える。鉄筋コンクリートはどのような性質を持っているか。

6.73 軸に 150 MPa の圧力が発生するのは、軸方向にどれだけの力が作用するときか。軸の直径は 0.4 cm 。

6.74 起重機のフックの軸直径はいくらでなければならないか。25 kN の荷物を等速で持ち上げ、軸方向の強度が 60 MPa を越えないものとする。

6.75 質量 m 、断面積 S の弾性軸が全体で一様に加速度 a で縦方向に動く、軸の加速度運動によって軸の中心を通る断面積にかかる強度を求めよ。

6.76 断面積 3 cm^2 の鉄の軸は、質量 7.5 t の荷物をぶら下げたとき、どれだけの靱性を持

っているか。この鉄の許容引っ張り強度は 600 MPa である。軸の質量は無視する。

6.77 ??? 断面積 1 mm^2 の鉄線 200 本からできているワイヤーでどれだけの荷物を吊り上げることができるか。

6.78 質量 500 kg のエレベータが加速度 0.5 m/s^2 で上昇する。ロープは張力 0.5 GPa の強度限界である。靱性を 10 倍とするためにはロープの断面積をいくらしなければならないか。

6.79 質量 2 t の荷物が直径 1 mm の線でできている鉄ワイヤーで定速で持ち上がる。鉄線の強度限界が 580 MPa の時、靱性を 10 倍とするためにはワイヤーのどれだけの線が必要か。加速度 1 m/s^2 でこの荷物を持ち上げるときワイヤーの靱性は幾らか。

6.80 自身の重力の作用で、垂直にぶら下がっている長さ L の鉄線にはどのような応力が発生しているか。この応力は線の断面積にどのような依存をするか。

6.81 垂直に吊された鉄線は空気中で自身の重さで裂け始めるのはどれだけの長さで下。海水中ではどうか。鉄の強度限界は 600 MPa 。海水の密度は 1030 kg/m^3 。

6.82 高さ 20 m の煉瓦の壁の土台にはどれだけの応力がかかっているか。壁の貴台に組み入れる煉瓦と壁の上方の煉瓦で強度を同じくしなければならないか。

6.83 圧縮に対する煉瓦の強度は 60 MPa 。靱性 8.0 の煉瓦建物の最大の高さは幾らか。

6.84 同じ材質で同じ断面積を持つ 2 本の軸が異なる長さ (L_1 と L_2) をもつ。同じ力の作用のもとでこれらの相対的な伸びが同じかどうか調べよ。絶対的な伸びが同じとするためにはどちらの軸に大きな力を加える必要があるか。

6.85 同じ材質からできている 2 本の線を同じ大きさの張力で引っ張ると。それらの相対伸びはどう違うか。線の長さと直径は 1 本は他方の 2 倍大きい。それらの絶対伸びの違いはどうか。線の質量は無視する。

6.86 断面積 4 mm^2 のアルミニウム線を引っ張ると、 120 N の力のところで、残留ひずみを観測した。アルミニウムの弾性限界はいかに。

6.87 長さ 4 m 、断面積 2 mm^2 の真鍮線に最低どれだけの力で永久ひずみが現れるか。この時、線の絶対伸びはいかほどか。真鍮の弾性限界は 0.11 GPa 。線の質量は無視する。

6.88 断面積 2 mm^2 の銅線が 440 N の重さの荷で破断する。銅の強度限界は幾らか。

6.89 アルミニウムの弾性限界は 31 MPa 、その強度限界は 0.13 GPa 。アルミニウムは塑性か弾性か。それを冷式プレスに使用できるか。

6.90 鋳鉄の圧縮強度限界は弾性限界当たりにある。鋳鉄をプレスすることができるか。圧延することはできるか。

6.91 長さ 5 m 、断面積 2.5 mm^2 の線は 100 N の力の作用で、 1 mm 伸びた。線の受けた応力、ヤング率、弾性ひずみエネルギーを求めよ。

6.92 480 N の力の作用のもとで、銅の軸が 1 mm 以上伸びないためには、断面積はいくらで

なければならないか。銅の引っ張り強度限界が 0.22 GPa の時、そのような応力に耐えられるか。軸の質量は無視する。

6.93 重さ 15 N の荷で、長さ 1.8 m 、直径 0.5 mm の鉄線はどれだけ伸びるか。その破砕の強度限界が 1.2 GPa にある時、この線は 100 N の重さの荷に耐えられるか。

6.94 長さ 2 m 、断面積 10 mm^2 の鉄の軸はどれだけ絶対伸長で 44 MJ のポテンシャルエネルギーを持つか。

6.95 銅の軸を引っ張ったとき、弾性力の仕事が 0.24 J の時、軸の相対伸長を求めよ。軸の長さは 2 m 、その断面積は 2 mm^2 。

6.96 長さ 1 m 、断面積 10 mm^2 の銅棒に質量 100 kg の錘を吊す。棒の弾性変形によるポテンシャルエネルギーを求めよ。

6.97 10 cm 伸ばすのに 100 N の力が必要なバネはどれだけポテンシャルエネルギーを持つか。

6.98 バネに質量 0.1 kg の錘を吊すと、バネの弾性変形によるポテンシャルエネルギーは幾らか。バネの弾性定数は 1 N/cm 。バネは重さがないと見なす。

6.99 伸びが 4 cm となるためにはどれだけ錘を吊せばよいか。バネの弾性定数は 1000 N/m 。この時バネはどれだけポテンシャルエネルギーを持つか。

6.100 弾性定数 k の変形していないバネに、質量 m を吊し、手を離す。バネが最大に伸びたとき、バネの弾性変形によるポテンシャルエネルギーは幾らか。バネには重さが無いものと見なす。

6.101 弾性定数 $k = 1000 \text{ N/m}$ の重さの無いバネはどれだけポテンシャルエネルギーを持つか。それに質量 1 kg の錘をぶら下げるものとする。この様なバネ2本を直列に接続した系ではポテンシャルエネルギーはどうなるか。並列接続ではどうか。錘の質量は以前通りである。

6.102 同じ大きさの力の作用のもとで鉄と銅のバネが弾性変形をするとき、どちらが大きいポテンシャルエネルギーを持つか。バネの質量は無視する。

6.103 断面積 S の弾性体棒が長さ L_1, L_2 の2つの部分からできている(図参照)。各部分の材料の弾性率は E_1, E_2 。力の作用で、棒が L 縮む。この時点Bはどれだけ移動するか。棒全体の変形でどれだけ仕事がなされるか。

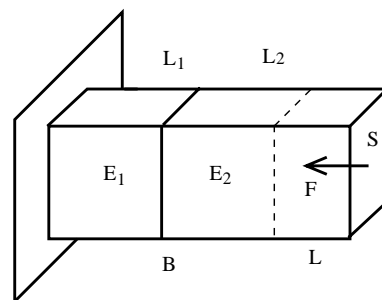


図6.103

第7節 物体の熱拡散

例題3.1 その伸長が 255 N の引っ張り力による長さと同じになるためには、断面積 5 mm^2 の銅線を何ケルビン過熱する必要があるか。

例題3.2 真鍮製の球に 161.5 kJ の熱を与えると、体積が 2.85 cm^3 増加した。真鍮の線膨張の温度係数を求めよ。得られた結果を数値表と比較し、相対誤差を求めよ。

例題3.3 ガラスフラスコは 0 で水銀を 680 g 、 100 で 670 g 収容できる。ガラスの線形

膨張の温度係数を求めよ。

線形熱膨張と表面熱膨張

7.1 温度が上昇すると物体が膨張するのは何故か。

7.2 レールを敷き設し、それらを連結するとき、継ぎ目に隙間をおき、継ぎ目板のボルト用穴を長めの形状とするのは何故か。

7.3 高感度秤の天秤棒の片方の肩を過熱すると何が起こるか。

7.4 補償付き時計の振り子の構造と動作について説明せよ（図参照）。それでは質量中心と支点の間隔は任意の温度で不変に保たれる。

7.5 蒸気パイプの中に補正器が利用させるのは何のためか。

7.6 鉄製の蒸気管に設置されている補正器中のギャップの最小値を算出せよ。0 での管の長さは2.5 m、蒸気の温度は140 とする。

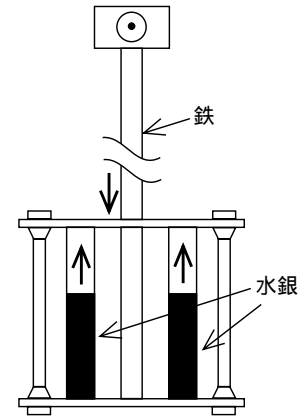


図 7.4

7.7 付表 1.3 に示されている材料の中のどれが測定器を作るのに最良か。

7.8 マイクロメータを使用し、金属製パイプの線膨張率を測定する。室温（293 K）で、真鍮パイプの長さが400 mm。管内を蒸気を通させた結果、マイクロメータに0.59 mmが示された。管の最終温度として蒸気の温度（373 K）を採用する。真鍮の線膨張の温度係数としてどのような値が得られるか。表の値と比較して、測定の相対誤差はどれだけか。

7.9 建設で利用されるコンクリートと鉄でできている塊は一昼夜及び一年の温度変化で壊れないのは何故か。

7.10 白熱電球のガラス球部分に溶着される電極の材料はどのような条件を満たさなければならないか。この材料名を上げよ。（付表 1.3 を参照）

7.11 293 Kで400 mの銅線と同じ長さの鉄線を用意する。373 Kではそれらの長さの差はいくらになるか。

7.12 任意の温度で、アルミニウム棒と銅棒の長さの差は12 cmである。0 での各々の長さを求めよ。

7.13 鉄道の橋の鉄製梁は10 75 mの長さである。温度が-30 から40 まで変化したとき、梁の自由端が乗っているトロッキの移動量を求めよ。

7.14 鉄道レールの長さが30 の時12105 mである。238 K、273 Kの時、レールの長さを求めよ。

7.15 馬車の車輪に鉄輪をはめるとき、700 Kだけ加熱する。車輪の直径は1310 mm、輪の初期の直径は1300 mm。車輪に輪は填るか。

7.16 瓶の口に差し込まれているガラス栓の直径は60 mm。栓を抜くために、瓶の口を120 Kだけ加熱し、栓自身は20 Kだけ加熱するものとする。栓と瓶口の間隔の大きさを求めよ。

7.17 電車の鋳鉄車輪は20 で直径1150 mm、それに用意されている鉄の帯金の直径は1145 mm。帯金と車輪の間の隙間が1 mmとなるためには、帯金を何度まで加熱すればよいか。

7.18 旋盤で鋳鉄のプーリーを加工すると、プーリーの温度は200 まで上昇する。0 まで冷えたとき、これの直径が400 mmとなるためには、200 でプーリーはどれだけの直径を有していなければならないか。

7.19 900 で圧延機から出てきた鉄板をすぐ帯状に切断する。20 まで冷却したとき長さが15 mとなるためには熱い状態での長さを求めよ。

7.20 バイメタル（鉄と銅）を使って、電気エネルギーの消費を制限することのできる簡単な電気回路図を示せ。

7.21 同じ幅で同じ長さの垂鉛と鉄の板でできているバイメタルが273 Kにある。100 Kだけそれを加熱したときの曲率半径を求めよ。加熱によりバイメタルの厚さ0.4 mmは無視できるぐらいのわずかな変化をする。

7.22 鉄棒に力を加え、1 Kの加熱で伸びる長さに等しい長さ伸ばす。どれだけの力が必要か。棒の断面積は1.1 cm²。

7.23 鉄線に錘を吊し、その伸びる長さが、20 Kだけ加熱したときの伸びに等しくするためには錘の質量をいくらとすればよいか。

7.24 アルミニウム線を508 Nの力で引っ張ったときの伸びに等しい長さだけ加熱で伸ばす。どれだけの温度が必要か。線の断面積は6 mm²。

7.25 銅線が2本の動かない支柱に張られている。温度は120 。銅線の弾性限界が200 MPaならば、どれだけの温度で破断の危険性が発生するか。指定の応力下でも、フックの法則は適用できるものと見なす。

7.26 鉄の梁の両端が部屋の対向する壁にぴったりと取り付けられている。室内の温度が30 K上昇したとき、壁に梁がなす圧力を求めよ。

7.27 鉄の梁が、その伸長を妨げる2本の支柱にしっかりと固定されている。量の断面積は150 cm²。支柱を押す力が1.4 MNとなるためには、梁の温度をどれだけ上昇させなければならないか。

7.28 薄い金属板に円形の穴が開いている。板を加熱するとその直径はどの様に変化するか。

7.29 温度を100 K上昇させると、薄い銅板の面積はどれだけ大きくなるか。273 Kで板の大きさは1.2 m×0.5 m。

7.30 0 でアルミニウム板の大きさは150 mm×80 mm。600 での板の面積を計算せよ。

7.31 273 Kで薄い銅板の大きさは0.8 m×1.5 m。板の面積を680 mm²大きくするためには板をどれだけの温度加熱すればよいか。

熱による体積膨張

7.32 0 で真鍮の錘は体積 58.82 cm^3 である。100 での体積を計算せよ。

7.33 0 でタンクは12 Lの体積があり、22 で 0.015 dm^3 大きい。タンクの材質は何か。

7.34 ガラス瓶の50 での容積は 3500 mL 。10 まで温度を下げると瓶の容積はどれだけ小さくなるか。0 ではどうか。

7.35 銅球を0 から100 まで加熱すると、その体積が 21.3 cm^3 増加した。加熱前の球の直径は幾らか。

7.36 鉄のブロックが453 Kで 645 cm^3 の体積を有している。ブロックの質量を求めよ。

7.37 初期温度0 で有していた真鍮の錘の体積が加熱後 0.54 cm^3 だけ増加した。錘はどれだけの熱量を得たか。

7.38 水銀の加熱に 17 kJ の熱量が使われた。体積はどれだけ増加したか。水銀の初期温度は 273 K 。

7.39 温度40 、 -40 でのインバール合金の密度を求めよ。0 でのインバール合金の密度は $7900 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

7.40 鉄部品が0 で体積 3 dm^3 ある。その加熱に 1.62 MJ の熱量を使ったとすると、体積はどれだけ増加するか。何度まで加熱されるか。

7.41 150 、 -30 での水銀の密度を算出せよ。

7.42 20 までの温度上昇で灯油がブリキ缶の端まで満たすようになるには、0 で20 Lのブリキ缶にどれだけの灯油を注ぎ入れればよいか。ブリキ缶の膨張は考慮しない。

7.43 問題7.42でアルミニウム缶として、缶の熱膨張を取り入れて問題を解け。

7.44 0 でタンクを満たしている石油の質量は 81.6 kg 、20 では 1.6 kg ずくない。石油の熱膨張係数を見いだせ。タンクの熱膨張は考慮しない。

7.45 円筒型で垂直に立っているタンクに、-10 で6 mの高さまで石油を注いだ。20 まで温度が上がると、タンク内で石油の高さはどれだけ増すか。-10 で石油の液面がタンクの縁より 24 cm 低いとき、石油が縁からあふれる危険が発生するのは何度でか。

7.46 バッテリー内の電解液のレベルが5 で店板の穴の下4 mmである。電解液は何度で漏れ始めるか。バッテリーの高さは 300 mm 、電解液の体膨張温度計数は $4.3 \times 10^{-4} / \text{K}$ 。

7.47 タンカーへの積載は30 で行われ、1区画に 1600 m^3 の石油が注がれた。-5 で同じ質量の石油の体積はどれだけ減るか。

7.48 0 でタンクは 12.2 kg のグリセリンを収納し、20 では 12.2 kg である。タンクの方法の線膨張温度係数を算出せよ。

7.49 液体の体積膨張温度係数を求めよ。
273 Kでガラスコップがこの液体を1000 g
収容し、423 Kでは22 g少ない。

7.50 液体の体積膨張温度係数を測定する
ための装置が図に描かれている。ガラス製U字
管の片方には非検体液体が入り、氷で0 °Cに
冷やされている。他方は水蒸気で100 °Cに
加熱されている。1回目の実験では、液体柱
の高さは250 mmと254.5 mmであつ
た。他の液体を用いたときには30 cmと
33 cmであった。実験の結果はいかに。

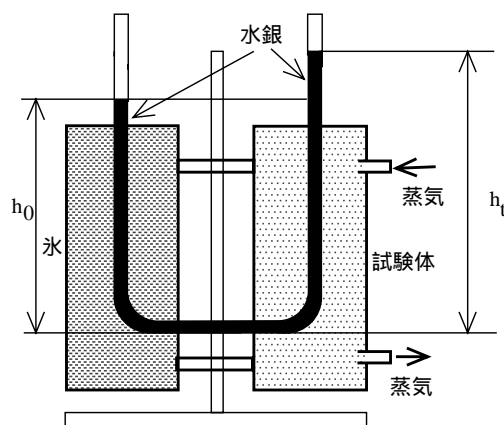


図7.50

7.51 加熱の結果体積が6.5 cm³だけ
増加したとすると、どれだけの熱量が水に伝達
したか。水の比熱と体積膨張温度係数として、
 $c = 4200 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ 、 $\beta = 1.5 \times 10^{-4} / \text{K}$ を適用する。

7.52 質量850 gの真鍮製立方体を糸に吊して最初40 °Cの灯油に沈め、次に80 °Cの灯油に
沈める。両方の場合について、立方体により押し出される液体の重さを算出せよ。

7.53 水銀の加熱で、2.5 kJの熱量を使った。この時、水銀の体積は273 Kで占めていた
体積の0.009だけ増加した。水銀はどれだけの温度上昇したか。水銀の質量は幾らか。

7.54 質量200 gの鉛球に糸を固定し、20 °Cの水に沈める。水と球の温度が60 °Cまで上昇
したとすれば、糸の張力はどれだけ変化するか。

第2章 電気力学の基礎

第8節 荷電の相互作用。荷電の保存法則。クーロンの法則

例題34 2つの荷電球が間隔40 cm離れて、 $270\text{ }\mu\text{N}$ の力で反撥している。その後、2つを接触させた後、再びもとの距離だけ離すと、それらの反発力は $360\text{ }\mu\text{N}$ となった。球の直径は同じであり、間隔に比較して十分に小さいものとして、接触前の各々の荷電量を求めよ。もしそれらの荷電量が反対符号を持っていたとするならば、接触後には球はどのような力で相互作用しあうか。

8.1 検電器にガラス棒と絹を近づけたとき、検電器の絶縁された導体の荷電の符号を判断する必要がある。これはどの様にしてやるのか。

8.2 正に帯電したガラス棒が絹糸で吊された導体球を自分の方に引きつけるならば、この導体球は負に帯電していることを、何故確信できるのか。

8.3 導体球がガラス棒と反撥するならば、導体球は正の荷電を持っている、ということを確信することは当然であろうか。(問題8.2参照)

8.4 荷電量 $+1.8 \times 10^{-8}\text{ C}$ 、 $-2.0 \times 10^{-9}\text{ C}$ を持つ2つの同型の導体球が引力により瞬間的に接触した。それらの間に荷電はどの様に分配されたか。

8.5 質量 270 mg のアルミニウム球において、100原子当たり1個の余分な伝導電子を持っている。球の荷電量を示せ。

8.6 全伝導電子を失ったという条件下で、直径 2.0 cm のアルミニウム球が持つ荷電量を求めよ。アルミニウム原子1個は1個の伝導電子を有するものと見なす。

8.7 工場では、滑車とベルトの良好な連結の目的のために松ヤニを用いる。爆発の危険性のある室内では、何故それを使うことが禁止されているのか。工場ではどのような目的で伝動ベルトに導電性ペーストを塗ったり、滑車をアースするのか。

8.8 自動車のタンクをガソリンで満たす際に、何故タンク同士を導線で結線したり、アースするのか。

8.9 火薬の生産工場では、何の目的で、炭素粉末で火薬をすっぽり包むのか。

8.10 片方の導体から、絶縁された他方の導体へ全荷電量をそのまま伝達することができるか。

8.11 絶縁された導体球に荷電 $1.57 \times 10^{-8}\text{ C}$ を与えた後の表面電荷密度を求めよ。球の半径は 5.0 cm 。

8.12 表面電荷密度を $2.5 \times 10^{-4}\text{ C/m}^2$ とするためには、半径 8.0 cm の絶縁された導体球にどれだけの荷電を与えなければならないか。

8.13 長方形板の形状をした帯電した導体を、円筒形となるように曲げた。表面電荷密度はどのように変化するか。

8.14 1 C という荷電量を理解するために、真空中、および水中で 1 C の2つの点電荷が間隔 1 m でどのような力で相互作用するか見極めよ。

8.15 2つの点電荷 $6.6 \times 10^{-2}\text{ }\mu\text{C}$ 、 $11\text{ }\mu\text{C}$ が 3.3 cm 離れて水中にある。相互作用力

を求めよ。その相互作用力はこれらの点電荷が真空中にあったとしたら、どれだけの距離に等しいか。

8.16 2つの点電荷が真空中に間隔0.3 m離れてあり、30 Nの力で相互作用しあっている。片方の荷電量は他方のより3倍大きい。これらの荷電量を求めよ。水中で、相互作用力が3倍となるのは間隔がどの様なときか。

8.17 2つの同型の点電荷が氷の入った容器中にあり、それらの間隔は0.2 mである。氷の温度は -18°C 。容器内が0 $^{\circ}\text{C}$ の氷となると、電気相互作用力が変化しないためには、荷電間の間隔16.2 cmだけ小さくした。0 $^{\circ}\text{C}$ の氷の比誘電率を88として、氷の比誘電率を求めよ。

8.18 間隔 $1.0 \times 10^{-8}\text{ cm}$ 離れている電子と陽子の間の電氣的相互作用力を求めよ。それは重力の何倍か。

8.19 大きさの無視できる2つの導体球が合わせて 5×10^9 個の過剰な電子を得た。これらが真空中で3.0 cm離れて、 $1.2\text{ }\mu\text{N}$ の力で相互作用しているとすれば、球にどのように荷電は配分されているか。各々の球はどれだけの過剰電子を有するか。

8.20 2つの同型の導体球が荷電量2 nC、4 nCを持って真空中で距離0.3 m離れて配置している。球同士を接触させると、前より遠ざかった。球の接触前後における電気相互作用力はどの様であるか。

8.21 任意の同符号荷電量 Q_1 、 Q_2 、任意の距離 r （問題8.20の条件を見よ）のもとで、 $F_2 > F_1$ （ F_1 、 F_2 は接触前後の電気相互作用力である）であることを証明せよ。

8.22 2つの同型の導体球が距離24.0 cm離れて、符号の異なった荷電を持ち、力2.45 mNで引き合っている。それらを接触させた後、もう一度もとの距離だけ離すと、反発力は2.89 mNとなった。球の最初の時の荷電量を求めよ。球の質量と大きさは無視できるほど小さい。

8.23 質量120 mgの導体球が絹糸で吊され、荷電量1.2 nCを持っている。その下、距離18 cmの所に2つ目の荷電球をおくと、糸の張力は半分になった。2番目の球の荷電量とその符号を定めよ。重力加速度は 10 m/s^2 。

8.24 細い絹糸は張力9.8 mNに耐える。この糸に荷電量 $1.10 \times 10^{-9}\text{ C}$ を有する質量670 mg吊り下げる。この球の下180 cmの所に、反対符号の荷電を持つ球を持ってくる。糸が切れるのは、この球の荷電量は幾らか。

8.25 30 nC、120 nCの2つの点電荷が真空中で80 cm離れている。それらの間に3.2 μC の第3番目の荷電を置く。この荷電が釣り合いに留まるためにはどこに位置すればよいか。3番目の荷電を置き換えると釣り合いは壊れるだろうか。

8.26 120 nC、-30 nCの2つの荷電が真空中で80 cm離れている。これらを結ぶ直線上に荷電3.2 μC があり、この荷電が釣り合いにあるためにはどこにあるべきか。それは安定しているか。

8.27 10 cm離れた2点A、Bに荷電 $5 \times 10^{-4}\text{ C}$ 、と $-5 \times 10^{-4}\text{ C}$ がある。線分ABの中間から5 cm離れた対称軸上に、電子10個分の荷電を帯びた雨滴がある。この雨滴にどのような力が作用するか。雨滴の質量は無視する。

8.28 問題8.27で、雨滴の質量が $4.0 \times 10^{-10}\text{ kg}$ とすれば、雨滴の初期加速度は幾らか。 $g = 10\text{ m/s}^2$ 。

8.29 同じ半径で、同じ質量の小さい導体球が、同じ長さの絹糸で1点から吊されている。2つの球に $4.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ の荷電を与えると、糸は角度 60° をなした。支点と球の中心との距離を 20 cm として、球の質量を求めよ。無重力状態では球はどのように振る舞うか。

8.30 半径が 0.30 mm の2つの雨滴に同じ量で同じ符号の荷電を与える。電気斥力が雨滴に作用している重力と釣り合っているとき、荷電量を求めよ。

8.31 点電荷 $3.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ の周りを、小さい反対符号電荷を持った球が電気力の作用のもとで等速円運動をしている。円の半径が 2.0 cm 、球の角速度が 3.0 ラジアン/s のとき、質量に対する荷電量の関係は何に等しいか。

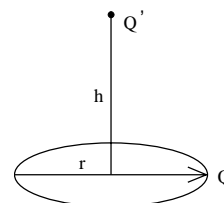


図 8.32

8.32 半径 r の細いリングに、荷電 Q が均一に分布している (図を参照)。リングの中心から距離 h 離れたところにある点電荷 Q' に作用する力を求めよ。

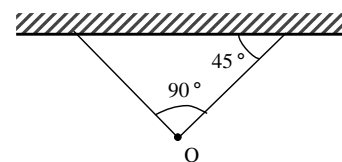


図 8.33

8.33 質量 $5.88 \times 10^{-4} \text{ kg}$ の球が帯電し、図に示しているように絹糸で吊されている。 4.2 cm 真下に同じ帯電量であるが、反対符号の帯電球を置く。こうすると、糸の張力は2倍となった。クーロン相互作用を考慮して、球の荷電量と糸の張力を求めよ。

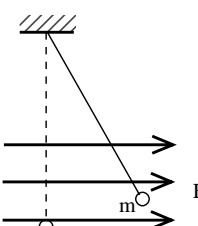


図 例題 3.5

第9節 電場

例題 3.5 図に示されているように、糸に吊されている荷電 $q = 4.9 \times 10^{-8} \text{ C}$ を持った質量 $m = 1.2 \text{ g}$ の球が電場の作用下にあり、糸が垂直線と角度 $\theta = 30^\circ$ なしているとき、電界の強度を求めよ。

例題 3.6 図に示されているように、直角に等辺三角形の底辺の頂点に 20 nC の点電荷がある。荷電間の距離は 0.6 m である。直角の頂点における電場の強度と電位を求めよ。同種符号荷電の場合と、異種符号荷電の場合について考察せよ。

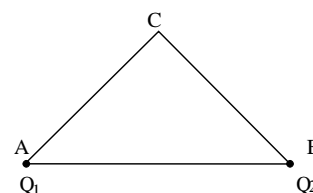


図 例題 3.6

例題 3.7 真空中に、孤立導体球がある。この球から距離 5.00 cm 、 10.0 cm のところで電位が各々 300 V 、 210 V である。導体球はどれだけの電位まで帯電されているか定めよ。

例題 3.8 真空中で 40 nC 、 -5.0 nC の2つの点電荷が電場を形成している (図を参照)。それらの間隔は 30 cm である。点 A、B での電位差を求めよ。点 A から点 B へ半径 0.4 m の円弧に沿って短信用荷電 5.0 nC が動くとき電場のする仕事を求めよ。

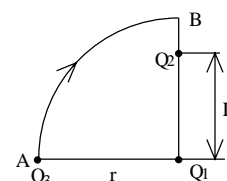


図 例題 3.8

例題 3.9 陽子が静止しているヘリウムの原子核に向かって飛行する。充分の遠方で陽子の速さは $2.0 \times 10^3 \text{ km/s}$ である。陽子がヘリウムの原子核に近接できる最短の距離を求めよ。荷電粒子は点状と見なす。

例題 4.0 半径が同じで 5 cm である2つの平行コイルが真空中で軸 O_1O_2 を一致して配置している (図参照)。コイルの中心間隔は 12 cm 。前者のコイルには荷電量 $0.82 \mu \text{ C}$ 、後者のコイルには $0.60 \mu \text{ C}$ の電荷が均一に分布している。前者のコイルの中心から後者のコイルの中心に向かっ

て 3.0 nC の荷電を移動させると、どれだけの仕事が行なわれるか。

例題 4 1 速さ 95 km/s を持つ陽子が平板コンデンサの中を飛行する。電極板からの距離は同じで、飛ぶ方向は平板に平行である。コンデンサの電極板に 14 V の電圧をかけると、スクリーン上の C 点に陽子は衝突する（図参照）。陽子の変移距離 OC を求めよ。コンデンサの電極間隔は 2.4 cm 、電極の長さは 6.2 cm 、コンデンサとスクリーンの間隔は 45 cm 。陽子の運動は真空中で行われる。重力の影響は無視する。

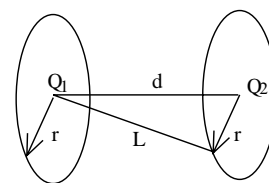


図 例題 4 0

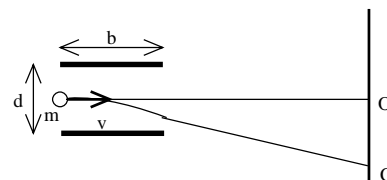


図 例題 4 1

電界強度

9.1 任意の点における電界と、その点に置いた探査用荷電に作用する力は、どのような場合に反対符号を有するか。

9.2 熱電気発電所や工場で、煙中の固体粒子を捕らえるために用いられる静電フィルタは、金属パイプの中にパイプの軸方向に電線が張られているものである。このようなフィルタはどのような作用をするのか。

9.3 自動車工場で採用されている静電塗装法において、塗装される部品は高压電源の片方の電極に接続された金属のグリット形状をした電極下に入る。粉末状の塗料がグリットを通過して当たる。塗料の粒が部品まで動いていくのはどのような条件下でか。

9.4 その荷電符号は異なり、荷電量も異なっている 2 つの点電荷が形成している電界強度曲線を描け。

9.5 球状の導体を例として、形成される電界と表面電界密度の関係を示せ。

9.6 強く帯電した導体において、その尖った先端の付近に「電子風」が発生する。それはろうそくの炎の傾きで観察することができる。これはどのように説明できるか。

9.7 帯電していない完全な導体球の内部に、正に帯電した球をおく。導体球の内部と外部に電場は存在するか。どこに、どのような荷電が発生するか。帯電した球を導体球内部で動かすと何が起るか。導体球の外側に帯電した物体を持ってきても、球に影響を与えないか。

9.8 静電遮蔽の構造の基本には何があるのか。ある種の真空管の導体に、何の目的で金属性キャップを装着しているのか。

9.9 真空中の電界中のある 1 点にある $0.40 \text{ } \mu\text{C}$ の探査電荷に 3.0 mN の力が働く。この点における電界強度を求めよ。電荷から距離 0.6 m 離れ、??

9.10 真空中に、 $6 \text{ } \mu\text{C}$ の点電荷により電場が作られている。荷電から距離 0.3 m 離れた点における電位を求めよ。電位が半分になる点は荷電からどれだけ離れて所か。

9.11 真空中に、点電荷により電場が形成されている。荷電から距離 3 cm 離れた点での電位が 5.52 MN/C ならば、荷電から距離 0.12 m の点での電位はいかほどか。

9.12 24 nC の電荷で電場が形成されている。電位が 15 kN/C となる点は電荷からどれだけ離れて所か。この点にある探査電荷 1.8 nC に電場はどのような力を作用するか。

9.13 ある媒質中において、点電荷 $0.4 \mu\text{C}$ から距離 5.0 cm のところで電位が 20 kV である。媒質の誘電率を求め、媒質名を決めよ。

9.14 グリセリン中にある $0.14 \mu\text{C}$ の点電荷が電界を作り、距離 7.0 cm での電位が 6 kV である時、グリセリンの誘電率はいかほどか。誘電率 2 を有する媒質中で前者と同じ距離において電界が半分になるためには、荷電はいかほどでなければならないか。

9.15 半径 12.0 cm の完全導体球の表面電荷密度が $3.45 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$ である。球の中心の電界強度、中心から半径の半分離れたところの電界強度、球の表面から距離 12.0 cm 離れたところの電界強度はいかほどか。

9.16 直径 0.12 m の帯電した導体球が誘電率が 2 の液体媒質中にある。球の表面から 12 cm のところで電界強度が 160 V/m の時、球の表面電荷密度を求めよ。

9.17 点電荷の作る電場の電界強度の距離の依存性を表現するグラフと、半径 R の帯電した導体球の形成する場のグラフを描け。

9.18 ボーアの理論に従えば、水素原子中の電子は原子核の周りを円運動している。原子核の電荷で電子の第一軌道半径に等しい距離、即ち $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ に作られる電界強度と、原子核の周りを回るこの軌道上での電子の運動速度、を求めよ。

9.19 帯電したエポナイト棒を用いて、2つの導体を同じ荷電量であるが、符号が反対に帯電させるにはどの様にするべきか。

9.20 電場の中に金属球をどの様に配置したら、配置後に電場は一様にとどまるか。

9.21 3個の同じ荷電 Q が1辺 a の正三角形の頂点にある。三角形の中心における電界を求めよ。もし1つの荷電の符号を反対としたならば、中心での電界はどうなるか。

9.22 2個の同じ荷電が間隔 l 離れて配置されている。荷電を結ぶ線分の中間において総和した電界は何と等しくなるか。電荷の符号が異なったときには、電界はどの様に变化するか。

9.23 1辺 30 cm の正方形の対角の2つ頂点に $0.30 \mu\text{C}$ の電荷がある。残りの頂点での電界を求めよ。荷電の1つの符号を変えるとどの様な変化となるか。

9.24 間隔 0.30 m 離れた2点 A, B (図を見よ)において、点電荷の作る電界は各々 4.0 kV/m 、 1.0 kV/m であった。場を形成している荷電と、線分 AB の中間にある点 C における電界を求めよ。



図 9.24

9.25 絹糸で吊された帯電した導体球が、電界強度 $5.0 \times 10^6 \text{ V/m}$ の一様な水平方向を向いた電界中にある。球の質量が 20 g 、その荷電量が 20 nC としたとき、糸は垂直線からどれだけ傾くか。重力加速度は 10 m/s^2 に等しいとみなす。

9.26 絹糸で吊された質量 0.4 g の小さな球が電界強度 160 kV/m の一様な水平電界の中にある。糸が垂直線と 11° の角度をなすためには、球にどれだけの電荷を与えなければならないか。

9.27 質量 $40.0 \times 10^{-8} \text{ g}$ 、帯電量 $-1.6 \times 10^{-11} \text{ C}$ を有する小さい塵が真空中の一様電界中にある。ゴミが静止状態にあるとき、電界強度(大きさと方向)を求めよ。

9.28 半径 0.20 mm の帯電した球形の水銀液滴が一樣な電界 12 kV/m の場中で釣り合いの状態にある。液滴の荷電量を求めよ。

9.29 $2.0 \times 10^{-6}\text{ C}$ の荷電で形成されている電場中で、 100 個の電子を失った 0.016 mg の液滴が受ける初期加速度はいかほどか。荷電は液滴から距離 3.0 cm はなれているとする。

9.30 物体に荷電量 $+4.0 \times 10^{-8}\text{ C}$ を与えたとなると、大地に落下する物体の加速度はどれだけ変化するか。物体の質量は 5.0 g 。地表における電界強度は 100 V/m であり、その方向は地球の中心を向いている。

9.31 導体の表面上にある荷電の分布が釣り合っている導体内部には電界は存在しない、ということが知られている。しかし、導体が加速度を持って運動するならば、その内部に電界が発生する。内部に発生する一樣な電界が $1.0\text{ }\mu\text{V/m}$ となるためには、金属棒をどれだけの加速度で動かさなければならないか。電子の運動は真空中であるとする。

9.32 速度 18 km/s を持った電子が電界強度 $3.0\text{ }\mu\text{V/m}$ の一樣電界中を電界方向と反対方向に飛行する。電子が 7.1 cm の距離進んだとき、電子の加速度及び速度はいかほどか。この速度に達するまでにかかった時間はいかほどか。電子の運動は真空中であるとする。

9.33 一樣な電界中に入り込んだ電子が電気力線方向に動いている。電界強度が 90 V/m 、電子の初期速度が $1.8 \times 10^3\text{ km/s}$ のとき、電子の速度がゼロとなるまでの時間を求めよ。電子の運動は真空中であるとする。

9.34 真空中で一樣な電界中にある電子が加速度 $2.0 \times 10^{12}\text{ m/s}^2$ を得るためには、電界強度はどれだけでなければならないか。電子が速度 $5.0 \times 10^6\text{ m/s}$ を得るためにはどれだけの時間がかかるか。

9.35 ヘリウムの2価イオン原子(α 粒子) が動いていないウラン原子核に向かって動いている。ヘリウム原子はどれだけウラン原子核に近接するか。荷電は点電荷と見なす。陽子と中性子の質量差は無視する。

9.36 一樣に帯電した無限平面が一樣な電界を形成する。その電界強度は $E = \sigma / (2\epsilon_0)$ の公式に則っている。電荷の表面密度 $\sigma = 20\text{ }\mu\text{C/m}^2$ 、 $\epsilon_0 = 1$ として、この電界中におかれた荷電 0.15 nC に作用する力を求めよ。

9.37 一樣に帯電した平面の場合は真空中で 0.2 nC の電荷に $2.26 \times 10^{-5}\text{ N}$ の力を及ぼす。電界強度と平面上の表面電荷密度を求めよ。

9.38 一樣に帯電した無限平面における電界公式(9.36 を見よ) を利用して、同じ表面電荷密度であるが異なった符号の2つの帯電した平行平面の間の電界公式を求めよ。

9.39 2つの無限の平行平板が表面上に一樣に荷電を帯びている。板の間及び板の外での電界強度を求めよ。ただし、板の表面電荷密度は各々 40 及び -10 nC/m^2 である。

9.40 面積 200 cm^2 の導体板が $0.20\text{ }\mu\text{C}$ の電荷を一樣に帯びている。反対符号の荷電を持ったそのような板が、お互いに平行に配置されたとき、2枚の板はどの様な力で引き合うか。

電界中での荷電の移動における仕事。電位。電位差。

9.41 どのような場を電位場と呼ぶのか。電位場の例を挙げよ。

9.42 図9.42に描写されたような静電場は存在することができるか。

9.43 一様な電界中で、 $+65\text{ nC}$ の電荷を移動する。移動ベクトルは電気力線の方角と角度 60° をなす。電界強度は 12 kV/m 、移動の大きさは 20 cm 。場のなす仕事と電場中での荷電のポテンシャルエネルギーの変化を求めよ。反対符号の荷電ではどうなるか。

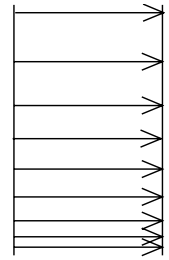


図9.42

9.44 電場の外にある荷電 $120\text{ }\mu\text{C}$ の電界中への移動に際して、 $6.0 \times 10^{-4}\text{ J}$ の仕事をした。この点における電位を求めよ。

9.45 半径 3.0 cm の孤立した導体球が真空中にある。荷電 20 nC を得ると、球はどれだけの電位まで帯電することになるか。

9.46 真空中にある孤立した導体球の電位が 6 kV になるためには、球にどれだけの電子を与える必要があるか。球の半径は 7.2 cm 。

9.47 点電荷による場、及び半径 R の帯電した導体球で形成される場に関して、電位の距離に対する依存性をグラフで示せ。球が緻密であるときと空であるときで、グラフの特徴に変化があるか。

9.48 真空中にある孤立した半径 30.0 cm の導体球が、表面電荷密度 $3.2 \times 10^{-7}\text{ C/m}^2$ まで帯電している。球の表面、球の中心、球の表面から 15 cm の距離での電位を求めよ。

9.49 灯油中に沈んでいる半径 4.0 cm の導体球が電位 180 V まで帯電している。球に与えられた荷電量を求めよ。 50 pC の電荷を球の表面から距離 8.0 cm まで電気力線に沿って移動させたとき、場のなす仕事を計算せよ。

9.50 空気中にある 20 nC の点電荷を無限から半径 2.0 cm で電位が 300 V の導体球の表面から 28 cm の距離の点へ運ぶためには、どれだけの仕事をしなければならないか。

9.51 真空中にある半径 10 cm の球の電位を求めよ。ただし、球の表面から 1.0 m の距離での電位は 20 V である。球表面にはどのような電荷が分布しているか。

9.52 電位計のケースを金属で作し、そしてアースするのは何故か。電位計の軸と針は接地されているが、絶縁体でできた台の上に置いた電位計のケースと接続している導線の電位を変えることができるか。電位計と長い導線で結線している探査用球体が任意の形状の帯電した導体の表面に沿って移動するとき、電位計は何を示すのか。

9.53 金属板の上方に正に帯電した胴体球が配位している。近似的な等電位面図と電場の電気力線を示せ。

9.54 1.5 nC の点電荷が電場を形成している。真空中で、 45 V と 30 V の電位を持った等電位面はお互いにどのような配位にあるか。

9.55 点電荷の作る電界中に、電位 15.3 V と 7.65 V の点が電気力線に沿ってお互いに 15 cm 離れて配位している。電場を形成している電荷を求めよ。

9.56 帯電した導体球の表面から 5.0 cm の距離で、電位は 1.2 kV である。 10.0 cm では 0.9 kV 。球の半径、球の荷電量、球の電位を求めよ。

9.57 グリセリン中で 9.0 nC の点電荷が電場を作っている。電荷から距離 3.0 cm 、 12 cm 離れた 2 点間の電位差は幾らか。荷電 5.0 nC をこれらの 2 点間で移動させると電界はどれだけの仕事をするか。

9.58 真空中に $3.0 \text{ } \mu\text{C}$ の電荷が 2 つ有り、距離 0.60 cm 離れている。この距離を 0.20 cm にするためにはどれだけの仕事が必要か。

9.59 密度 24 nC/m^2 の電荷が一様に分布している無限導体板が真空中に電界を形成している (図 9.59)。点 B と C における電界強度と、それらの点における電位差を求めよ。荷電 $0.60 \text{ } \mu\text{C}$ を点 B と C の間、及び点 B と D の間で移動させるとき場のなす仕事を求めよ。 $BC = BD = 25 \text{ cm}$ 。

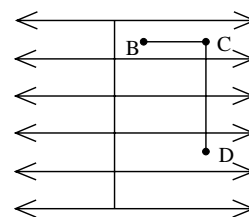


図 9.59

9.60 荷電量 Q を持った小さな球が、中空の帯電していない金属球内の任意の点に廃位している。球の内表面と外表面に誘導される電荷の表面密度はどうなるか。球内外の電界を電気力線を用いばどの様に描写できるか。

9.61 電界の電気力線に沿って運動している電子が電位差 400 V の 2 点間で、完全にその速さを失った。電界中に入る前における電子の速さを求めよ。電子の速さが半分になるとき、電位差はどれだけか。

9.62 ウラン塩の放射性崩壊において、およそ $2.0 \times 10^4 \text{ km/s}$ の速度を持った粒子が飛び出す。2 点間の移動で粒子がそれだけの速さを獲得するためには、2 点間の電位差はどれだけでなければならないか。

9.63 荷電 $4.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ を持ち質量 1.6 g の導電性球が電位 700 V の M 点から電位ゼロの N 点まで移動する。N 点での球の速さが 0.40 m/s としたら、M 点で球はどれだけの速さであったか。

9.64 質量 $1.0 \times 10^{-11} \text{ g}$ の塵が電子 20 個分の荷電を有刺、電位差 153 V の 2 枚の水平な平行板の間で釣り合いの状態にある。板の間隔はいかほどか。電位差を 2.0 V 大きくすると、塵はどの方向に、どれだけの加速度で動くか。

9.65 過剰な負電荷を帯びた質量 $4.9 \times 10^{-12} \text{ g}$ の塵が 2 枚の水平な平行導体板が作っている電場の中で釣り合いの状態にある。板の間隔は 1.0 cm 、電位差は 10 V である。紫外線照射の作用により、塵は部分的に荷電を失い、釣り合いの状態からずれる。釣り合い状態を再現するために、板の間の電位差を 50 V だけ大きくしたとすれば、塵はどれだけの電子を失ったのか。

9.66 半径 15 cm と 30 cm の金属球が中心を一致させて空気中にある。内側の球には -20 nC の電荷があり、外側の球の電位は 450 V である。球の中心から 10 、 20 、 36 cm 離れた点における電界と電位を求めよ。

9.67 同じ半径 r の 2 つの平行で細いリングが真空中で軸を共有している。リングの中心間の距離は d 。1 番目のリングには一様に電荷 Q_1 が分布し、2 番目のリングには $-Q_2$ が分布している。リングの中心間の電位差を求めよ。

9.68 半径 R の細くて動かないリングに一様に電荷 Q が分布している。リングの中心を通る軸に沿って、リングに質量 m で電荷 $-Q$ を有する小さい球を近づける。球はリングから十分に遠方にあるときには、静止していた。リングの中心に球がやってきたとき球はどれほどの速さを有するか。

9.69 正方形の頂点に、2つの正電荷と2つの負電荷がある（図9.69を参照）。探査用電荷 Q' を正方形の中心から1つの辺の中間まで動かすとき、どれだけの仕事をしなければならないか。

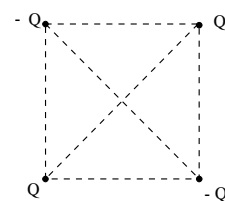


図9.69

9.70 比誘電率2.0の媒質中で、点電荷 $0.50\mu\text{C}$ が電界を作っている（図9.70参照）。荷電から 5.0cm 、 20cm 離れたB点とC点の間の電位差と、これら2点間で 30nC の荷電を移動する際に場がなす仕事を求めよ。

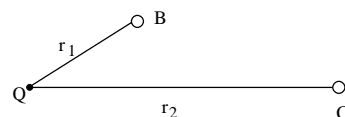


図9.70

9.71 3枚の同型の面積の充分大きい導体板がお互いに距離 $d = 1.0\text{mm}$ 離れて平行に配位している。各々の板の電荷の表面密度は 1.5 、 3.0 、 $-4.5\mu\text{C}/\text{m}^2$ である。隣り合う板の間の電界と、各々の板の電位差を求めよ。

9.72 真空中にあるコンデンサの内部を電子が速さ $8.5 \times 10^4\text{km/s}$ で、長さ 6.5cm の水平な電極板に平行に飛行する。コンデンサに電界を与えると、電子は電極板の片方に 1.8mm だけ近づいた。コンデンサ中の電界、電極間の電位差を求めよ。電極間距離は 8.0mm である。

9.73 真空中を飛行している陽子束が長さ 5.5cm の平らなコンデンサ中に、電場の電気力線に垂直に飛び込む。コンデンサの電界強度が 30kV/m のとき、コンデンサをよぎる陽子は電界の方向に 1.5mm だけ変位する。コンデンサに飛び込むときの陽子の運動エネルギーを求めよ。重力場の影響は無視する。

9.74 平らな空気コンデンサ中に、極板に平行に電子が速さ $3.0 \times 10^7\text{m/s}$ で飛び込む。コンデンサから出るとき、電子は極板の片方に 1.76mm 変位した。電子の荷電量と電子の質量の関係を求めよ。コンデンサの極板の長さは 3.0cm 、間隔は $2.0 \times 10^{-2}\text{m}$ 、電位差は 400V である。

9.75 間隔 a 離れた点電荷 Q_1 、 Q_2 が電界を形成している（図9.75参照）。荷電 Q を点Mから点Nに移動させるとき、どれだけの仕事をしなければならないか。

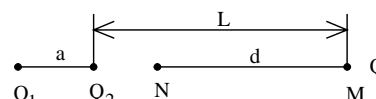


図9.75

9.76 100 個の同型の水銀液滴がある。各々は電位 3.0V まで帯電している。これらが合流して1個の液滴となった。できたこの液滴の電位はいかほどか。全ての液滴は球形状していたとする。

9.77 分子の構造に依存して、誘電体は有極あるいは無極となる。水はどちらに属するか。水素はどうか。

9.78 誘電体の分子の電気的特性はどのような物理量で特徴づけられるか。この物理量は何に依存しているか。

9.79 導体の静電誘導現象は誘電体の分極とどこが異なっているか。

第10節 導体の電気容量。コンデンサ。コンデンサの電界のエネルギー。

例題42 半径 4.0cm 、 6.0cm の球形状した2つの導体が真空中で各々電位が 150V 、 50V まで帯電されている。導体の静電容量と荷電量を求めよ。細い導線でこれらを結線すると、これら導体の電位と荷電量はどうなるか。

例題 4 3 平板コンデンサが比誘電率 6 の固体誘電体で満たされている。極板の面積は $6.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。間隔は 2.0 mm である。極板に荷電量 $3.1 \times 10^{-8} \text{ C}$ を与えた後、電源を切り離して、コンデンサを充電した。コンデンサの静電容量、極板間の電位差、極板間の電界強度を求めよ。コンデンサから誘電体を取り去るためにしなければならない力と仕事を計算せよ。摩擦は無視する。

例題 4 4 4 個のコンデンサが図のように結線し、 300 V の定電圧源が接続している。コンデンサの容量は $C_1 = 2.0 \mu\text{F}$ 、 $C_2 = 4.0 \mu\text{F}$ 、 $C_3 = C_4 = 2.0 \mu\text{F}$ 。コンデンサの合成容量 C 、全電荷量 Q 、このコンデンサに蓄えられる電荷量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 、古今コンデンサにかかっている電圧、コンデンサに供給された電気エネルギーを求めよ。

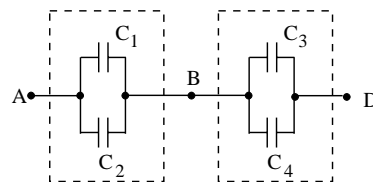


図 例題 4 4

例題 4 5 図のように同じ面積の金属薄膜と雲母でできた $0.03 \mu\text{F}$ のコンデンサがある。面積が 50 cm^2 、厚さが 0.177 mm としたとき、何枚の雲母板が必要か。雲母の比誘電率は 6 とする。

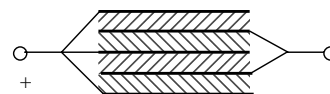


図 例題 4 5

1 0 . 1 形状と大きさが同じな 2 つの導体は同じ媒質中での電気容量は常に同じか。

1 0 . 2 地球の電気容量を近似計算せよ。容量が 1 F となるためには導体球の半径をいくりにしなければならないか。

1 0 . 3 金属性型の枠に接触している押し抜きのプラスチック製品の表面に、静電気が発生する。製品を型から抜き出すとき、帯電した表面の地球に対する電位は何故高くなるのか。

1 0 . 4 導体球に 30 nC の荷電を与えると、その電位は 6.0 kV となった。空気中における球の電気容量と半径を求めよ。

1 0 . 5 球が空気中にあるとして、 180 nC の荷電を持った容量 4.5 pF の金属球の電位と半径を求めよ。

1 0 . 6 半径 1.5 cm 、 6.0 cm の 2 つの導体球が各々 0.50 nC 、 6.0 nC の電荷を持っている。球同志を細い導線で結線すると、何が起こるか。球が空中にあるとして、接続の前後での電位を求めよ。各々の球の最終状態での荷電量を求めよ。

1 0 . 7 半径 R_1 、 R_2 の孤立した 2 つの導体球に、各々 Q_1 、 Q_2 の荷電を与える。2 つの球の接触の結果、電荷の再配分が行われ、共通の電位が

$$= (Q_1 + Q_2) / (4\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2))$$
となる。これを証明せよ。

1 0 . 8 容量 6.0 pF 、 9.0 pF の導体球が各々 200 V 、 800 V の電位まで帯電している。これらの総電荷量と、これらを接続した後の電位を求めよ。

1 0 . 9 半径 0.20 cm 、 0.60 cm の金属球を接触させ、電荷量 280 nC を与え、その後、中心間の距離を 1.0 cm として離す。電荷はどのように配分されるか。球表面上に一様に電荷が分布するものとして、各々の球における電荷の表面密度の関係を見いだせ。この距離では球はどのような力で反撥し合うか。

1 0 . 1 0 雲母製コンデンサの電極面積は 36 cm^2 、誘電体の厚さは 0.14 cm である。電極

間の電位が300 V、雲母の比誘電率が7として、コンデンサの容量、コンデンサに蓄えられる電荷量、エネルギーを算出せよ。

10.11 半径10 cmの半円形状したバリコンの最大容量はいかほどか。厚さ7.0 mm (= 5) のガラスが誘電体として使われているとする。

10.12 容量0.020 μ Fの平板コンデンサ内の電界強度が320 V/cm、電極間隔が0.50 cmであるとき、コンデンサに蓄積される電荷量を求めよ。

10.13 電源を切った内部にコンデンサを有する回路はどのような危険があるか。そのような回路で電源を切った後、どのような処理をしなければならないか。

10.14 電位 9.0×10^4 Vの直径2.0 cmの導体球が長い導線で地球に接地された。導線中にどれだけのエネルギーが出るか。

10.15 球状の導電性液滴が百万個集まって1個の液滴となる。各液滴の半径は 5.0×10^{-4} cm、電荷は 1.6×10^{-14} Cである。液滴が一体化する際に、電氣的斥力にうち勝つためにはどれだけエネルギーを消費しているか。

10.16 雲母コンデンサの電極の面積は各々300 cm²、雲母の厚さは1.0 mmである。コンデンサの放電において0.21 Jの熱が出たとしたとき、電極間にかかっていた電位差は幾らか。

10.17 コンデンサが大きな容量を持っているのは何故か。コンデンサの利用に際しては何を考慮しなければならないか。

10.18 容量1600 pFの平板空気コンデンサが電位差500 Vまで充電され、電源を切り離れた後、電極間隔を3倍大きくした。電極間の電位差と、電極を離すために外部から与えた仕事量を求めよ。

10.19 平板空気コンデンサの電極間隔を0.40 mm広げるために必要な仕事を求めよ。各々の電極の面積は 6.28×10^4 mm²、帯電量は200 nCである。

10.20 平板コンデンサに誘電体として厚さ1.5 mmのガラス板を用いる。このコンデンサを200 Vで充電した後、電源を外し、ガラス板を取り去る。コンデンサの電極間の電位差はどうなるか。ガラスの比誘電率は7.5である。

10.21 平板空気コンデンサを充電した後、電源を外し、灯油に沈める。コンデンサの電場のエネルギーはどう変わるか。

10.22 面積80 cm²、間隔1.5 mmの電極を持った平行空気コンデンサを電圧100 Vで充電した後、電源を切断し、比誘電率2.5の液体誘電体中に沈める。これにより、コンデンサのエネルギーはどれだけ変化するか。この場合において、エネルギー保存法則は破れないのか。

10.23 容量1.5, 3.0 μ Fの2つのコンデンサ直列に接続し、120 Vの電源に接続する。コンデンサの合成容量、各コンデンサの荷電量と電位差はいかほどか。

10.24 電極の面積が20 cm²、電極間に誘電体として、厚さ 3.0×10^{-3} mmの雲母層 (= 6) と、厚さ 1.0×10^{-3} mmのパラフィン紙を挟んでいるコンデンサの容量を求めよ。

10.25 容量4.0 μ F、1.0 μ Fの2つのコンデンサを直列に接続し、電圧220 Vの電源

に接続する。全体の容量と、各々のコンデンサにかかる電位差を求めよ。

10.26 同型の2つのコンデンサを使用して、片方の容量より2倍大きい容量、半分の容量を作り出せるか。できるとすればどの様にしてできるのか。

10.27 電位差200Vで充電した $0.6\mu\text{F}$ のコンデンサを、電極間の電位差300Vの $0.4\mu\text{F}$ のコンデンサと並列に接続する。合成容量、端子間の電位差、それに蓄えられるエネルギーを求めよ。

10.28 400Vまで充電した容量 $6.0\mu\text{F}$ のコンデンサを充電していない容量 $10.0\mu\text{F}$ のコンデンサと直列に接続した。コンデンサの電位差はいくらとなるか。電気量はどの様に配分されるか。

10.29 1000Vまで充電された未知容量のコンデンサを、容量が $2.0\mu\text{F}$ で400Vで充電された他のコンデンサと直列に接続した。接続した後、端子間の電位差が570Vとなったとして、最初のコンデンサの容量を求めよ。全荷電量を求めよ。

10.30 平板空気コンデンサの容量がCである。コンデンサを変圧器用の油に半分沈めたとき、コンデンサの容量を求めよ。電極板は油の表面に垂直であり、油の比誘電率は2.2である。

10.31 平板空気コンデンサを充電した後そのまま電源に接続したままの状態コンデンサの極板を動かすときの仕事と、充電後電源を取り外して極板を動かすときの仕事は同じか。

10.32 容量 $5.0 \times 10^{-3}\mu\text{F}$ のコンデンサ6個を電源に直列に接続し、4000Vまで充電した。どれだけの荷電量が全コンデンサに供給されたか。このコンデンサの放電においてどれだけの熱量が放出されるか。

10.33 面積 4.7cm^2 の錫箔を電極として厚さ 0.03mm のパラフィン紙を15枚挟んでできているコンデンサの容量を求めよ。

10.34 21枚の真鍮板があり、それらの間に厚さ 2.0mm のガラスが挟まっている。真鍮板とガラスの面積は同じで 200cm^2 である。積層コンデンサを形成するように真鍮板を配線する。ガラスの比誘電率を7としてできたコンデンサの容量を求めよ。

10.35 容量 $C_1 = 0.30\mu\text{F}$ 、 $C_2 = 0.60\mu\text{F}$ 、 $C_3 = 0.20\mu\text{F}$ 、 $C_4 = 0.30\mu\text{F}$ の4つのコンデンサを図のように結線し、200Vの電源に接続する。合成容量、荷電量、蓄えられるエネルギーを求めよ。

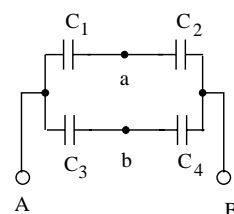


図10.35

10.36 4つの同じコンデンサを接続して得られる合成容量が、1つのコンデンサと同じくなるにはどの様に接続すればよいか。1つだけのコンデンサのエネルギーと比較してシステムの電気エネルギーはどの様に变化するか。

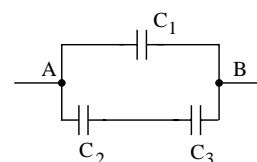


図10.37

10.37 3つのコンデンサを図のように結線し、容量 $5.8\mu\text{F}$ の蓄電池とする。点A, B間に電圧220Vをかけ、 $C_2 = 1.0\mu\text{F}$ 、 $C_3 = 4.0\mu\text{F}$ の時、 C_1 の容量を求めよ。

10.38 容量 $C_1 = 1.0\mu\text{F}$ 、 $C_2 = 1.0\mu\text{F}$ 、 $C_3 = 2.0\mu\text{F}$

の3つのコンデンサを図のように結線し、220Vの電源を加える。
合成容量を求めよ。各々のコンデンサにかかる電位差と蓄電する荷電量を求めよ。

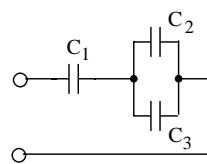


図10.38

10.39 電子20個を失った質量 1.0×10^{-11} g の塵がコンデンサ内部で電界と釣り合うためには平板空気コンデンサにどれだけの電氣量を与えなければならないか。コンデンサの容量は $0.015 \mu\text{F}$ 、電極間隔は 2.5 mm である。

10.40 容量 C の平板コンデンサが真空中にある。電極の面積は S 、コンデンサ内部の電界は E である。コンデンサ内部を片方の電極から他方の電極に動く電子が獲得する速さを求めよ。電子の初期速度 $v_0 = 0$ とする。

10.41 2枚の帯電した極板が空気中で間隔 2.0 cm 離れていて、その間に一様な電界 $1.0 \times 10^4 \text{ V/m}$ を形成している。それらの極板間に、極板に平行に厚さ 0.5 cm の金属板をおくと、電位差はどうか。

10.42 2枚の平行板 A 、 B が空気中で間隔 2.5 mm 離れて垂直に配置されている（図10.42）。各々の電位は 50.0 V 、 -50.0 V である。極板の間に厚さ 0.4 mm の金属板を差し入れたとき、形成される電界強度と極板間の電位差を求めよ。極板 A と金属板の間を $1.0 \mu\text{C}$ の電荷を移動させるときはどれだけの仕事をするか。

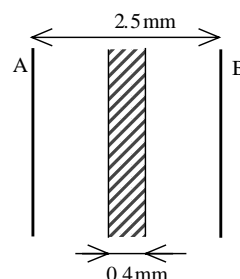


図10.42

10.43 灯油の中に完全に沈んでいる平板空気コンデンサ内部の電界の体積エネルギー密度を求めよ。極板間の電界強度は $5.0 \times 10^6 \text{ V/m}$ である。

10.44 表面電荷密度 σ まで帯電された導体球が真空中で電界を形成している。この球の表面から距離 l のところで場の電位が V であるとき、球の容量を求めよ。

10.45 容量 C_1 、 C_2 の2つの平板空気コンデンサが直列に接続し、一定電源と接続している。2つの内の1つを完全に誘電率 ϵ の液体中に沈めたとしたら、コンデンサの各々の電位差はどのように変化するか。コンデンサの最初の（沈める前）容量が同じとしたならば、結果はどうか。

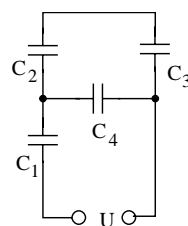


図10.47

10.46 容量が $C_1 = 1.0 \mu\text{F}$ 、 $C_2 = 1.5 \mu\text{F}$ 、 $C_3 = 2.5 \mu\text{F}$ 、 $C_4 = 0.50 \mu\text{F}$ の4個のコンデンサを、図10.35で示しているように結線し、一定電圧 $U_{AB} = 15 \text{ V}$ の電源に接続する。点 a と b 間の電位差を求めよ。

10.47 容量 $C_1 = 0.5 \mu\text{F}$ 、 $C_2 = 1.0 \mu\text{F}$ 、 $C_3 = 1.5 \mu\text{F}$ 、 $C_4 = 2.0 \mu\text{F}$ の4個のコンデンサを図のようにに結線し、 124 V の一定電源に接続する。各コンデンサの荷電量とコンデンサ C_2 の極板間の電位差を求めよ。

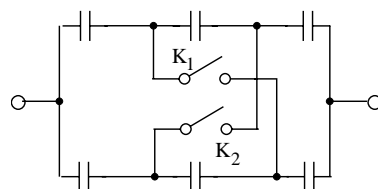


図10.48

10.48 同じ容量 C を持つ6個のコンデンサを図のようにに接続する。スイッチ K_1 、 K_2 を閉じると合成容量はどのように変化するか。

第 11 節 一定電流。 金属中の電流。 電流一定の法則。

例題 4 6 断面積 0.62 mm^2 の導体中における、キャリア濃度は $7.8 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ である。キャリアの平均ドリフト速度は 0.49 mm/s 。導体中における電流 I と電流密度 j を求めよ。

例題 4 7 電熱器の加熱線として、断面積 0.39 mm^2 のニクロム線を 9 m 用いる。流す電流密度は 10.2 A/mm^2 。加熱線の抵抗値、それを流れる電流、かかっている電圧を求めよ。ニクロム線の抵抗率は $1.3 \times 10^{-6} \cdot \text{m}$ である。

例題 4 8 4 個の抵抗 ($R_1 = 5.0$ 、 $R_2 = 9.0$ 、 $R_3 = 3.0$ 、 $R_4 = 2.75$) を図のように接続し、起電圧 1.5 V で内部抵抗 0.50 の検流計に接続する。合成抵抗値、 R_1 を流れる電流を求めよ。

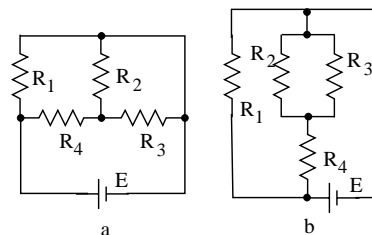


図 例題 4 8

例題 4 9 発電機から 200 m の距離にある工場に、抵抗 440 の白熱電球 22 個と抵抗 360 の白熱電球 18 個を並列に接続する。電球の名目上の電圧は 220 V である。配線は断面積 27.0 mm^2 のアルミニウム線を用いている。配線部分における電圧降下、発電機の端子部分における電圧、発電機の起電圧を求めよ。発電機の内部抵抗は 5.4×10^{-2} とする。

例題 5 0 起電圧が 1.6 V 、 1.3 V で内部抵抗が各々 1.0 、 0.50 の電池を図のように結線し、 0.60 の抵抗を組み入れる。全ての枝線における電流を求めよ。導線の抵抗は無視する。

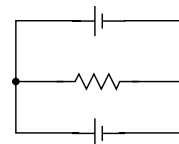


図 例題 5 0

例題 5 1 図に示している電気回路は起電圧 12 V 、内部抵抗 1.0 の電源、抵抗値 $R_1 = 3.0$ 、 $R_2 = 6.0$ の 2 個の抵抗、容量 $C_1 = 10.0 \mu\text{F}$ 、 $C_2 = 2.0 \mu\text{F}$ の 2 個のコンデンサからできている。a 点と b 点の間の電位差、各々のコンデンサで蓄えられる電荷量を求めよ。

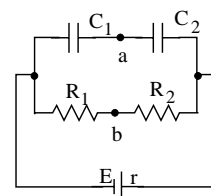


図 例題 5 1

11.1 検流計を 10 分間に 18 C の電気量が流れると検流計の指示値は幾らか。回路に入れられた検流計が 10 mA を指示しているとき、導体の断面積を 1.0 秒当たりどれだけの電子が動いているか。

11.2 電気ストーブが 120 V の電圧で動作している。1 時間当たり 0.60 MJ のエネルギーを出すとすれば、加熱部分の断面積を流れる電気量はどれだけか。ストーブはどれだけの電流下で働いているか。

11.3 電気ヒーターが 120 V の電圧で動作している。18 分当たりヒーターを 3.0×10^{22} 個の電子が通り過ぎるとすれば、どれだけのエネルギーが発生するか。作動状態下での電流とヒーターの抵抗を求めよ。

11.4 電気アイロンが 220 V 、 1.5 A で動作する。15 分当たり、ヒーターの断面を通り過ぎる荷電量は幾らか。またこの時どれだけのエネルギーが発生するか。

11.5 4 個の同型のコンデンサを並列接続して構成した蓄電池の充電が電圧 1 kV 、電流 0.2 A で 0.4 ms かかったとしたとき、1 つ当たりのコンデンサの容量を求めよ。充電過程で電流は一定と見なす。

11.6 回路のある部分で電流が一様に 6.0 秒間で 0 A から 1.5 A まで増加する。時間に関する

る電流の依存性をグラフ化し、それに従って、その時間内に、その部分を流れる電気量を求めよ。

11.7 回路の部分の電流が、 $I = 1.5 + 0.5t$ の法則に従って変化する。この法則をグラフ化せよ。それに従って、最初の5.0秒間に回路を流れる電子の数を求めよ。

11.8 電気銅を得るために、カソードとして可動面積 80 dm^2 の白金を利用する。回路の電流が 160 A のとき、白金を流れる電流密度は幾らか。

11.9 断面積 1.2 cm^2 の導線を 0.4 秒当たり 6.0×10^8 個の自由電子が動くとき、電離流密度を求めよ。

11.10 断面積 1.5 mm^2 の導線中の電流が 0.36 A に等しい。導線中の自由電子の濃度が $6.0 \times 10^{27} / \text{cm}^3$ のとき、電子の平均速度を求めよ。

11.11 断面積 1.0 mm^2 の銅製の導線内での自由電子の平均速度は $7.4 \times 10^{-3}\text{ cm/s}$ に等しい。個々の銅原子から2個の自由電子が放たれるとして、導体中の電流を求めよ。

11.12 半径 $5.29 \times 10^{-9}\text{ cm}$ の軌道上を電子が動くものとして、水素原子中の電子が作る電流を求めよ。

11.13 自由電子の平均ドリフト速度が 0.14 mm/s のとき、導体中での電流密度は 1.32 A/dm^2 である。自由電子の密度を求めよ。

11.14 1.0 A の電流が流れている断面積 3.3 mm^2 の鉄導体内での電界強度を求めよ。

11.15 抵抗 2.5 の回路で、電圧が直線的に 1.5 V から 7.5 V まで増加する。電流 $I = f(U)$ の変化をグラフに描け。

11.16 電化された鉄道のレールの継ぎ目に銅製の導体でできている細い連結器具は何の目的を果たしているのか。

11.17 電気ストーブの加熱線として長さ 24.2 m 、直径 0.85 mm のコンスタンタン線を用いる。抵抗を求めよ。

11.18 抵抗値を 18.3 とするためには直径 0.50 mm のニクロム線を何m必要か。

11.19 電線が長さ 240 m 、断面積 8.0 mm^2 の銅線でできている。電線の抵抗は幾らか。電線の抵抗値を変えず、アルミニウム線でまかなうためには断面積をどれだけにしなければならないか。

11.20 直径 2.0 cm の円筒形リムに断面積 0.70 mm^2 のマンガン線を巻き付けたコイルを抵抗 1.0 の基準器とする。コイルの巻き数を求めよ。

11.21 2本の鉄線がある。質量は同じであるが、片方は直径が2倍である。2本の鉄線の抵抗の関係を見いだせ。銅線とアルミニウム線があり、質量と直径は同じである。抵抗値の関係を見いだせ。

11.22 最大抵抗値 6.0 の抵抗器を作るため、直径 3.0 cm の円筒形セラミックにニッケル線を何回巻く必要があるか。線の直径は 0.6 mm である。

11.23 断面積 6.0 mm^2 の導線を用意するためアルミニウム 540 g を使い切った。導線の長さや抵抗を求めよ。

11.24 断面積 0.50 mm^2 、抵抗が 1.72 の導線を作るために必要な銅の量は幾らか。

11.25 長さ 5.0 km の銅線が 12 の抵抗を有している。この銅線の生産に何キログラムの銅が必要か。

11.26 長さ 500 m の電気信号線に 15 A の電流を流したときの電圧降下を求めよ。導線は断面積 14 mm^2 のアルミニウム線からできている。

11.27 回路に入れた抵抗器に電流 1.5 A を流したら、抵抗器の最大電圧降下は 0.5 V であった。抵抗器の最大抵抗値とそれを作るために用いている直径 0.8 mm のニッケル線の長さを求めよ。

11.28 長さ 7.5 m のニッケル線でできた抵抗器での電圧降下を求めよ。流れる電流密度は 1.5 A/mm^2 である。

11.29 長さ 2.1 km のアルミニウム線の直径をいくらとする必要があるか。ただし、その電圧降下は電流 1.0 A のとき 1.5 V である。

11.30 長さ 2.5 m 、断面積 0.5 mm^2 のフェフラル（ニクロム線の安い代用品）でできた導線の抵抗は 5.47 である。フェフラル線の比抵抗値を求めよ。電圧 220 V 、電流 3.0 A で動作する電気ヒーターに使用するためにはどれだけの長さが必要か。

11.31 絶縁物で覆われたボビンからニクロム線をほどかないで、その長さを求めよ。ただし、ボビンに電圧 120 V をかけたとき、 1.2 A の電流が流れた。

11.32 直径 0.50 mm 、長さ 4.5 m の導線を回路に取り付けたら、その両端での電位差が電流 1.0 A のとき 1.2 V であった。導線の材料の比抵抗はいかほどか。

11.33 長さ 15 m 、断面積 1.0 mm^2 のニッケル線でできている抵抗器がある。その両端子の電圧が 12 V であるならば、抵抗器をどれだけの電流が流れているか。抵抗器の抵抗は幾らか。

11.34 発電所において、発電機から高圧トランスへ電流を引き込む装置のために、円形の導線ではなく特別仕立ての平らな母線を使用するのは何故か。

11.35 白熱電球で、始動電流が定常時大きくなるのは何故か。

11.36 抵抗の標準器を製作するに当たって、コンスタンタンやマンガンなどのような合金を使用する。何故か。

11.37 抵抗の温度係数表に若干の純金属が入っていないのは何故か。

11.38 白熱電球のタングステン線は室温 (20) で 46 の抵抗を有している。温度が 2100 に白熱したとき、タングステンの抵抗はどうなっているか。

11.39 フェフラル線で出来ているヒーター線は 18 で 15 の抵抗を有している。どのような温度でその抵抗値が 15.3 となるか。

11.40 抵抗器の抵抗値が $20\ \Omega$ で $15\ \Omega$ である。その巻き線はレオタン（亜鉛、銅、マンガンの合金）線で作られている。それが温度 100°C まで加熱したら、抵抗器の抵抗値はどれだけ大きくなるか。

11.41 タングステン線を有する白熱電球が 120 V の電圧、 0.40 A の電流下で動作する。室温 20°C におけるその抵抗値が $30\ \Omega$ としたとき、作動中のランプの温度を求めよ。

11.42 懐中電灯用の電球に 3.5 V 、 0.28 A と書いてある。フィラメント線の加熱温度は 425°C 、冷却している状態での抵抗値は $4.0\ \Omega$ 。フィラメント線を作っている材料の抵抗の温度係数はどのようなものか。

11.43 炭素棒の抵抗が $50\ \Omega$ から $545\ \Omega$ までの温度上昇で 5.0°C から 4.5°C と小さくなった。炭素の抵抗の温度係数を求めよ。値の符号は何を意味しているのか。

11.44 円筒形セラミックに巻き付けられている長さ 9.7 m の鉄線に 12 V の電圧をかけて 60°C まで加熱した。この温度での導線中の電流密度を求めよ。

11.45 熱伝対用のコンスタンタン線が質量 89 g 、断面積 0.1 mm^2 である。温度 100°C でのこの線の抵抗を求めよ。温度に対する長さの依存性は無視する。

11.46 白熱電球のタングステンの抵抗値は灼熱時には、 15°C のときより 10 倍大きい。灼熱時の温度を 1950°C として、タングステンの抵抗の温度係数を求めよ。

11.47 白熱電球のタングステン線は電流密度 $6.0 \times 10^8\text{ A/m}^2$ で 2000°C まで加熱する。灼熱時における線内の電界強度を求めよ。

11.48 120 V の電圧下の回路に、3 個の抵抗 $5.0\ \Omega$ 、 $7.0\ \Omega$ 、 $18\ \Omega$ が直列に結線している。回路の合成抵抗と電流を求めよ。結線の導線の抵抗は考慮する必要はない。

11.49 電球が直列に繋がっているヨールカ祭用の鎖に電圧 120 V がかかっている。1 個の電球の抵抗は $6.2\ \Omega$ 、それを流れる電流は 0.5 A である。結線用導線による電圧降下は 2.0 V 。鎖には何個の電球が取り付けられているか。

11.50 図に示されているような回路に 24 V の一定電源を接続する。回路の最小電流と最大電流が 0.30 A 、 0.32 A である時、電球の抵抗と抵抗器の抵抗を求めよ。導線の抵抗は無視。

11.51 電圧 110 V 、電流 0.3 A が予定されている投射用電球に抵抗器をかませ、 127 V の電源を接続する（図 11.50 を参照）。抵抗器の抵抗値と、銅の導線の長さを求めよ。導線の断面積は 1.8 mm^2 、その部分における電圧降下は回路の電圧の 2% とする。

11.52 図に示している回路で、電流計は 1.5 A を示している。 R^1 の抵抗での電圧降下は 4.2 V 、 R^2 、 R^3 の抵抗値は $2.0\ \Omega$ 、 $3.2\ \Omega$ 。 R^1 の値、回路の合成抵抗、それでの電圧降下を求めよ。電流計と導線の抵抗は無視できるほど小さい。

11.53 問題 11.52 の回路図で、 $R^1 = 5.0\ \Omega$ 、 $R^2 = 7.0\ \Omega$ 、 $R^3 = 18\ \Omega$ である。A、b 点に接続した電圧計は 120 V を示している。回路の合成抵抗は幾らか。抵抗にどのように電圧は配分されるか。導線及び電流計の抵抗は無視する。

11.54 図に示しているように、2 個の直列接続している電球に 2 個の電圧計を接続する。電圧計の片方は 6.0 V 、他方は 20 V を示す。前者の電圧計の抵抗は $4.0\text{ k}\Omega$ である。後者の電圧計

の抵抗は幾らか。

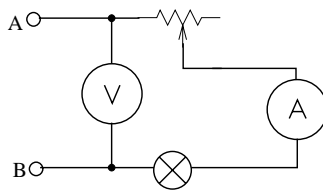


図 11.50

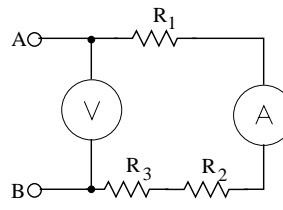


図 11.52

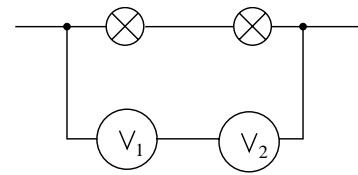


図 11.54

11.55 電気モーターが発電機から 1.57 km 離れ、電圧 220 V、電流 15 A で動く。導線としてどれだけの量の銅が必要であるか。また、発電機の端子でどれだけの電圧でなければならないか。導線の直径は 5.0 mm。導線での電圧降下が発電機の端子電圧の 10 % を越えないようにするためにはどのような導線が適しているか。

11.56 同じ材質で同じ長さの 3 本の導線が直列に接続され、電圧 110 V の電圧源に接続されている。3 本の導線の断面積は各々 1 : 2 : 3 である。各導線での電圧降下を求めよ。

11.57 内部抵抗 2.0 k の電圧計に直列に 8.0 k の抵抗を接続すると、スケールの値は何倍変化するか。

11.58 5.0 V の電圧を測定するための電圧計に補足抵抗を直列に接続し、24 V の電圧回路に接続する。電圧計を流れる最大電流は 5.0 mA を越えないとして、この補足抵抗の値を求めよ。

11.59 補足抵抗 1.4 k を直列に接続した電圧計を 12 V の電圧の回路に接続すると 5.0 V を指示する。補足抵抗を 3.0 k に変更すると、電圧計は何 V を指示するか。電圧計のスケールをどのように補正する必要があるか。

11.60 懐中電灯の電球に配列に接続した電圧計が 3.6 V を指示している（図参照）。電圧計のない武帝光は 6.0 、電球の抵抗は 12 。電流計はどのような値を指示するか。

11.61 抵抗値 6.0 k のポテンションメータに 120 V をかける。ポテンションメータの一端子と摂動端子の間に内部抵抗 10 k の電圧計を接続する（図参照）。摂動端子が中間位置にあるとき電圧計はいくらを指示するか。

11.62 回路中の電圧を測定するため、内部抵抗 450 の電圧計を接続する。電圧計に直列に補足抵抗を入れたとき、電圧計は 100 V を指示する。

11.63 10 の抵抗値を得たい。15 の抵抗にどのような抵抗をどのように接続するべきか。

11.64 図に示しているような回路がある。回路の電流は 0.48 A、電圧計の内部抵抗は 120 で、電圧計は 9.6 V を示している。抵抗器の抵抗値を求めよ。

11.65 n 個の異なる抵抗の並列接続における全抵抗値は常に最小値の抵抗の値よりも小さくなることを証明せよ。

11.67 3.0 の抵抗 3 本を使用して得られる抵抗値はどのようなものであるか。

11.68 図に示されている回路がある。合成抵抗値と電流計の指示値を求めよ。結線用導線の抵抗は考慮しない。

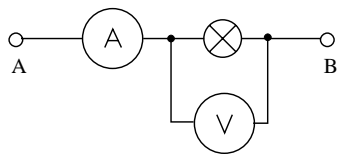


図 11.60

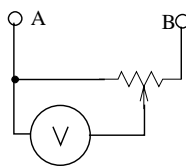


図 11.61

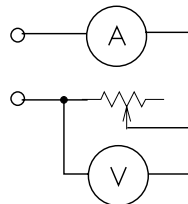


図 11.64

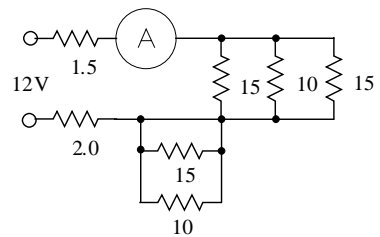


図 11.68

11.69 2本の抵抗がある。これらを直列接続すると抵抗値は20、並列接続すると5.0となる。各々の抵抗値は幾らか。

11.70 2本の抵抗を直列に接続すると、その合成抵抗値は15。並列接続すると、3.6となる。各抵抗値を求めよ。

11.71 図に示されている電気回路がある。結線用導線の抵抗値を考慮しないで、合成抵抗値と電流計の指示値を求めよ。

11.72 図に示している電気回路がある。 $R_1 = 1.6$ 、 $R_2 = 3.0$ 、 $R_3 = R_6 = 2.0$ 、 $R_4 = 1.0$ 、 $R_5 = 6.0$ である。電圧 $U_{AB} = 2.0$ V。回路の合成抵抗値、抵抗 R_1 と R_4 を流れる電流、 R_5 にかかる電圧を求めよ。

11.73 問題11.72の回路を用いる。電流計は1.8 Aを指示している。抵抗 R_4 と R_5 を流れる電流は同じで0.6 Aである。 R_1 での電圧降下は2.4 V、 R_2 では1.8 V。 R_4 は10である。A B間の電位差と U_{AB} と R_1 、 R_2 、 R_5 、 $R_3 = R_6$ の値を求めよ。

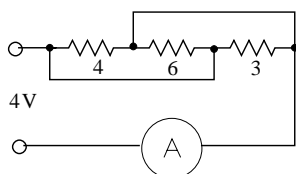


図 11.71

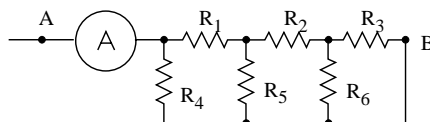


図 11.72

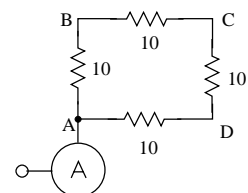


図 11.74

11.74 図に示しているように10の4本の同じ抵抗を結線する。電流計の指示している電流は2.0 A。電流がA点から入りC点から出る場合と、A点から入りD点から出る場合について、回路の合成抵抗値、電圧降下を求めよ。

11.75 図に示しているような立方体形状した導電骨組みでのA点とB点間の電圧を求めよ。各辺の抵抗値は6.0、導線での電流は2.0 Aである。合成抵抗も求めよ。

11.76 問題11.75の図において、A点とC点を電流が出入りするものとしたとき、骨組みの合成抵抗を求めよ。

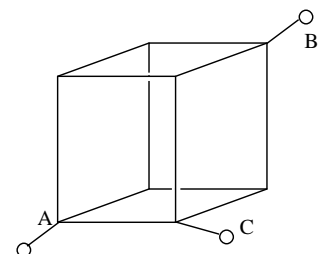


図 11.75

11.77 図に示した回路図で、合成抵抗値、各抵抗を流れる電流を求めよ。端子AとBには電圧12 Vがかかっている。

11.78 ウィーンストーンブリッジ回路(図参照)で定まる抵抗 R の値を求めよ。 $R_1 = 1.5$

、 $l_1 = 20 \text{ cm}$ 、 $l_2 = 80 \text{ cm}$ 、検流計を電流は流れていない。

11.79 図に示されている回路でC Dの部分での電流が0となるためには、抵抗 R_x ほどのような値をとるべきか。電流計の指示値を求めよ。

11.80 図に示されている回路中で、分岐していない部分での電流を求めよ。A B間の電圧は6 V、抵抗値は図に示されている。

11.81 図に示されている回路で、2つの抵抗、2つの電圧計はともに同型である。A B間の電圧が6.0 Vのとき、 V_2 は4.0 Vを指示した。 V_1 の指示値を求めよ。

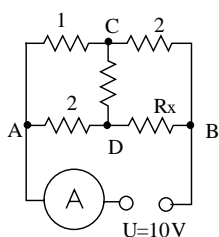


図 11.79

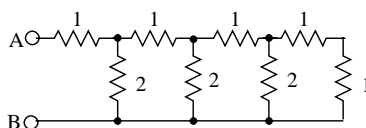


図 11.80

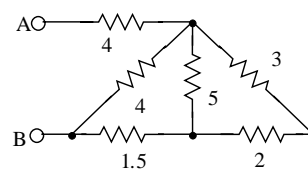


図 11.77

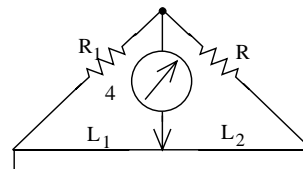


図 11.78

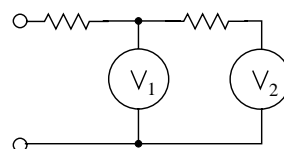


図 11.81

11.82 抵抗220 の白熱電球を60個127 Vの電源に並列に接続する。結線する導線の抵抗は0.2 。総電流量、導線部分における電圧降下を求めよ。

11.83 220 Vの電源に並列に2群の電球が接続している。1群は160 の抵抗を持つ電球が8個、2群目は200 の抵抗を持つ電球が10個である。回路の合成抵抗と全電流を求めよ。

11.84 電流源は端子電圧140 Vで電流50 Aを流せる。1個の電球の抵抗が140 、結線導線の抵抗が0.30 としたとき、電流源にランプを何個並列に接続することができるか。電球はいくらの電圧で点灯するか。

11.85 内部抵抗0.04 の分流器を持った電流計が5 Aを示しているとき、送電線を流れている電流は幾らか。電流計の内部抵抗は0.12 。

11.86 内部抵抗260 を有する検流計の感度1010倍小さくする必要がある。分流器の抵抗をどの様にしなければならないか。

11.87 限界電流10 Aの電流計が100 Aの回路に分流器と接続している。電流計の内部抵抗は0.90 。分流回路として必要な断面積0.28 mm²の鉄線の長さを求めよ。

11.88 図に示している回路で、スイッチが1側にあるとき、回路抵抗はいくらになるか。スイッチが2側ならばどうか。 $R_1 = 3.0$ 、 $R_2 = 6.0$ である。

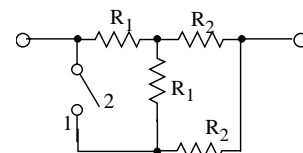


図 11.88

11.89 起電圧4.5 V、内部抵抗1.5 の電源の端子に7.5 の抵抗を接続した。回路の電流と電源内部での電圧降下を求めよ。

11.90 120 Vの電源に、抵抗38 の電熱線を接続した。回路電流が3.0 Aのとき、電源の内部抵抗と電源端子での電圧値を求めよ。

11.91 起電圧2.0 V、内部抵抗0.20 の蓄電池に抵抗を接続した。回路電流が0.40 Aのとき、抵抗の抵抗値と抵抗における電圧降下を求めよ。

11.92 抵抗値9.6 の抵抗に蓄電池を接続したら、回路電流は0.2 Aであった。その後、外部回路の抵抗値が2.0 と小さくなり、電流は0.25 Aまで増加した。蓄電池の起電圧と内部抵抗を求めよ。

11.93 1.0 の抵抗の回路に検流計を接続すると、検流計の両端での電圧は1.0 Vであった。外部抵抗値が2.5倍と大きくなると、電圧は0.25 Vとなった。起電圧と検流計の内部抵抗を求めよ。

11.94 図に回路図が与えられている。スイッチKを短絡した後、装置の指示値にはどのような変化が起こるか。

11.95 電流源の端子電圧が起電圧の50%となるのはどのような条件のもとでか。

11.96 起電圧E、内部抵抗rの電流源を抵抗値Rの抵抗に接続する。回路電流と電流源の端子電圧の負荷Rに対する関係をグラフで示せ。

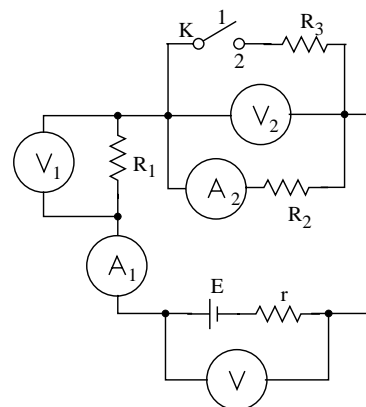


図11.94

11.97 起電圧4.5 Vの懐中電灯用の電池は抵抗7.5 に接続すると回路電流0.50 Aが流れる。電池をショートしたときの電流を求めよ。

11.98 電流源の起電圧は1.5 V。この電流源をショートしたとき、2.5 A流れた。負荷を付けたとき、回路電流は0.6 Aながれた。負荷の抵抗を求めよ。

11.99 電流源の端子に接続した電圧計が回路電流2.0 Aのとき1.8 V、1.4 Aのとき1.83 Vを示す。電流源の内部抵抗値、起電圧、ショートさせたときの電流を求めよ。

11.100 外部抵抗がRのとき、電流源の端子に接続している電圧計は7.0 Vを示し、外部抵抗値が3倍となると9.0 Vを示す。電流源の内部抵抗、起電圧、ショートしたときの電流が2.0 Aとして抵抗値Rを求めよ。

11.101 内部抵抗0.50 の電源を長さ12.5 m、断面積0.50 mm²のきつめる導線に接続する。電源の端子間での電圧が5.25 Vとして、電流と起電圧を求めよ。

11.102 起電圧1.5 V、内部抵抗0.20 の電池に長さ5.0 mの鉄線が接続している。電流が0.60 Aとなるためには線の直径をいくりにするべきか。

11.103 起電圧6.0 V、内部抵抗1.2 の電流源が図のように回路に接続している。電流計は1.0 Aを示している。抵抗Rの値と平板コンデンサ内部の電界強度を求めよ。平板コンデンサの電極間隔は0.32 cmである。

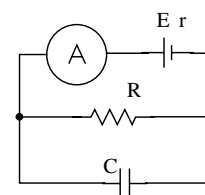


図11.103

11.104 容量 $0.20\ \mu\text{F}$ のコンデンサと抵抗値 4.0 の抵抗が並列に起電圧 $4.0\ \text{V}$ 、内部抵抗 1.0 の電流源に接続している（図 11.103 参照）。コンデンサの荷電量を求めよ。

11.105 起電圧 $1.5\ \text{V}$ 、内部抵抗 0.30 の電池がある。それによって回路に流れる電流が $2.0\ \text{A}$ のとき、電池の効率は幾らか。

11.106 内部抵抗 0.80 の電池が抵抗 4.0 に接続されたとすると、その効率は幾らか。

11.107 外部抵抗の大きさが 4.0 から 12 と大きくなるに連れて、電源の効率は 1.5 倍に増加する。電流源の内部抵抗を求めよ。

11.108 抵抗 R へ接続したとき電流源の効率は $\frac{1}{2}$ に等しい。抵抗値が n 倍となると、電源の効率はどの様に変化するか。

11.109 図 11.94 に示している回路図で、起電圧 $6.0\ \text{V}$ の電流源が使用されている。スイッチ K が 2 側にあり、 $I_1 = 1.2\ \text{A}$ 、 $I_2 = 0.48\ \text{A}$ 、 $R_1 = 2.0$ 、 $R_2 = 6.0$ のとき、抵抗 R_3 の値、外部回路の合成抵抗値、電源の内部抵抗値を求めよ。

11.110 図 11.94 に示している回路で、スイッチ K は 1 側にある。外部回路の合成抵抗値、電流計 A_1 と電圧計の指示値を求めよ。必要な数値は問題 11.109 のものを使用せよ。

11.111 起電圧 $132\ \text{V}$ 、内部抵抗 0.40 の電流源が並列に接続した各々 180 の抵抗を持つ電球に電流を供給している。電流を求めよ。負荷が 2 倍となると、電流はどう変化するか。

11.112 電流源の内部抵抗は 0.20 、その端子での電圧は $110\ \text{V}$ 。外部回路は各々 400 の抵抗値を有する 100 個の電球が並列に接続している。電源の起電圧を求めよ。導線の抵抗は考慮しない。

11.113 図に示している回路で、電源は $E = 6.0\ \text{V}$ 、内部抵抗 $r = 1.2$ の電流源である。抵抗の抵抗値は図に示されている。測定器の指示する値、電流源の内部電圧降下を求めよ。

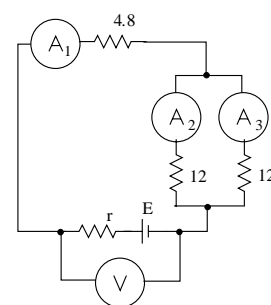


図 11.113

11.114 図に示している回路で、電源の起電圧 $E = 6.0\ \text{V}$ 、その内部抵抗 $r = 1.2$ 、 $R_1 = 8.0$ 、 $R_2 = 4.8$ である。多段切り替えスイッチが 1, 2, 3 の状態のとき、電流計と電圧計は各々どのような指示をするか。結線導線と電流計の抵抗値は小さいので無視でき、電圧計の抵抗は十分に大きい。

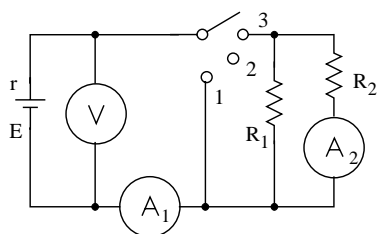


図 11.114

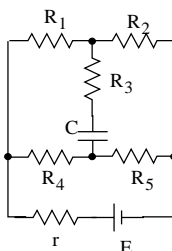


図 11.115

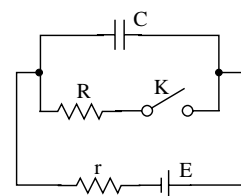


図 11.116

11.115 図に示している回路で、電流源は起電圧 $14\ \text{V}$ 、内部抵抗 1.0 である。コンデンサに蓄積される電荷量が $40\ \mu\text{C}$ 、各抵抗は $R_1 = R_3 = R_5 = 15$ 、 $R_2 = R_4 = 25$ と概値のとき、コンデンサの容量を求めよ。

11.116 図に示している回路を組み上げる。 $R = 6.0$ 。スイッチKを開放したとき、コンデンサの荷電量が1.115倍と大きくなったとして、電流源の内部抵抗を求めよ。

11.117 正方形の電極を有する平板空気コンデンサを、電極板が液面に垂直になるように、速さ 0.60 m/s で液体誘電体中に沈める。コンデンサは起電圧 200 V の電流源に接続している。電極間隔は 1.5 mm で、面積は 225 cm^2 である。結線導線を流れる電流を求めよ。媒質の比誘電率は39。電流源の内部抵抗は考慮しない。

11.118 蓄電池の起電圧を求めるのに標準器を用いる。蓄電池を標準器に直列に接続すると、起電圧は 2 V 、回路電流は 0.3 A である。この蓄電池の直列接続において、外部電流は 0.1 A まで小さくなり、電流の向きは蓄電池の正極から負極の向きであった。蓄電池の起電圧を求めよ。

11.119 懐中電灯用の電池において、直列に接続した各々は起電圧 1.5 V 、内部抵抗 0.20 である。電池は 0.20 の電球を光らす。電球での電流と電池の端子間での電圧を求めよ。

11.120 起電圧 1.5 V 、内部抵抗 0.40 の3個の乾電池が直列に接続し、それに断面積 0.40 mm^2 のニッケル線で出来ている抵抗が結線されている。回路電流が 1.2 A のとき、抵抗の値はいくらで、抵抗の長さは幾らか。

11.121 各々起電圧 1.4 V 、内部抵抗 0.60 の3個の乾電池を並列に接続して出来ている電源を図に示している回路に供給する。 $R_1 = 2.0$ 、 $R_2 = R_3 = 1.2$ として、抵抗 R_1 、 R_2 を流れる電流、電源の端子間での電圧を求めよ。

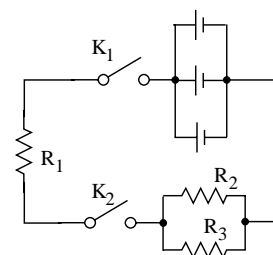


図11.121

11.122 問題11.121に示されている図のごとくの回路図がある。スイッチK2を開放した後の回路の電流及び電源内部の電圧降下を求めよ。

11.123 同型の電流源を何個かで回路に供給する。どのような条件の下ならば電源の直列接続はより効率的か。並列接続の場合はどうか。

11.124 6個の同型の蓄電池がある。どの様にそれらを電池に接続すると、少しの間ショートさせたときの電流が1個の蓄電池の場合より、2倍、3倍、6倍大きくなるか。

11.125 各々の起電圧が 1.45 V 、内部抵抗が 0.90 の3個の同型の電流源をどの様に接続すると、外部回路の電流が最大となるか。外部回路は抵抗値 2.4 の抵抗とみなせる。

11.126 外部回路の抵抗値と電流源とがどのような関係にあるとき、電流は電池への素子の接続方法に依存しないか。

11.127 6個の電池が、3個直列に接続し、2組の並列接続となり、並列接続している2本の抵抗 3.0 、 6.0 と接続している。電池の起電圧と内部抵抗は同じで各々 1.4 V 、 0.30 である。抵抗を流れる電流、電池の端子間における電圧を求めよ。

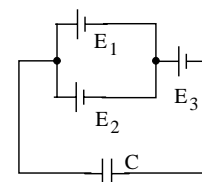


図11.128

11.128 起電圧が 5.0 、 10.0 、 15 V の3つの電流源が図に示しているように、容量 $2.0\text{ }\mu\text{F}$ のコンデンサに接続している。電源の内部抵抗は全て等しく 1.0 。コンデンサに蓄えられる電気量を求めよ。

11.129 面積 100 cm^2 の平板空気コンデンサが起電圧 2.0 V の電池を 15 個直列に接続した電源に接続している。電源の内部抵抗は考慮しないで、コンデンサの電極間隔を 1.0 秒間に 4.0 mm から 1.0 mm まで近づけたか結果発生する電流の平均値を求めよ。

11.130 起電圧 1.5 V 、内部抵抗 0.50 の 2 つの同型の電池を並列に接続し、図に示している回路に電源を供給する。 R_1 は 1.2 。結線導線の抵抗は 4.0 、電流計は 0.30 A を示すとき、 R_2 の値を求めよ。

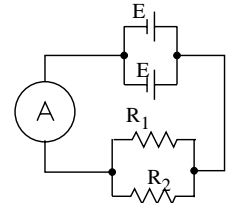


図 11.130

11.131 内部抵抗 0.30 、残留起電圧 11.1 V の蓄電池の充電はどのような電流で実現されるか。蓄電池を一定電圧 15 V の電流源に接続し、回路には補足抵抗 1.0 を付けるものとする。

11.132 起電圧 11.2 V 、内部抵抗 0.30 の蓄電池が電流 4.0 A で充電される。蓄電池の陽極に接続された電圧計は何を指示するか。

11.133 蓄電池の充電終了時に電流計は 4.0 A を指示した。その陽極に接続した電圧計は 2.16 V 。放電の最初にはそれらは 5.0 A 、 1.8 V を指示した。蓄電池の起電圧と内部抵抗は幾らか。

11.134 6 個の直列に接続された蓄電池でできた電源による放電電荷量は $55\text{ A} \cdot \text{h}$ に相当する。蓄電池 1 個の放電量を求めよ。蓄電池を直列ではなく並列に接続した場合では、電源はどれだけの放電量を持つか。

11.135 起電圧 E_2 の値がどのようなとき、抵抗 R_3 を流れる電流がゼロになるか (図参照)。抵抗値 R_1 と R_2 は既知。導線と電源の抵抗は考えない。

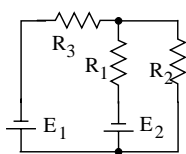


図 11.135

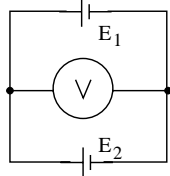


図 11.136

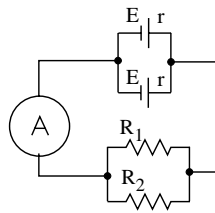


図 11.137

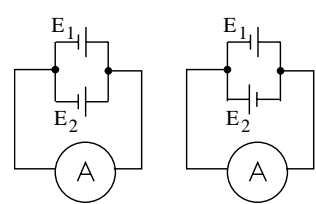


図 11.140

11.138 起電圧 1.5 V 、内部抵抗 0.60 の電池が何本かで抵抗 1.5 の外部回路に電源を供給している。電池の直列接続では回路電流は 2.0 A 。回路電流を 0.50 A 増加するためには電池をどのように接続するべきか。

11.139 同型の電池を混ぜて接続して得られる最大電流は 3.0 A 。各電池の起電圧は 1.5 V 、内部抵抗は 0.40 。電池を全て直列に接続したとして、回路電流を求めよ。

11.140 起電圧 12 V 、 8.0 V 、内部抵抗 1.0 、 2.0 の電池を図に示しているように抵抗に接続する。電池を極性をあわせて接続した場合と、極性を違えて接続した場合において抵抗を流れる電流を求めよ。

11.141 起電圧と内部抵抗が、 $E_1 = 8.0\text{ V}$ 、 $r_1 = 1.0$ 、 $E_2 = 10\text{ V}$ 、 $r_2 = 2.0$ の2つの電池を並列にし、並列に接続している $R_1 = 15$ 、 $R_2 = 2.0$ の抵抗に接続する。 R_2 を流れる電流を求めよ。

11.142 起電圧 20 V 、 5.0 V の2つの電池に、容量 $4.0\text{ }\mu\text{F}$ 、 $1.0\text{ }\mu\text{F}$ のコンデンサが接続している（図参照）。a b間の電位差を求めよ。

11.143 図に示しているように、同型の電池が幾つか接続している。点 A B間の電位差を求めよ。点 A C間ではどうか。

11.144 図に示しているような回路がある。 $E_1 = 1.8\text{ V}$ 、 $E_2 = 1.7\text{ V}$ 、 $E_3 = 1.5\text{ V}$ 、 $r_1 = 0.20$ 、 $r_2 = r_3 = 0.10$ 。3番目の電池を流れる電流がゼロであることが知れているとして、抵抗値 R と回路の各部分の電流を求めよ。

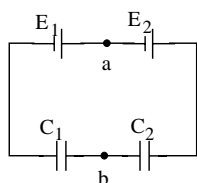


図 11.142

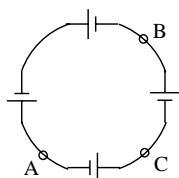


図 11.143

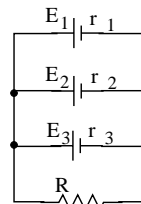


図 11.144

第12節 仕事、仕事率、電流の熱作用

例題52 発電所から消費地まで全長 100 km の送電システムに必要な銅線の断面積を求めよ。消費地には 100 kW を供給するものとする。発電所の母線での電圧は 10 kV 。銅線での電圧損失は 4% を越えないものとする。

例題53 残留電圧 10.2 V 、内部抵抗 0.9 の蓄電池が充電のため、電圧 14 V の電源に接続している（図参照）。充電電流が 2.0 A を越えないようにするためには、蓄電池に直列にいくらの補充抵抗値を入れなければならないか。20分間に蓄電池で発生する熱量、蓄積された化学エネルギーを求めよ。

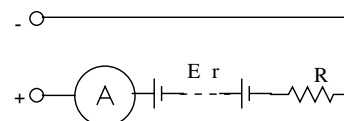


図 例題53

例題54 発電機の端子電圧を 133 V に維持し、発電機から消費地までの導線が全長 150 m 、断面積 15 mm^2 のアルミニウム線でできているとしたら、定格 127 V 、 200 W の電球を何個駆動できるか。消費先での総電流量を求めよ。

例題55 100 W の電球に並列に 400 W の電気コンロが接続している。回路にかけている電圧は 127 V 。電気コンロのスイッチを入れる前と入れた後での電球での電圧を求めよ。導線の抵抗は 3.0 、電球と電気コンロの定格は 127 V とする。

例題56 効率 60% の電車の電気モータは電圧 550 V 、電流 100 A で働き、牽引力 3.0 kN を出す。水平な線路上で等速運動しているときの電車の速さを求めよ。

例題 5 7 回路に組み込まれている鉛ヒューズは、断面積 5.0 mm^2 の結線銅線が 25 K 加熱すると、融ける。鉛ヒューズの断面積を求めよ。初期温度は 293 K とする。

12.1 軽自動車用の起電圧 12 V 、蓄積されている荷電量 $1.98 \times 10^5 \text{ C}$ の初期状態の蓄電池に蓄えられているエネルギーを算出せよ。

12.2 40 W の電球に 220 V かかっている。1 分 20 秒間にフィラメントの断面をどれだけの電子が流れるか。この際、どれだけのエネルギーが放出されるか。

12.3 雷の両極の電位差が 9.0 GV 、それを流れる電流が 0.001 秒間に 20000 A として、大気中での雷の 1 放電でどれだけのエネルギーが放出されるか。 1 kWh 当たり 2 コペイカの企業コストとしてこのエネルギーの値段を算出せよ。

12.4 45 V で動作する溶接機は 20 分間に 5.4 kWh のエネルギーを消費する。どれだけの電流が流れているのか。

12.5 定格 220 V 、 100 W の電球が 220 V の電圧の回路に接続されている。作動中におけるフィラメント抵抗、電流、1 日に電球を 5 時間使用する条件での 1 月の消費エネルギーを求めよ。1 月を 30 日とする。

12.6 800 W の電気アイロンが 220 V で動作する。ヒーター線を通れる電流、作動中のその抵抗を求めよ。1.5 時間連続で作動した場合にどれだけのエネルギーが消費されるか。

12.7 抵抗が端子電圧 6.0 V の電源に接続している。0.5 分間に荷電量 24 C が抵抗を流れたとすると、電流がどれだけの仕事をするか。電力と抵抗値を求めよ。

12.8 電圧 220 V 、電流 30000 A で作動するアーク式溶鉱炉はどれだけの電力を必要とするか。5 時間あたりに消費される電気エネルギーの値段を求めよ。 1 kWh は 2 カペイカである。

12.9 145 W のテレビがある。30 日間に消費されるエネルギー、その値段を求めよ。1 日にテレビを 5.0 時間付け、 1 kWh のエネルギーの値段は 4 カペイカとする。

? 12.10 外部電源を供給されている回路で、電力の電流に対する依存性を図で示せ。

12.11 外部電源を供給されている回路で、回路の電流がどのような値のとき、最大となるか。ゼロとなるか。

12.12 電圧 2 V 、内部抵抗 0.02 の蓄電池が外部回路を駆動している。グラフを利用して、外部回路で消費される電力の電流に対する依存性を造り上げ、消費される電力が最大となるための、外部回路の電流とその抵抗を求めよ。

12.13 電圧 1.6 V 、内部抵抗 0.80 の電池が外部回路を駆動している。電力が 0.512 W 必要だとすれば、外部回路のどれだけの電流が流れているか。

12.14 定格 110 V 、 500 W の電球がある。白熱中における電球の抵抗値を求めよ。 127 V の電圧に接続するためには、どれだけの補充抵抗が必要か。

12.15 定格 120 V 、 60 W の電球を 220 V の電圧に接続しなければならない。電球が正常に動作するためには、電球に直列にどれだけの付加抵抗を接続しなければならないか。断面積 0.2 mm^2 のニクロム線でこの抵抗を作るとすればどれだけの長さとなるか。

12.16 工場で、各々3.5 kWの電気モータ4基が作動する。1日当たりのその動作時間は5.0時間。22日間当たりに消費される電気エネルギーと電気代を求めよ。料金表からは1 kW・h当たり2コベイカである。

12.17 120 Vの電源にアーク溶接機に直列に抵抗器を接続する。アーク部での電圧降下は45 V、回路の電流は12 A。アークで消費される電力と、装置の効率を求めよ。

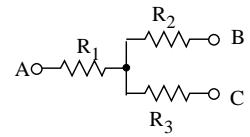


図12.18

12.18 3個の抵抗 ($R_1 = 1.0$ 、 $R_2 = 4.0$ 、 $R_3 = 2.0$) からできている回路図で(図参照) 3端子での電位がわかっている。 $A = 12$ V、 $B = 8.0$ V、 $C = 7.0$ V。各々の抵抗に分配される電力を求めよ。

12.19 定格220 V、100 Wのタングステンフィラメントを持った電球がある。通常条件下ではフィラメントが2500 ℃まで加熱するものとして、20 ℃でのフィラメントの抵抗値を求めよ。

12.20 電源に順々に4 Ωと9 Ωの抵抗を接続すると、消費される電力は同じであった。電源の内部抵抗を求めよ。

12.21 蓄電池に順々に抵抗値10 Ω、6.0 Ωの抵抗を接続した。前者の場合には10 W、後者では13.5 Wが消費された。電源の端子をショートしたとき流れる電流を求めよ。

12.22 電圧定格が同じで、40 Wと100 Wの2つの白熱電球がある。動作状態でどちらの電球の方が大きな抵抗値を有するか。何倍か。

12.23 電圧定格110 Vで $P_1 = P_2 = 40$ W、 $P_3 = 80$ Wの電球がある。電圧220 Vに接続してこれらが正常に動作する回路を描け。各電球を流れる電流を求めよ。

12.24 発電機の端子での電圧は132 V。消費先での電圧は127 Vである。消費先での電力が5.0 kWとして、送電線での電圧降下と送電線の抵抗を求めよ。

12.25 発電機の電圧は138 V、内部抵抗は0.0050 Ω。並列に接続している電球群を駆動する。各電球の抵抗は300 Ω、電圧は120 V。結線導線の抵抗は0.25 Ω。回路に何個の電球があるか。有効電力と効率を求めよ。

12.26 電動機が電圧250 V、電流20 Aで動く。電動機内のコイルの抵抗は0.40 Ω。2時間当たりに消費されるエネルギー、力学的仕事、コイルの加熱に消費されるエネルギーを求めよ。

12.27 端子電圧132 Vの発電機から、消費先に6.0 kWを送電しなければならない。許容できる電圧損失が8 %を越えないものとして、送電線長が1.0 kmとし銅導線の断面積を求めよ。

12.28 距離2.5 km先の消費先に1.0 MWの電力を電圧20 kVの発電機で送電する。銅製の送電線の断面積の最低必要な面積を求めよ。送電線における電圧損失は2 %を越えないものとする。送電線中の電流密度を求めよ。

12.29 電気モータが電圧6.0 Vの電源で駆動する。モータの回転子が完全に停止したとき、回路には電流 $I_1 = 4.0$ Aが流れる。回転子のコイルを流れる電流が $I_2 = 2.0$ Aのとき、モータの回転軸での電力を求めよ。

12.30 220 Vで動作する電動機の電力は3.3 kW、効率は85 %である。回路を流れる電

流と回転子のコイルの抵抗を求めよ。

12.31 電気モータが120 V、7.5 Aで動作する。回転子のコイルの抵抗は1.8 Ω。モータの電力と効率を求めよ。

12.32 電圧260 V、内部抵抗0.20 Ωの発電機から消費先まで100 mある。消費先では220 V、16.5 kWを必要するものとして、アルミニウム送電線の質量を求めよ。

12.33 電気機関車が43.2 km/hの一定の速さで動く。この時出す平均の牽引力は43.7 kNである。モータの端子電圧は1.5 kV、その効率は92%として、モータを流れる電流を求めよ。

12.34 220 Vの回路に、5台の電気モータが並列に接続している。回路の銅製の導線の長さは250 m、その断面積は25 mm²。回路に流れる電流、発電機の端子間の電圧、導線で失われる電力を求めよ。各モータの電力は全て1.5 kWとする。

12.35 電車のモータは電圧550 V、電流112 Aで動作する。モータの出す牽引力が3.5 kN、その効率は70%とすれば、電車の速さは幾らか。

12.36 質量1.4 tのエレベータが1.0 m/sの速さで上昇する。エレベータの運動中電気モータにどれだけの電流が流れているか。消費される電力は幾らか。電圧は380 V、効率は98%とする。g = 9.8 m/s²とする。結線導線の抵抗は考慮しない。

12.37 坑道の昇降機として使用されている電気モータは380 V、19 Aで動作する。40秒間に昇降機は質量0.8 tを高さ16 m引き上げるとして、モータのコイルの抵抗を求めよ。g = 10 m/s²とする。

12.38 クレーンの電気モータは380 V、25 Aで動作し、25分間に29 tの荷物を30 m持ち上げる。電力、損失電力、効率を求めよ。

12.39 2.0 km/hで動く電気トラクタは最大どれだけの牽引力を出すか。電気モータは470 V、360 Aで動作し、効率は72%とする。

12.40 電磁石起重機の2つのコイルの各々に最大どれだけの荷物が付くか。コイルには380 V、17 Aが流れるものとする。効率は80%、引き上げ速度は一定で0.50 m/sとする。

12.41 質量1.8 tの坑道昇降機は1.0分間に25 m上昇する。昇降機は効率81%、端子電圧380 Vの電動機で動く。必要な電力、1回の荷揚げで消費されるエネルギー、費用を求めよ。電気代は1 kW・h当たり4カペイカである。電動機はどれだけの電流で動作するか。

12.42 電気機関車に効率92%の8個の発動機が、2個ずつ直列に接続している。送電線の電圧は3000 V、電流は380 A。電気機関車が平均速度54 km/hで動いているときの牽引力を求めよ。

12.43 村立発電所は電力60 Wの電球を220 Vで100個、同じ電圧で1.5 kWのモータを5個駆動する。全消費先は平均で一昼夜に10時間スイッチを入れる。送電線の抵抗が1.0 Ωあるものとして、発電機はどれだけの電力、どれだけの発電機端子電圧を出さなければならないか。一昼夜に必要なエネルギーとその価格を求めよ。1 kWh当たり2カペイカとする。

12.44 ボルガ川にあるクビシェフスキ水力発電所の出力は6.0 × 10⁶ kWである。、効率

24%の熱発電所がこの水力発電所と同じエネルギーを出すためには、1時間当たりどれだけの石炭を消費するか？

12.45 ヒューズ安全装置は何の役割を果たしているのか？ 回路が閉じられたとき、大電流を何が持ちこたえるのか？ヒューズかそれとも回路か。

12.46 電熱器のフィラメント抵抗を半分に、電流は2倍とすると、発熱量はどの様に变化するか？

12.47 室内で、大電力を要する装置に電源を入れたとき、白熱電球の明かりが弱くなった。何故か？

12.48 同じ電圧仕様であるが、消費電力が異なる2つの電球を直列に接続して電源を入れる。どちらの電球の方がより明るく輝くか。

12.49 電熱板を長時間にわたってスイッチを入れておいても、フィラメントの温度は際限なく上昇しないのか？ 電気エネルギーは間断なく消費されているのに。

12.50 加熱部分を少し短くすることは電熱板の仕事に影響するか。

12.51 抵抗値6.0 の抵抗器からどれだけの熱量が発生するか。ただし、5分間だけ500Cの荷電量がその中を流れたとする。

12.52 300gの水を80Kだけ暖めるのに、220V、1.2Aの電熱器をどれだけの時間作動させる必要があるか。エネルギーの損失は無視する。

12.53 350Whを消費する電熱器でどれだけの水をわかすことができるか。水の初期温度は10°。水の加熱時間を30分としたとき、電熱器の電力を定めよ。エネルギーの損失は無視する。

12.54 2.0lの水を19 から沸点まで加熱するのに、225Whのエネルギーを消費した。加熱器の効率はいかほどか。加電圧が120V、加熱時間が18分として、電熱線の抵抗値を定めよ。

12.55 アルミニウム線に40秒間電流を流した。電線中の電流密度は一定で、3A/mm²として、電線はどれだけ温度が上昇するか。

12.56 電熱器には2つのコイルがあり、回路に別々あるいは一緒に接続することができる。コイルをどの様に接続すれば、加熱を早急に行うことができるか。

12.57 2本の同型のフィラメントを有している電気鍋で水を加熱する。1本のフィラメントに電気を入れると、400Wでる。1本のフィラメントに電気を流すと、1.0lの水を80Kだけ加熱するのにどれだけの時間がかかるか。2本を並列に接続するとどうなるか。2本を直列に接続するとどうなるか。エネルギーの損失は無視する。

12.58 1.2lの水を初期温度15 から沸騰まで15分かかる電熱器はどれだけの電力を出すか。電熱器の効率は84%。比熱 $c = 4200 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$

12.59 電力800Wの電気炉が長さ50m、断面積2.5mm²の銅線で220Vの電源に接続されている。炉の加熱素子の電気抵抗、それが1時間当たり放出する熱量を定めよ。

12.60 電気ストーブの発熱素子の抵抗はいくらか。それを120Vの電源に接続し、室内の温

度を一定にする。室内の空気の熱量損失は1時間あたり3.45 MJである。

12.61 電気ポットは2つの部分からできている。片方の部分に電源を入れると、水は12分で沸く。他方では24分である。2つの部分を直列に接続して電源を入れるとどれだけの時間で水は沸くか。並列接続ではどうか。

12.62 電熱器は120 V、5.0 Aで作動し、20分間で1.5 lの水を84 K加熱することができる。電熱器の熱エネルギー損失と効率を求めよ。フィラメント材料として断面積0.10 mm²のニッケル電線を何m必要か。

12.63 電圧220 V、電流3.0 A、効率80%の電熱盤上で、温度263 Kの氷は10分間でどれだけ溶けるか。

12.64 600 W、効率84%の電気鍋で、0 の1.5 lの水と0.5 kgの氷を加熱する。スイッチを入れた後20分間で鍋の中の温度はいくらになるか。

12.65 電気鍋において、10分間で、初期温度20 の水を沸騰させ、完全に蒸発させる必要がある。鍋の加熱素子として用いるニクロム線はどれだけの長さとする必要があるか。断面積は0.5 mm²である。電熱鍋の効率は80%、使用電圧は120 V。

12.66 カロリ - 計に0.30 kgの灯油を注ぎ、抵抗値3.0 オームのフィラメントを沈める。カロリ - 計の温度が2.5 K上昇するためには、フィラメントにどれだけの時間電流を流すべきか。カロリ - 計の質量は0.13 kg、その熱容量は378 J / (kg · K)、電流は2.0 Aである。

12.67 アルミニウム製カロリ - 計に180 gの水を注ぎ、抵抗値2.0 オームのフィラメントを沈め、電圧源4.8 Vに接続する。5.0分間で水は何K加熱するか。カロリ - 計の質量は46 g。エネルギーの損失は無視する。

12.68 カロリ - 計に0.30 kgのアルコールを注ぎ、抵抗値5.7 オームのフィラメントを沈める。フィラメントには同型の3個の乾電池を直列に接続する。アルコールが3分間で1.4 K加熱したとして、アルコールの熱容量はいくらか。1個の乾電池の起電圧は2 V、その内部抵抗は0.10 オーム。

12.69 10分間で水の温度を10 から100 まで上昇させる電熱器を作るとして、直径1.5 cmの陶器製円筒に、ニッケル線を何回巻かなければならないか。線の直径は0.2 mm、加電圧は110 V、全体のエネルギー損失は40%。

12.70 0 における抵抗値が1.0 、2.5 の2本の鉄線を直列に接続し、電流源に接続する。片方の電線は847 まで加熱したが、それから放射される電力は変化しなかった。他方の線の温度は変更させなかった。鉄の抵抗の温度係数を求めよ。電流源の内部抵抗は無視できるぐらい小さいとする。

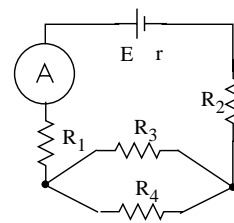


図12.72

12.71 0.30 kWで効率90%の電動機、1.0 kWの電気炉、150 Wの伝統10個を同時に電源220 Vに接続する。電動機、炉、電灯を流れる電流と、全電流電力を求めよ。

12.72 起電圧 $E = 24.8$ V、内部抵抗 $r = 0.40$ の電池を用いた回路が図のようにある。電流計は2.0 Aを指示している。 $R_1 = 4.2$ 、 $R_2 = 4.8$ 、 $R_3 = 6.0$ 。 R_4 の抵抗値、それを流れる電流、電池の端子間の電圧を求めよ。外部回路における全電力と電流は何に等しいか。

12.73 電池に $0.64\ \Omega$ の抵抗を接続した場合と、 $2.25\ \Omega$ の抵抗した場合を考える。両方の場合において、抵抗での発熱量は同じである。電池の内部抵抗はいかほどか。

12.74 起電圧 1.6 V 、内部抵抗 $0.80\ \Omega$ の電源に抵抗を接続する。抵抗での消費電力は 0.60 W であった。電流と外部抵抗値を求めよ。

12.75 電源をショートしたときの電流は 1.5 A 。抵抗値 $4.0\ \Omega$ の抵抗体を接続すると抵抗体での消費電力は 1.0 W である。電源の起電圧と内部抵抗を求めよ。

12.76 3.0 A を 20 分間流すと、アルミニウム導線はどれだけ加熱するか。導線の断面積は 18 mm^2 に等しい。消費されるエネルギーはすべて導線の加熱に使われるものと見なす。

12.77 断面積 1.0 mm^2 の鉛の安全器が溶けない間、銅線に電流を流すとすると銅線の温度はどれだけまで上昇するか。鉛の初期温度は 15°C 、銅線の断面積は 3.0 mm^2 。

12.78 熱起電力とは何のことか。それはどのような条件に依存しているか。熱起電力の発見は誰に属しているのか。

12.79 0°C から 100°C までの小さい温度範囲において、熱起電圧は公式 $E = \alpha (T_2 - T_1)$ で定まる。ここで α は熱起電係数である。この係数の物理的意味は何か。

12.80 鉛の鉄に対する熱起電係数は $+15\ \mu\text{V/K}$ 、ニッケルに対しては $-20.8\ \mu\text{V/K}$ である。符号は何を意味しているのか。

12.81 鉛の鉄に対する係数が $+15\ \mu\text{V/K}$ 、ニッケルに対して $-20.8\ \mu\text{V/K}$ のとき、鉄・ニッケル熱伝対での \mathcal{E} を定めよ。

12.82 アンチモン・鉛の熱伝対の抵抗は $4.0\ \Omega$ 、抵抗 $4.0\ \Omega$ の検流計に接続している。半田付け箇所の温度差が 45 K の時、検流計は $22\ \mu\text{A}$ を指示したとすると、熱起電係数はいくらか。

12.83 熱伝係数 $\kappa = 3.6 \times 10^{-5}\text{ W/K}$ の銅・コンスタンタン熱伝対が検流計に並列に接続している。回路の全抵抗は $360\ \Omega$ 。検流計が $7.2 \times 10^{-3}\text{ mA}$ を指示したとき、熱伝対の接合部の温度差を定めよ。

12.84 フランス人物理学者ペルチエは 1834 年にペルチエ効果と呼ばれる現象を発見した。その本質は何か、それは何に利用できるか。

第13節 電解液中での電流。蓄電池と乾電池

例題58 レコード盤の母型を得るために、電気メッキ法が利用される。最初、口ウ型が電流密度 0.80 A/dm^2 、 30 分間、銅で覆われる。このときの銅の析出は電流の 90% である。次の銅の被せは電流密度 5.0 A/dm^2 、で 20 時間行われる。銅の析出効率は電流の 95% である。電気分解過程において、電極にかかる電圧は一定であり 6.0 V 。母型の面積は 3.0 dm^2 とし、1枚のレコード盤の母型の作成のために必要な電気エネルギーと銅の量を定めよ。

例題59 HCl 溶液の電気分解において、回路中を $8.32 \times 10^4\text{ C}$ の電流量が流れた。このときに発生した塩素ガスを 300 K の温度で、容量 5.0 l の空のバルーンに満たした。バルーン中の気体の圧力を求めよ。

例題 60 ZnSO_4 水溶液を 90 秒間電気分解したとき、カソードに析出する亜鉛の質量を求めよ。回路を流れる電流は 0 A から 3.0 A 間で一様に増加するものとする。

電気分解。ファラデーの法則

13.1 電気分解とはどのような現象か。それを発生させるためにはどのような条件が必要か。

13.2 電気分解の程度とは何か。それは温度にどのように依存するか。

13.3 電解質溶液は電氣的に完全に中性である。これはどのように説明されるか。

13.4 電気分解中に電解液中に自由電子は形成されるのか。

13.5 弱硫酸水溶液の電気分解において、水は分解して水素と酸素を生成する。この過程において、硫酸はどのような役割を担っているのか。

13.6 電気分解において、分子のどの部分が常に正イオンとなるのか。

13.7 電流の流れている電極に触れるとどのような場合が危険か。手が乾いている場合か、濡れている場合か。

13.8 電気分解において、1 秒間にアノードとカソードに 2.5×10^{18} 個の 1 価のイオンが流れる。この回路に結線されている電流計はどのような指示をするか。

13.9 濃度は異なるが同じ種類の電解質の入った 2 つのタンクが電源に直列に接続している。これらタンクのカソードに析出する物質の質量について何が言えるか。

13.10 アノードが炭素電極の時、電気分解において、不飽和硫酸銅溶液の濃度はどのように変化するか。銅板電極の場合はどうか。

13.11 電気分解において、硝酸銀水溶液内を 268 C の電荷が流れた。カソードにどれだけの銀が析出したか。

13.12 電気分解により、120 mg の銅を得た。同じ電気分解装置で同じだけの電氣量を流すとどれだけの銀を得ることができるか。

13.13 電流 1.5 A、時間 5.0 分電気分解を行う。カソードに 137 mg のある物質が析出した。これはどのような物質か。

13.14 銅の価電数を定めるために、硫酸銅水溶液に電流を流した。1.2 A、5.0 分間で、カソードの質量が 120 mg だけおおきくなった。この実験から銅の価電数はいくらとなるか。測定誤差を既知と比較せよ。

13.15 電気分解槽と直列に接続している電流計が 1.5 A を示している。回路での 10 分間の電流の流れでカソードに 0.316 g の銅が析出するならば、電流計の指示値にどのような補正をしなければならないか。

13.16 電気メッキ法において、電流の方向を逆転させる（方向を切り替える）のは何の目的からか。

13.17 硝酸銀水溶液の5分間の電気分解で、カソードに50mgの銀が析出した。この時回路に接続している電流計は0.15Aを示していた。装置の指示値を信用できるか。

13.18 硫酸ニッケル水溶液の1.2時間にわたる電気分解により、どれだけの2価ニッケルが析出するか。電界槽の端子での電圧は4V。装置の抵抗は2.5Ω。

13.19 硫酸銅水溶液の50分にわたる電気分解において、カソードに3.0gの銅が析出した。抵抗を0.80Ωとして、電解装置を加熱するのに消費された電力を求めよ。

13.20 大きさ $100 \times 50 \times 2.0 \text{ mm}^3$ の銅製アノードがどれだけの時間で完全に使い果たされるか。回路に流す電流は3.0Aとする。

13.21 小型の電気分解槽内に1つではなく2つのアノードを用い、それらの間に製品を配置する理由は何か。

13.22 硝酸銀水溶液の電気分解を2分間行った。最初の30秒間では回路電流を0Aから2.0Aまで一様に増加させ、その後は一定とした。カソードに析出した銀の質量を求めよ。

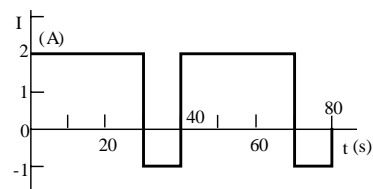


図13.23

13.23 硫酸銅水溶液の電気分解を行う。図に示しているように、回路電流は時間に依存している。析出する銅の質量を求めよ。

13.24 硫酸銅水溶液の電気分解において、回路電流を $I = 0.020t$ の式に従って変化させる。2分間でカソードのところでどれだけの銅のイオンが電気的に中性となるか。この時間で、カソードの質量はどれだけ増えるか。

13.25 塩化銀水溶液からどれだけの銀が析出するか。電気分解中における回路電流は $I = 6 - 0.030t$ の式に従って変化させるものとする。

13.26 電気メッキにおいては、ほとんどにおいてニッケルかクロムが使われる。何故か。

13.27 電流密度 0.45 A/dm^2 で、9時間でニッケル製品が出来上がる。電流の効率を89%と仮定して、2価のニッケル層の厚さを求めよ。

13.28 電気分解による銀の製品は電流密度 0.50 A/dm^2 で行われた。厚さ $7.0 \mu\text{m}$ の銀の層を製品に形成させるためにはどれだけの時間が必要か。電流の効率を85%とする。

13.29 起電圧120Vを与える電源の端子に、直列に25個の電解槽と抵抗器が接続している。1個の電解槽では2時間当たり4.0gの銀を析出させなければならない。1つの電解槽の端子間の電圧は4.2Vである。電解槽に流す電流、装置の効率、銀の層の厚さを求めよ。銀で覆われる面積は 23.8 dm^2 とする。

13.30 電気分解過程において、製品である銀の層の成長速度が $6.0 \times 10^{-3} \mu\text{m/s}$ であるとき、電流密度は幾らか。

13.31 硫酸ニッケル NiSO_4 水溶液の電気分解が 0.15 A/dm^2 の電流密度で行われる。カソードの表面 1.0 cm^2 あたり2分間でどれだけの数のニッケル原子が析出するか。

13.32 電流密度 2.0 A/dm^2 で、硫酸銅の電気分解を行った。アノードの厚さが 0.030 mm 薄くなるのに、どれだけの時間が消費されたか。

13.33 電気分解槽の端子間の電圧が 1.80 V 、硫酸ニッケル水溶液の抵抗が 3.75 である。ニッケル製品の表面が 0.03 m^2 覆われるのに、どれだけの時間とエネルギーが必要か。表面積は 120 cm^2 とする。

13.34 1.0 kWh の電力でどれだけのアルミニウムを得ることができるか。電気分解は 5 V の電圧で行い、装置の効率は 80% とする。

13.35 硫酸銅水溶液の入った槽内に銅の精錬を行う過程で、 10% の不純物を含んだ銅板（アノード）を沈めた。この様な銅板 1 kg の純化に必要なエネルギー、 1.0 kWh 当たり 2 コペイカの料金としてこのエネルギーの価格を求めよ。電解槽にかかる電圧は 6.0 V とする。

13.36 銀塩の水溶液から銀を生産するにおいて、 2 時間当たり 40.32 g の銀が析出する。電解槽の抵抗は 1.2 。回路電流、電解槽の端子間電圧、 1 時間当たりに必要なエネルギーの消費量を求めよ。

13.37 電気分解は任意の電圧で行うことができるか。

13.38 爆鳴気（水素 2 : 酸素 1 の混合気体）の爆発において、反応する水素 1 g 当たり約 144 kJ のエネルギーが発生する。このことから、塩分を含んだ水の電気分解を行うことができるは電源の最小電圧は幾らか。

13.39 硫酸銅水溶液の電気分解をどの様な電解槽の端子間電圧で行うべきか。カソードに 40 分間で 1.98 g の銅が析出するものとする。電解槽の抵抗は 1.3 、電圧は 1.3 V 。

13.40 電気分解において、 50 分間で対応する電解液から 2.04 g の亜鉛が析出する。電源の電圧値を求めよ。電解槽の抵抗は 1.8 、電解槽端子間の電圧は 4.2 V である。

13.41 起電圧 3.9 V 、内部抵抗 0.09 の蓄電池が硫酸銅水溶液に満たされた槽内の 2 つの電極に接続している。 1 g の銅はどれだけの時間で析出するか。溶液の抵抗は 0.51 、加電圧は 1.5 V とする。

13.42 アルミニウムの原子数と、原子かを概値として、アルミニウムの電気化学当量を計算せよ。電流 3.0 A を流す電気分解において、一昼夜でどれだけのアルミニウムを得ることができるか。

13.43 ナトリウム、塩素、アルミニウムの当量を計算せよ。銀の当量を $1.118 \times 10^{-6} \text{ kg/C}$ とする。

13.44 酸素の原子量と原子価を概値とする。電気分解で 5.5 C の電流量が流れたとき、酸素の当量と質量を計算せよ。

13.45 硫酸亜鉛水溶液の電気分解を 2.5 A の電流で行ったとき、 5 分間にカソードに 2 価の亜鉛原子がどれだけ析出するか。

13.46 電気分解を電流密度 0.15 A/dm^2 で行くと、 1 分間でカソードに 2 個の金属原子がどれだけ堆積するか。

13.47 水素の化学当量を $1.044 \times 10^{-8} \text{ kg/C}$ として、水素の原子量を定めよ。

13.48 電流 160 A の電気分解で 0.90 g の水を分解した。どれだけに時間がかかったか。また、分離して得られた水素と酸素の質量は幾らか。

13.49 固体の混合物から水を抽出する方法の 1 つに電気浮遊選鉱法がある。この選別方法にはどのような 2 つの方法が基礎となっているか。

13.50 ニッケルの生産を 6.5 時間行ったら、厚さ 0.12 mm のニッケル層が形成された。電気分解でどれだけの電流密度が流されたのか。装置の効率を 90 % とする。

13.51 弱塩水の電気分解を 50 分行ったら、3.3 l の水素が発生した。常温常圧のもとである。電解液の抵抗を 0.40 Ω として、その加熱に消費された電力を求めよ。

13.52 塩酸の電気分解において、定常条件下で、27.75 cm³ の爆鳴気が発生した。流れた電気量を求めよ。

13.53 電流 2.5 A、時間 12 分で塩水の電気分解を行った。定常条件下で、発生した水素と酸素の体積お跳びそれらの質量を求めよ。

13.54 塩水の電気分解において、32.5 W の電力を消費した。定常条件下で、2 時間 23 分間で 5.0 l の水素を得たとして、電気分解装置の抵抗を求めよ。

13.55 亜硫酸の希薄溶液に 4.0 kC の荷電量が通過すると、128 kPa 下で 0.40 l の水素が発生した。その温度は幾らか。

13.56 亜硫酸の薄い溶液に電流を流すと、27 $^{\circ}\text{C}$ 、1013 kPa で 5.0 l の水素が発生した。電解槽の両端子の電圧が 5.0 V、装置の効率が 80 % として、どれだけの電気エネルギーが消費されたか。

13.57 水溶液の電気分解において、 5.2×10^{23} 個の電子が流れた。これにより得られた塩素を容積 5.0 l、温度 300 K のバルーンに閉じこめた。圧力は幾らか。

13.58 容積 250 m³ の気球には、温度 27 $^{\circ}\text{C}$ で圧力 0.20 MPa の水素ガスが必要である。亜硫酸の希薄水溶液の電気分解で、発生する水素ガスでこの気球を充填するためには、どれだけの電気量が必要か。

電池と蓄電池

13.59 化学的電源は何に基礎を持っているか。化学的電源を例示せよ。

13.60 乾電池の原理的構造はどのようなものか。

13.61 ボルタの電池の起電圧は使用していると何故低下するのか。

13.62 ダニエル電池は硫酸銅溶液の入ったガラス製容器からできている。容器中には銅板（正電極）が入れてある。素焼き容器内部には塩酸がしみ込んでおり、そこへ亜鉛の棒（負極）を沈める。0.5 A で電池を 30 分間作動させたとき、どれだけの亜鉛が消費されるか。

13.63 ダニエル電池で第2の電解液 - 硫酸銅水溶液 - を利用するのは何故か。

13.64 蓄電池には「容量 55 A・h」と書いてある。これは何を意味しているのか。

13.65 蓄電池の充電電圧はその起電圧より大きい。これは何故か。

13.66 鉛蓄電池の電極として十分に純度の高い鉛が利用されるのは何故か。

13.67 起電圧5.4 Vの蓄電池の充電を電圧7.2 V、電流10 Aで4時間行った。その充電を電流4.0 Aで8時間行ったとしたら蓄電池の効率はいかほどか。

13.68 海洋船を腐食から守るために、保護法が適用される。至る所の船体の表面に鉄板に亜鉛板を固着する。この様になると船体は少ない腐食に晒されるのは何故か。

13.69 冬季に着氷を防ぐために、塩が用いられる。鉄筋コンクリート製橋を塩を用いたときの破壊から防ぐために、橋に4 Vの電圧をかけるのは何故か説明せよ。電圧の符号はどうでなければならないか。

13.70 6個の直列に接続した蓄電池からできているバッテリーの荷電量は194.4 kCである。蓄電池1つ当たりの荷電量は幾らか。図に示しているような結線を蓄電池にするとバッテリーとしての荷電量はいくらとなるか。

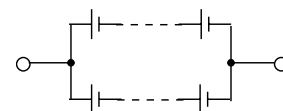


図13.70

13.71 問題13.70の図で示しているように6個の蓄電池からできているバッテリーがある。1個当たりの蓄電池の起電圧と荷電量は2.0 V、 7.2×10^4 Cである。それらの内部抵抗は無視できるくらい小さい。バッテリーとしての全荷電量、外部に抵抗1.5 を付けたときの電流、この回路でのバッテリーの動作時間などを求めよ。

13.72 内部抵抗0.01、開始起電圧1.8 Vの蓄電池を起電圧2.7 Vで充電する。利用できる電力、蓄電池の充電で消費される電力、蓄電池の加熱に消費される電力、充電された蓄電池の最初の瞬間における全電力、を求めよ。

13.73 内部抵抗 r_1 、 r_2 の2つの蓄電池の効率は、各々を同じ外部抵抗に接続したとき、 η_1 、 η_2 である。これらを直列に接続し、同じ抵抗に接続したとき、蓄電池としての効率を定めよ。

第14節 気体と真空中での電流

例題61 平板空気コンデンサの被膜の間の空間1 cm³あたりに、イオン化作用により、1秒間に 2.5×10^8 組の1価のイオンが形成される。各々の被膜の面積が10 cm²、被膜間隔が2 cmとして飽和電流を求めよ。全てのイオンはコンデンサの被膜に達するものと見なす。

例題62 水素原子のイオン化により、電子は速度 2.19×10^3 km/sまで加速される。水素原子のイオン化のポテンシャルエネルギーを求めよ。そのようなエネルギーを持ったイオン、例えば電子により水素原子のイオン化は可能か。

14.1 気体のイオン化と導電性液体のイオン化はどう違うのか。

14.2 電界の中に入れられたバーナーの炎は分岐する。何故か。

14.3 帯電している検電器は何故時間と共に放電するのか。

14.4 半径5 cmの導体球を最大どれだけのポテンシャルエネルギーまで充電することができるか。乾燥空気の耐電圧は3 MV/mとする。この条件の下で、球にどれだけ帯電させることができるか。空気の比誘電率を1とする。

14.5 イオン化ポテンシャルが13.54 Vである水素原子をイオン化するためには、電子は最低どれだけの運動エネルギーを持っていなければならないか。

14.6 ヘリウム原子のイオン化のために、 39.328×10^{-18} Jのエネルギーが必要である。ヘリウム原子のイオン化ポテンシャルは何に等しいか。

14.7 運動エネルギー 2.0×10^{-18} Jを持った電子で塩素原子をイオン化する。塩素原子のイオン化ポテンシャルは13.0 Vである。

14.8 電界20 MV/mのもとで、電子がイオン化エネルギー 2.08×10^{-18} Jを持つ気体原子をイオン化するために、電子の平均自由行程長はいくらでなければならないか。

14.9 アルゴン原子をイオン化するために、電子の最低の速さは幾らか。アルゴン原子のイオン化ポテンシャルは15.7 V。

14.10 1価のイオンが静止している原子と衝突するまで、イオン化ポテンシャル ϕ に等しい加速ポテンシャル差を衝突することなく動く。原子の衝突イオン化のためにその運動エネルギーは充分か。イオンの初速度は0とする。

14.11 衝突イオン化のために必要とされる運動エネルギーを獲得するため大きなポテンシャル差を通過しなければならないのはどの粒子か。1価のイオンかそれとも電子か。

14.12 ネオン原子はイオン化エネルギーに等しい前進運動の平均運動エネルギーをどのような温度で有しているか。衝突による静止している原子のイオン化に充分か。ネオンのイオン化ポテンシャルは21.5 V。

14.13 ヘリウム原子のイオン化ポテンシャルは24.58 V。温度 1.9×10^5 Kにおいてヘリウム原子の前進運動の平均運動エネルギーは、静止しているヘリウム原子の衝突によるイオン化のために充分か。

14.14 平板空気コンデンサに衝突するナトリウム原子は電子との衝突でイオン化するであろうか。コンデンサの電極電圧は10.5 kV、間隔は1.02 cmである。定常条件下で空気中の電子の平均自由行程長は5.1 μ m、ナトリウムのイオン化ポテンシャルは5.12 V。

14.15 低圧のヘリウムとアルゴンの混合気体で満たされたガラスパイプの中に平板コンデンサがある。電子との衝突により、ヘリウムとアルゴン原子のイオン化をコンデンサの中で実現できるか。電子の自由行程長は92 μ m、コンデンサの電圧は4.2 kV、電極間隔は2.43 cm、ヘリウムとアルゴンのイオン化ポテンシャルは各々24.5 V、15.7 Vである。

14.16 定常のイオン化作用下にある気体中のイオンの量は何故一定値まで増加し、その後一定となるのか。

14.17 電極間隔1.5 cmの平板空気コンデンサを100 Vの電圧で充電し、電源を切り離す。イオン化作用により、間隙の1 cm³当たり1秒間に 5×10^4 組の1価のイオンが発生する。形成さ

れた全てのイオンは面積 8.0 cm^2 の電極に達するのとも見なし、イオン化が開始された後、1 分後のコンデンサの電圧を求めよ。

14.18 定電圧源に結線された平板空気コンデンサの電極板間にイオン化器の作用のもとで1 個のイオンが形成される。この時、回路には $3.2 \times 10^{-16} \text{ A}$ の飽和電流が流れる。 1 cm^3 に1 秒間あたりに形成されるイオン対数を求めよ。電極板の各々の面積は 10.0 cm^2 , 間隔は 1.25 cm である。全てのイオンが極板に達するものと見なす。

14.19 気体中での自己放電において飽和電流を引き起こすことができるか。

14.20 図のグラフには、気体放電の電圧・電流特性が表現されている。グラフのどの部分が非自己放電に相当しているか。自己放電部分はどこか。BC 部分における電流をなんと呼んでいるか。この部分で気体の抵抗は不変であるか。グラフのどの部分にオームの法則を適用できるか。

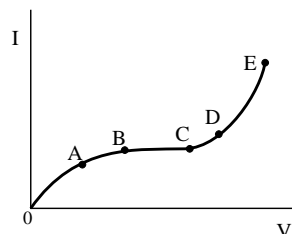


図14.20

14.21 どのような条件でなら、非自己放電は自己放電に転化するか。

14.22 大気圧のもとで、放電弧を形成するためにはどのような条件が必要か。

14.23 放電弧が点火する瞬間、電極間の電圧はどのように変化するか。

14.24 アーク放電の点火において、電極間電圧が変化しないためには何をしなければならないか。

14.25 カソードを冷却していると放電弧はどうのようになるか。アノードの冷却ではどうか。

14.26 直流電流ならば、アーク放電で電極は同じ速さで焼却するか。交流ではどうか。

14.27 アーク放電が直流電源で形成されるならば、アノードはカソードより厚くしなければならない。何のためにか。

14.28 アーク放電において電極の温度がより高いのはどの場合か。電極が炭素の場合かそれとも金属の場合か。

14.29 気体の圧力の上昇と共に、アーク放電の温度はどのように変化するか。

14.30 磁場の中におかれたアーク放電は、磁場の方向が電流の方向に垂直の場合、広がる。何故か。

14.31 電器アーク放電炉で高品質の鉄が得られるのは何故か。

14.32 電器アーク放電を用いれば、水中でも溶接をすることができるか。

14.33 低圧下でアーク放電は可能か。

14.34 アーク放電は40 から50 Vで充分に発生するのに、火花放電は数kVの電圧下で何故発生するのか。

- 14.35 火花放電は非常な高速度で伝搬するのは何故か。
- 14.36 火花放電に沿って伝搬する荷電量、および0.001秒間に放出されるエネルギーを求めよ。電圧は109V、電流は50kAに達するものとする。
- 14.37 高圧送電線において、基幹電線の上に鉄塔と絶縁されていない2本の補助電線が配置されているのは何故か。
- 14.38 雷放電において平均電流と瞬間電流について何がいえるか。
- 14.39 火花放電を利用すれば、非常に固く融けにくい金属や合金を加工できるのは何故か。加工する部品を電源のどの極に接続するのか。
- 14.40 金属から部品を型抜きするために、火花放電はどの様に利用できるか。何故電極に接続するのか。
- 14.41 自動車の機械式スイッチにおいて、好ましくない電気火花が発生し、接点部の加熱を引き起し、エンジンの動作に悪影響を与える。接点の加熱をどの様にして予防することができるか。
- 14.42 火花放電を利用すれば、金属部品を他の金属で被覆することができるか。
- 14.43 コロナ放電はどこでどの様な条件で発生するか。
- 14.44 コロナ放電による気体のイオン化と、アーク及び火花放電における気体のイオン化との差は何か。
- 14.45 コロナ放電におけるエネルギーの損失は加電圧にどの様に依存しているか。天候に関してはどうか。
- 14.46 コロナ放電におけるエネルギーの損失は導体の直径に依存しているか。
- 14.47 高電圧源の電極にお互いに離れた何本かの線を結線するとコロナ放電を弱めてくれるのは何故か。
- 14.48 環境の保全のため、どこでどの様にコロナ放電が利用されているか。
- 14.49 放電、放電管内、大気の上層部、太陽での物質の状態をなんと呼んでいるか。
- 14.50 気体の希薄化はその伝導性をよくするのは何故か。
- 14.51 どの様な方法で、気体の原子を励起状態にすることができるか。
- 14.52 どの様なとき原子は光を放つか。
- 14.53 希薄気体の放電において、各原子は何故特有の色で光るのか。
- 14.54 太陽活動が最も活発な磁気に、オーロラがよく現れ強く光るのは何故か。オーロラは赤道には現れず、中緯度で希に見えるのは何故か。

14.55 オーロラが磁気嵐で乱されるのは何故か。

14.56 気体のどのような放電をグロー放電と呼ぶのか。

14.57 図に希薄気体が入り、平板電極を持ったガス放電管中でのグロー放電における暗部と明部、及び管軸に沿ってのポテンシャルの分布が示されている。図中で、
、
、
の数字で示されているグロー放電中の部分を何と呼ぶか。それらの部分でどのようなことが起きているか。

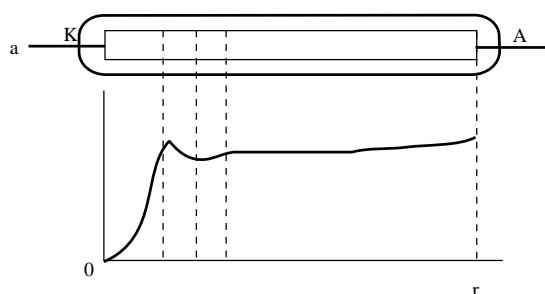


図14.57

14.58 グロー放電の可能な応用例を示せよ。

14.59 ガス放電管内でカソード線を作るために希薄気体はどのような役割を果たすか。

14.60 図に示しているように、管内でカソード線を曲げる磁場の方向を定めよ。

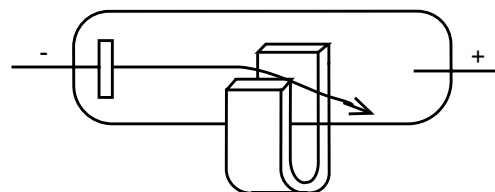


図14.60

14.61 真空中の電子線はどこで利用されているか。

14.62 バリウム金属表面からの電子の脱出仕事は 2.49 eV である。バリウムでの脱出仕事ポテンシャルを求めよ。脱出仕事を完遂するためには、どれだけの運動エネルギーを電子は持たなければならないか。

14.63 タングステンの表面からの脱出仕事に等しい平均の電子の運動エネルギーは何度に相当するか。タングステンからの脱出仕事ポテンシャルは 4.54 V 。

14.64 タングステンカソードの作動温度は 2500 K 。この温度に相当する平均運動エネルギーを電子が持っていれば、電子は脱出仕事を完遂することができるか。

14.65 電子がタングステンの領域から抜け出すために必要な最低の速さの垂直成分（カソードの表面に垂直）は幾らか。バリウム、トリウムではどうか。トリウムからの脱出仕事ポテンシャルは 3.38 V 。

14.66 バリウムとトリウムの酸化物の混合物からできた酸化物カソードからの脱出仕事の遂行において、電子の運動エネルギーは4倍小さくてすむ。電子の初期速度とカソードから飛び出す瞬間の速度を求めよ。

14.67 1秒間にカソードから飛び出す電子の数は何に依存するか。

14.68 カソードの大きさと温度を変化することなしに、その放射をどのようにして大きくすることができるか。

14.69 1秒間当たりカソードの表面が 5×10^{16} 個の電子を放出するものとして、飽和電流の最大値を求めよ。

14.70 飽和電流 12 mA において、カソードの表面から1秒間当たりどれだけの電子が飛び出

すか。全ての電子はアノードに達するものと見なす。

14.71 冷えたカソードからどのようにして電子を引き出せるか。そのような現象を何と呼んでいるか。

14.72 カソードランプにおいて飽和電流を変えることができるか。

14.73 真空管において、カソードからの電子の拡散は不断において行われているのかかわらず、何故空間中の負電荷は一定に保たれるのか。

14.74 300 Vを印加すると、ランプのアノード電流は10 mA。1秒間にアノードから放散される熱量、アノード回路に結線されている5 k の抵抗での電圧降下を求めよ。

14.75 内部抵抗100 の真空ランプの最小負荷抵抗値を求めよ。流す電流は100 mA、回路での消費される電力は10 Wである。この時、アノードではどれだけの電力が排出するか。

14.76 長さ5 cm、直径0.16 mm²のフィラメントからできているカソードから1秒間に表面1 cm²あたり 1.5×10^{17} 個の電子が飛び出す。その5分の一がアノードに達するものとして、ランプのアノード回路に結線された5 k の抵抗での電圧降下を求めよ。

14.77 図はカソード電流とカソード電圧の依存関係を示している。カソードが高温の場合はどちらのグラフが対応するか。

14.78 三極管において、アノード電流とアノード電圧の関係を示しているグラフのどれがグリッド - カソード間の電圧に対応しているか。

14.79 図に示しているアノード電流とグリッド電圧の関係を表しているグラフのどちらがより高いアノード電圧の場合に対応しているか。

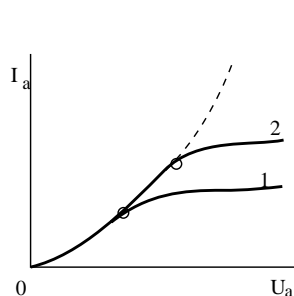


図14.77

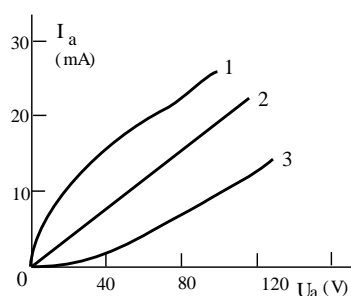


図14.78

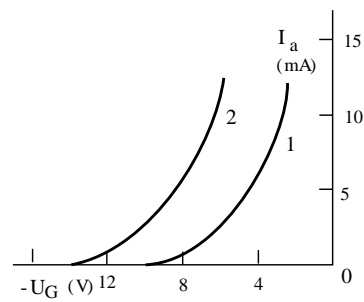


図14.79

14.80 ガス充填ランプの方が真空ランプより大電流での動作が可能なのはなぜか。

14.81 電子銃ではどのような目的で高真空を作るのか。

14.82 電子銃において、電子線の経路上に2組のコンデンサが配置されている。それらの面は互いに垂直である。これらの代用品はあるか。

14.83 図解している電子銃間の各部の名称と役割を述べよ。

14.84 カソード線を得るために、管内に長さ4.5 cm、間隔1.8 cmの平板コンデンサを

おく。電極板に平行に入射してくるカソード線が電極間内で 1.2 mm 傾くために、コンデンサにかかる電圧を求めよ。カソード線での電子の速さは $5.0 \times 10^4\text{ km/s}$ とする。

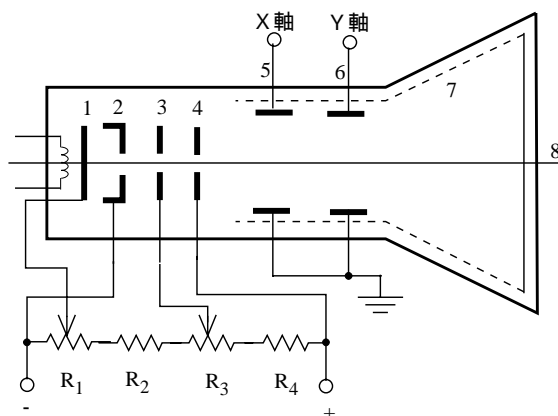


図 14.83

第 15 節 半導体中での電流

15.1 導体、半導体、誘電体の比抵抗率はどの様に異なっているか。

15.2 真性半導体の導電率を支配している電子と正孔の濃度について何をいうことができるか。それらの荷電は何に等しいか。

15.3 電子と正孔の発生はどのような原理で行われるのか。

15.4 電子と正孔が合流すると何が起こるのか。

15.5 外部条件が不変であれば、半導体中の自由キャリアの数は何故一定に保たれるのか。電子と正孔の対生成が不断に行われているにもかかわらず。

15.6 温度の上昇と共に真性半導体の抵抗はどの様に、何故変化するのか。

15.7 半導体の抵抗の温度係数について何がいえるか。

15.8 半導体を加熱すると、電子の自由行程長が短くなる。この時、何故比抵抗率も小さくなるのか。

15.9 半導体の抵抗の温度依存性をどのような装置で利用しているか。

15.10 一定電圧の回路に、直列に金属抵抗と半導体抵抗が接続している。金属抵抗を加熱すると、回路電流はどの様に变化するか。半導体抵抗の加熱ではどうか。

15.11 金属柱の自由電子濃度は 10^{23} 個/cm^3 程度であるが、室温ではゲルマニウムでは $3 \times 10^{13}\text{ 個/cm}^3$ である。ゲルマニウムと金属の比抵抗にはどのような違いがあるか。

15.12 半導体製光抵抗器では電子と正孔対が光照射により発生する。照度の増加と共に光抵抗器の抵抗はどの様に变化するか。

15.13 光照射がない状態で、光抵抗器での暗電流の発生はどの様に説明されるか。

15.14 光抵抗器での電流と電圧の関係が図に示されている。この光抵抗器ではオームの法則は満たされているか。グラフのどれが大きな照度の場合か。

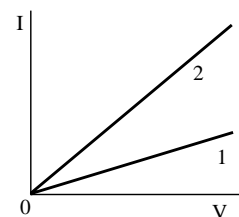


図 15.14

15.15 半導体において、電子伝導性は主にどの様に形成されるか。正孔導電性はどうか。

15.16 ゲルマニウム半導体は以下で示す不純物 - リン、砒素、硫黄、ガリウム、硼素、インジウム - のうちのどれの添加により、主に電子伝導性が優位となるか。正孔導電性ではどうか。

15.17 不純物半導体の温度に関する抵抗の依存性はどの様に変化するか。

15.18 不純物半導体において、固有（ホストではない）導電性は保存されるか。

15.19 p n 接合で自由キャリアの濃度に関して何がいえるか。その抵抗についてはどうか。

15.20 p n 接合領域に、荷電の自由キャリアが何故溜まるのか。

15.21 図に、半導体ダイオードを流れる電流と電圧の関係が示されている。グラフのどの部分が順方向に流れる電流に相当しているのか。逆方向ではどうか。順方向と逆方向に対して電圧電流特性曲線が同じスケールでないのは何故か。

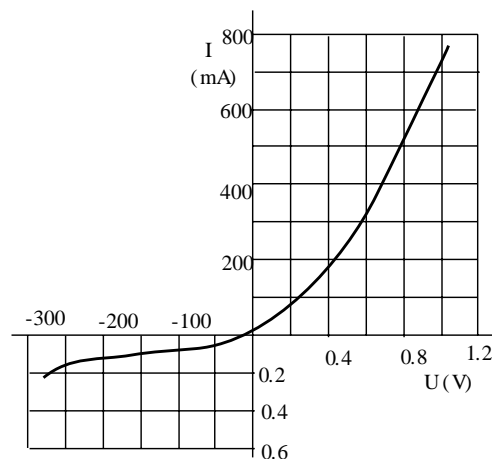


図 15.21

15.22 p n 接合の片方向には直流電流は逆方向より極めて大きい。何故か。

15.23 交流回路中の半導体整流器には負荷を必ず付けなければならない。何故か。

15.24 半導体ダイオードと負荷の抵抗 $100\text{ k}\Omega$ を持った回路の最大加電圧を求めよ。逆電流は $150\text{ }\mu\text{A}$ 、許容逆電圧は 100 V を越えるものとする。

15.25 温度が極めて高くなると、p n 接合の整流作用が極端に低下するのは何故か。ゲルマニウム装置の応用はどれだけの温度まで許容されるか。シリコンではどうか。

15.26 図 a から b に示している回路で整流作用について説明せよ。電流と時間の関係を示しているグラフとの対応をつけよ。図 d、e に示している電流と時間の関係グラフは、図 a、b、c のどれに対応しているか。

15.27 トランジスタのベースの幅は荷電のキャリアの自由行程長と同程度でなければならないのは何故か。

15.28 トランジスタのエミッタの不純物量はベースより極めて多い。何故か。

15.29 エミッタ、ベース、コレクタの電流にはどのような関係があるか。

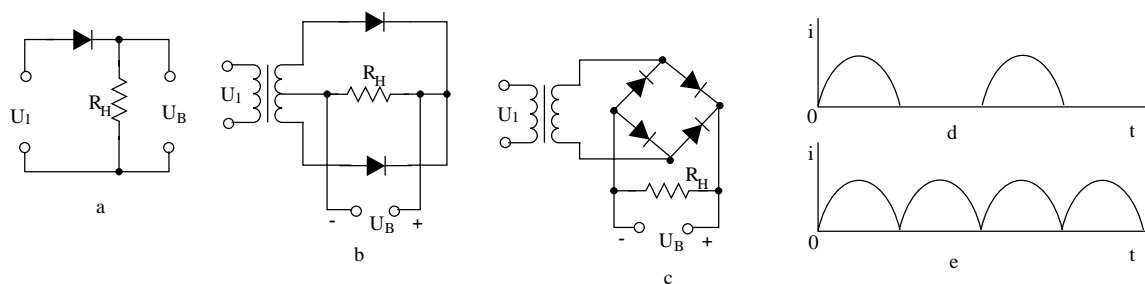


図 15.26

15.30 トランジスタで、エミッタ - ベース間の電圧と、ベース - コレクタ間の電圧を一樣に上げる。この時コレクタ電流は一樣に増加するか。

15.31 図に表記されているのは pnp、npn トランジスタのどれか。これらトランジスタの最も簡単な回路を書き、エミッタ、ベース、コレクタを指示せよ。

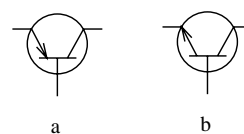


図 15.31

15.32 図に最も簡単なトランジスタの増幅回路が描かれている。この様な回路は何と呼ばれているか。エミッタ - ベースの入力端子で入力電圧 V_{in} が動くと、出力電圧 V_{out} はどのように変化するか。

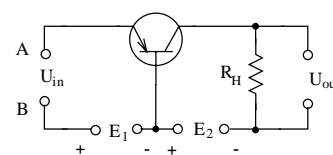


図 15.32

第 16 節 電磁気学

例題 6.3 図に示しているように、電流の流れている長い直線導線と半径 0.1 m の円形導線が真空中におかれている。直線導線と円形導線の中心 O までの距離は 0.2 m 。 O 点での磁界の強度、磁束密度、円形電流の面となす磁界強度の角度を求めよ。直線導線には 20 A 、円形導線には 10 A 流れている。

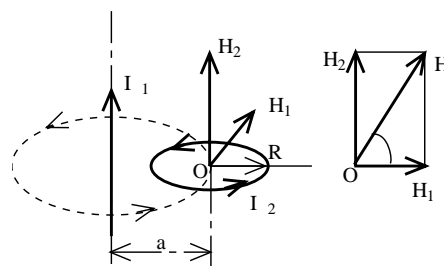


図 例題 6.3

例題 6.4 面積 0.1 m^2 、巻き数 55 回の長方形の枠が一樣な磁界中に磁力線に平行におかれている (図参照)。磁界の磁束密度は 0.45 T 。枠を流れる電流は 6 A で一定である。枠の面に垂直なベクトルが磁束密度ベクトルと角度 60° となす瞬間における枠を通り抜ける磁束流、電流を持った回路の磁気モーメント、 90° 回転するまで及び回転どの回転モーメントを求めよ。電流の流れている枠を 90° 回転するのに、磁場はどれだけの仕事をするか。

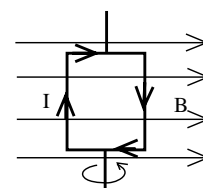


図 例題 6.4

例題 6.5 真空中で静止の状態にある陽子を一樣な磁界の中で、電位差 2.5 kV の電界で加速する。磁束線となす角度は角度 30° である。陽子の軌跡、螺旋運動の半径、螺旋のピッチ、磁束線の方に陽子が 4 回転する間の距離を求めよ。磁界の強度は $1.5 \times 10^5 \text{ A/m}$ 。

例題 6.6 1 価に帯電したアルゴンイオンが静止状態から、ポテンシャル差 800 V の加速電界で加速され、一樣磁界の中に磁束線に垂直に飛び込んで、半径 7.63 cm 、 8.05 cm の弧を持つ 2 つのビーム線に分離した。磁界の磁束密度は 0.30 T 。アルゴンの質量数を求めよ。

電流による磁界。磁束密度。磁界。円電流の磁気モーメント。

16.1 電流はいつでも熱作用を発生するか。化学作用はどうか。磁場を作るか。

16.2 K系で静止している帯電した物体に対して、K'系は等速直線運動をしている。帯電した物体の場合はどちらの基準系で電氣的か。どちらが磁氣的か。

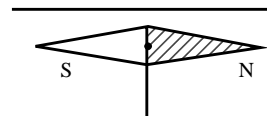


図16.3

16.3 磁針の南極が読者の方向に傾くとした時、導線を通る電流の方向を定めよ（図参照）。電流の流れている導線の上に磁針を配置すると、北極がどの向きに傾くか。

16.4 図に示している導線中の電流の方向、磁束密度の方向、導線に作用する力の方向を定めよ。

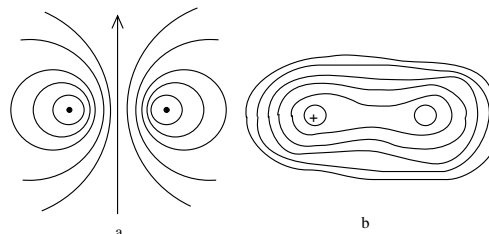


図16.4

16.5 円形導体において、直径の対向する2点での電流はどのような向きを向いているのか。自分自身中を通る電流による磁場の作用はどのように現れるか。

16.6 螺旋状に巻かれた柔らかい導線が一端で吊されている。この螺旋に電流を流すとどうなるか。

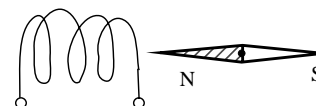


図16.7

16.7 図において、電流の流れているコイルの磁極を定めよ。電流の方向と電源の極も求めよ。

16.8 ソレノイドコイルを巻き、それを直流電源に接続して、ソレノイドの両端がS極となるようにすることができるか。N極ではどうか。

16.9 鉄棒の両端を同じ磁極にすることができるか。永久磁石は偶数の磁極を持つことができるか。奇数ではどうか。

16.10 磁化していない鉄棒が、地球磁場の中にあり、水平及び垂直平面内で自由に回転できる状態で、水平となっている。この鉄棒が磁化した後、水平状態でいられるか。垂直状態でいられるか。

16.11 磁針に従った北と子午線に従った北は常に一致するのか。

16.12 長さ2.8mの2本の平行導線が間隔12cm離れていて、お互いに3.4μNの力で引き合っている。1本を流れている電流は58A。もう1本を流れている電流を求めよ。電流は2本の導線をどのような方向に流れているのか。

16.13 同じ電流が流れている2本の導線がお互いに8.7cmの間隔離れて、25μNの力で引き合っている。導線の各々の長さが3.2mとして、導線を通っている電流を求めよ。

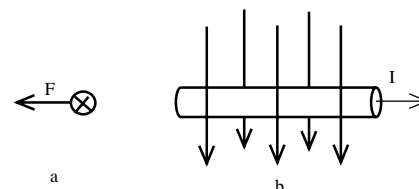


図16.15

16.14 電流の流れている2本の平行導線が真空中で距離4.0cm離れている。電流は各々25Aと5Aである。1.2μNの力が作用しているとすれば、導線の長さは幾らか。

16.15 図に磁場中にある電流の流れている導線が示されている。磁場の方向（図a参照）、アンペールの力の方向（図b参照）を求めよ。

16.16 磁束密度 0.82 T の一様磁界中で、磁束線に垂直に長さ 1.28 m の導線がおかれている。導線を通る電流が 18 A の時、導線に作用する力を求めよ。

16.17 磁束密度 0.12 T の一様磁界中で、磁場の方向に対して 30° の角度で長さ 1.5 m の電流の流れている導線が配置されている。導線に作用している力が 1.8 N の時、導線を通っている電流を求めよ。

16.18 磁束密度 0.25 T の一様磁界がその中にある導線に 2.1 N の力を及ぼしている。電流の方向と磁場の方向との間の角度を求めよ。導線の長さは 1.4 m 、電流は 12 A である。

16.19 磁束密度 0.5 T の一様磁界中に、2個の重力計の助けのもとで長さ 0.2 m 、質量 102 g の導線が吊されている。導線中に流れる電流がいくらのとき導線の重さが無くなるか。電流が 5 A のとき、各々の重力計の指示値はどのように変化するか。

16.20 図に示しているように、長さ 1.25 m の銅製円筒導体が一様磁界中に吊されている。導体の両端にかけられるような電位差のもとで、重さが無くなるか。磁束密度 $2.5\text{ }\mu\text{ T}$ の磁場が読者の方を向いているとしたら、電流の向きはどの方向か。

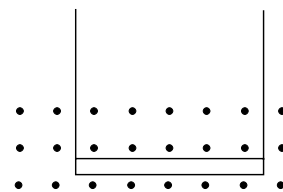


図16.20

16.21 垂直で一様な磁界の中に2本の細い糸で長さ 32 cm の導体が吊され、その重力は 0.25 N である。導体に電流 1.25 A が流れ、糸が垂直と 45° をなすとき、場の磁束密度を求めよ。

16.22 質量 0.1 kg 、長さ 0.25 m の導体軸が、磁束密度 0.2 T の一様な水平磁界に直角で、かつ水平面上に横たわっている。軸に電流 10 A を流したとき、一定の速さで前進させるためには、水平方向にどれだけの力を与えなければならないか。摩擦係数は 0.1 である。

16.23 水平と 30° をなすレールの上に、それに直角に質量 0.25 kg の導体軸を横たえる。わだちの幅は 0.49 m 。レールの面に直角な磁界の強度がいくらの時、軸は静止しているか。それを通る電流は 1.25 A である。摩擦は無視する。

16.24 長さ 0.5 m 、質量 0.102 kg の電流の流れている導体が、水平と 30° をなす平面上に、かる磁束密度 0.1 T の磁界に直角におかれている（図参照）。導体を通っている電流は 10 A 。静止最大摩擦係数は 0.10 。導体を静止状態に保つためには、導体にどれだけの力を斜面方向に加える必要があるか。

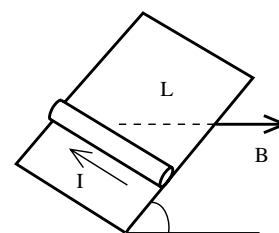


図16.24

16.25 電流 13.2 A の流れている長い直線導線から 9.2 cm 離れた点での磁界強度と磁束密度を求めよ。

16.26 電流の流れている直線導線から 4.5 cm 離れた点での磁束密度は $0.28\text{ }\mu\text{ T}$ 。この点における磁界強度と導体を通っている電流を求めよ。

16.27 電流の流れている長い直線導線から 10 cm 離れたところで、磁界強度は 160 A/m 。この導線からどれだけ離れて点で磁束密度は $5.03 \times 10^{-5}\text{ T}$ となるか。

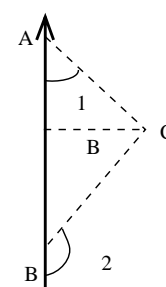


図16.28

16.28 導線の線分 AB を通る電流によって、距離 r 離れた C 点に形成される磁界強度は公式

$$H_c = I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) / 4r,$$

でわかるして、以下の場合の磁界強度と磁束密度を求めよ。a) 無限長導線の場合 b) 正方形導線の中心 c) 1 辺 $a = 0.1 \text{ cm}$ の正六角形の場合 導体を流れる電流は全てで 2.5 A とする。

16.29 電流の流れている無限直線導線から 20 cm の距離離れている A 点で電界強度は 40 A/m 。図に示しているように、導線を曲げると、この点での磁界強度と磁束密度はどうなるか。導線中の電流はどうなるか。

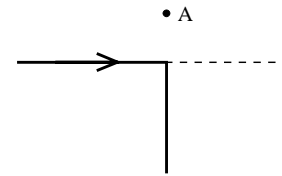


図 16.29

16.30 器壁の薄い無限長の半径 R の円筒導体に電流 I が流れている。磁界強度と磁束密度を求めよ。a) 導体の内部空洞 b) 導体の表面から距離 R 離れている点。

16.31 直径 2 cm の無辺直線円筒導体を電流 100 A が流れている。電流密度は導体断面全体で一様であると見なし、磁界強度と磁束密度を求めよ。a) 導体の軸上。b) その軸から 50 cm 離れた点。c) 導体の表面。d) 表面から 1 cm 離れた点。

16.32 非常に長い 2 本の平行導線が空気中で間隔 20 cm 離れておかれている。各々を流れている電流は 24 A と 16 A である。電流の向きが同方向と逆方向の場合において、磁界強度が 0 となる点の幾何学的位置を求めよ。

16.33 等しい電流が流れている 2 本の長い平行導線間の間隔は 15 cm 。2 本の導線から等距離の点における磁界強度を求めよ。電流は共に 20 A 。電流の向きが同方向及び逆方向の場合について考察せよ。

16.34 図に示されているように電流の流れている 3 本の長い平行導線がお互いの間隔を 15 cm として空気中に配置されている。導線を流れている電流は全て等しく 12 A である。各導線から等距離にある O 点での磁界強度と磁束密度を求めよ。

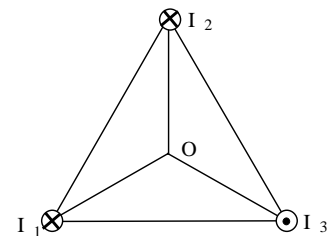


図 16.34

16.35 磁束密度 $0.24 \mu\text{T}$ の一様磁界の空气中に、磁束線と直交して 2 本の長い平行導線が間隔 7.5 cm 離れておいてある。それらの導線を流れている電流は 15 A , 7.5 A 。各々の導線の 1.8 m 分に作用する力を求めよ。電流の流れている導線が相互作用し合う力は同じか。各々の導線と関係した磁場はどうか。

16.36 問題 16.35 において、磁場が導線に水平に配置しているとき、及び垂直に配置しているときにおいて、電流の流れている導線に作用する力を求めよ。

16.37 15.2 A の電流が流れている半径 7.6 cm の円形電流の中心における磁界強度と磁束密度を求めよ。S 極が読者側にあるならば、導線を流れている電流の向きはどうなるか。

16.38 半径 5.8 cm の円形電流の中心で、磁束密度は $0.13 \mu\text{T}$ 。中心での磁界強度と導線を流れている電流を求めよ。

16.39 断面積 2.1 mm^2 の銅線でできている円形回路に電流 12.6 A が流れている。中心での磁界強度と磁束密度を求めよ。導線の両端におけるポテンシャル差は 6.3 V である。

16.40 半径12 cm、8 cmの同心形状を持つ2つの電流の流れている導体が磁場を形成している。外側の導体を流れている電流は4.8 A。内側の導体を流れている電流で作られる磁界強度は共通の中心で15 A/m。電流の方向が同方向の場合と逆方向の場合について、共通中心での合成された磁界強度を求めよ。

16.41 同じ半径の2本の円形導体が共通中心Oを持ち、相互に面を直角に交差して配置している。中心での合成された磁束密度は $B_0 = 2.0 \times 10^{-4} \text{ T}$ 。この点にkたほうの導体を作る磁束密度は $B_1 = 1.6 \times 10^{-4} \text{ T}$ 。O点に他方の導体を作る磁束密度を求めよ。前者を流れる電流が $I_1 = 8.0 \text{ A}$ として、後者を流れる電流を求めよ。

16.42 半径4.8 cmの円形コイルと直線導線が同じ平面内にある(図参照)。直線導線からコイルの中心までの距離は12.1 cm、直線導線を流れている電流は19.4 A。コイルの中心での磁界強度が154 A/mの時、コイルを流れている電流を求めよ。コイルを流れる電流の方向を逆としたとき、コイルの中心での磁束密度を求めよ。

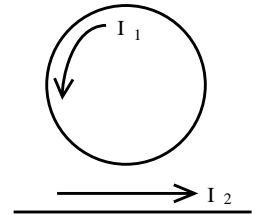


図16.42

16.43 長い直線上の導線で作られた半径7.9 cmの円形の形をした輪の中心で、磁界強度は117 A/m。導線を流れている電流を求めよ。

16.44 コアはなく長さ85 cm、巻き数750ターンのソレノイドがある。電流5.6 Aを流したとき、ソレノイド内での磁界強度と磁束密度を求めよ。

16.45 コアのない長さ64 cm、巻き数820のソレノイドで、内部の磁束密度が $1.2 \mu \text{ T}$ である時、流している電流を求めよ。

16.46 長さ1 cmのコアのないソレノイドは、流す電流が4.3 Aの時、その内部の磁束密度が $8.2 \mu \text{ T}$ より小さくないためには、どれだけの巻き数が必要か。

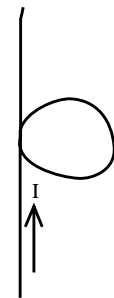


図16.43

16.47 2層に密に巻き付けた絶縁導線からできているソレノイドに、電流を流す。導線の直径は0.2 mm。電流を0.52 A流したとき、ソレノイド内部の磁界強度を求めよ。

16.48 コアのない長さ20 cm、直径1.5 cmのソレノイドで、どれだけの最大の磁束密度が得られるか。コイルの両端のポテンシャル差は12 V、断面積 0.50 mm^2 の銅線でコイルができているとする。絶縁体の厚さは無視する。

16.49 直径30 cmで、それに電流20 Aを流したときのリングの作る磁気モーメントを求めよ。

16.50 辺長10 cmと20 cmの長方形枠に40回コイルを巻く。この枠の磁気モーメントが $1.33 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ の時、流す電流を求めよ。

16.51 巻き数が40ターンの、それに3.5 Aの電流を流すと $1.33 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ の磁気モーメントを持つ密着コイルの半径を求めよ。

16.52 面積 250 cm^2 の長方形の枠にコイルが120ターン巻いてあり、磁束密度 $18 \mu \text{ T}$ のよう磁界に枠の面を直角にして配置している。枠の磁気モーメント、最大回転モーメント、枠の面ベクトルが磁束密度と 30° の角度をなすときの回転モーメントを求めよ。枠の電流は6.4 A。

16.53 図に示しているように、電流の流れている2つの同型の棒が磁場の中におかれている。棒bの方の電流は棒aのより2倍大きい。棒bに作用している最大回転モーメントを求めよ。ただし、棒aに作用する最大回転モーメントは $2.8 \text{ N} \cdot \text{m}$ である。

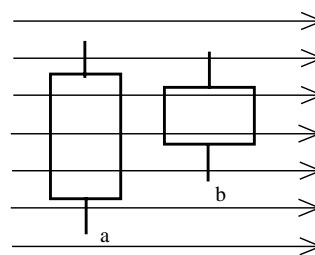


図16.53

16.54 長さ l の糸に吊された荷電 Q を持った小球が水平面内で一様な円運動をしている。糸は垂直と角度 θ をなすように円錐の表面を描いている。球の運動が原因となる円の中心における磁束密度とその磁気モーメントを求めよ。

16.55 基底状態にある水素において電子は半径 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ の軌道に沿って速さ $2.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ で運動している。この運動を円電流と見なして、電子の軌道運動で発生する軌道の中心での磁束密度と磁気モーメントを求めよ。

16.56 すいそげんして、電子は半径 $2.12 \times 10^{-10} \text{ m}$ の軌道を動いている。軌道の中心における磁束密度と磁気モーメントを求めよ。

磁束流。電磁継ぎ手(?)とインダクタンス。磁力の仕事

16.57 磁界強度が 250 A/m の一様磁場の磁束密度線に直角に位置する平らな面積 280 cm^2 を通り抜ける磁束流は幾らか。媒質は空気とする。

16.58 空気中で磁界強度 $1.2 \times 10^4 \text{ A/m}$ の一様磁場中に、平らな表面があり、その面積法線は磁場の方向と 60° の角度をなしている。表面の面積を 2.4 m^2 として、その方面を突き抜けている磁束流を求めよ。

16.59 図に示しているように、面積 100 cm^2 の棒が一様な磁界におかれている(a状態)。 180° それを回転する(b状態)と、棒と通り抜ける磁束流はどれだけ変化するか。磁界の磁束密度は 0.2 T 。

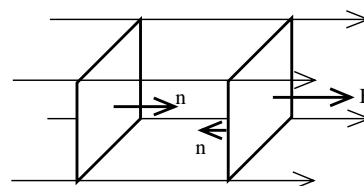


図16.59

16.60 磁束密度 B の一様な磁界中で面積 S の棒が磁界の方向に直角におかれている。棒の面積ベクトルと磁束密度の間の角度 θ に対する磁束流の依存性はどのような公式で表現されるか。磁束密度を 0.24 T 、棒の面積を 250 cm^2 として、角度 30° と 60° での磁束流を求めよ。

16.61 電流 8.6 A を流すと 0.12 Wb の磁束流を発生するコイルのインダクタンスを求めよ。

16.62 コイルに 5 A の電流を流すと、 $15 \mu \text{ Wb}$ の磁束が発生する。コイルのインダクタンスが 60 mH の時、コイルの巻き数は幾らか。

16.63 コアのないコイルの長さを変えず、巻き数を2倍とすると、コイルのインダクタンスと磁束は何倍となるか。

16.64 コアのないソレノイドに電流 6.3 A が流れているときの磁束流を求めよ。ソレノイドは巻き数 1400 回、長さ 1.6 m 、半径 4.8 cm 。ソレノイドのインダクタンスは幾らか。

16.65 ソレノイドの長さは 24 cm 、直径 5.6 cm である。直径 0.4 mm の銅線の密着巻きでできている。絶縁体の厚さは無視して、コイルの両端に電位差を加えたとき、軸上での磁束密度

が 2.54 mT である時、電位差を求めよ。

16.66 コアのないソレノイドが比抵抗率 μ の密着巻き導線の N 回巻きでできている。一定電圧 U の時、それを電流 I が流れる。内部の磁界強度が H のとき、ソレノイドのインダクタンスと磁束流を求めよ。絶縁物の厚さは無視する。

16.67 磁束密度 1.2 T の一様磁界中で、磁束密度線に垂直に長さ 0.4 m の導線を間隔 0.25 m 動かす。導線中の電流が 21 A のとき、この時なされる仕事は幾らか。

16.68 電流の流れている導線を 2 m の距離動かすと、磁束密度 0.5 T の磁界はどれだけの仕事をなすか。導線の長さは 0.5 m 、磁場の方向と角度 30° をなして配置され、電流の方向と磁束密度の方向に直角に動かされるものとする。導線を流れる電流は 20 A 。

16.69 巻き数 64 回の半径 12.5 cm の平板コイルが磁束密度 0.28 T の磁界中に、その面が場の方向と 30° なすように配置されている。コイルを流れている電流を 5.5 A として、磁場からコイルを遠ざけるためにはどれだけの仕事をなさなければならないか。

16.70 導線を 25 回巻いた枠が磁場の中に置かれ、外部の磁束流 12 mWb がそれを貫いている。枠に電流を流すと、枠は回転し、それを貫く磁束流は 77 mWb となった。枠に流した電流を 8.4 A として、枠の回転でなされた仕事を求めよ。

16.71 磁束密度 60 mT の磁界の中に、辺長 5 cm 、 8 cm の長方形の枠が、磁場の方向と直角に置いてある。枠にはコイルが 200 回巻いてあり、磁束密度線に垂直な軸の周りに回転できる。枠が 4 分の 1 回転するとどれだけの仕事がなされるか。 2 分の 1 回転ではどうか。 1 回転ではどうか。枠を流れる電流は 0.5 A であり一定である。

16.72 ソレノイドの内部にアルミニウム製のコアを挿入するとソレノイド内の磁界強度と磁束密度は変化するか。

16.73 断面積 3.1 cm^2 、長さ 20 cm の閉じたコアに、コイルを 1000 回巻き付ける。コイルを流れる電流が 0.16 A のとき、コア内の磁束流を求めよ。電流を 2 倍とするとコア内の磁束流は何倍となるか。 4 倍ではどうか。コアとしての強磁性体の磁界強度と磁束密度の関係は表 19 に引用されている。

16.74 軟鉄製のコアを持つトロイダルコイルの巻き数は 1200 回。どれだけの電流を流すと、磁束流が 0.54 mWb となるか。トロイダルコアのコアの断面は直径 2.4 cm 、トロイダルコイルの外半径は 18 cm 。コイルに流す電流を 2 倍とすると、磁束流はいかに変化するか。磁界強度と磁束密度の関係は表 19 のグラフから取れ。

ローレンツ力

16.75 磁束密度 85 mT の一様磁界中に、速さ $4.6 \times 10^7 \text{ m/s}$ の電子が磁束密度線に直角に飛び込む。電子に作用する力、電子が描く円弧の半径を求めよ。

16.76 一様磁界中を、磁束密度線に直角に半径 10 cm の円に沿って電子が運動する。磁界強度を $1.6 \times 10^2 \text{ A/m}$ として、電子の運動速度を求めよ。運動は真空中で行われる。

16.77 磁束密度 B の一様磁界中を電子が半径 R の円に沿って運動する。電子の運動エネルギーを求めよ。

16.78 磁界強度 100 A/m の一様磁界中に、陽子が磁場の方向に垂直に飛び込む。電子の運動が真空中で、その速さが $1.6 \times 10^3 \text{ m/s}$ として、陽子の軌跡を求めよ。磁場中での陽子の回転周期は幾らか。

16.79 速さ $2.65 \times 10^7 \text{ m/s}$ の電子が一様磁界中に、磁束密度線に垂直に飛び込む。 1.32×10^{-10} 秒間で、電子は最初の方
向からどれだけの距離変位するか（図参照）。磁束密度は 35 mT 。

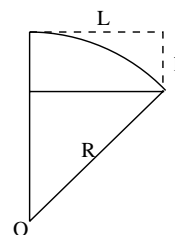


図16.79

16.80 陽子が静止状態から、電位差 1.5 kV の電界の中で疾駆し、一様な磁界中に突入し、その中で半径 56 cm の円を描く。陽子の運動は真空中で行われるものとして、磁界強度を求めよ。

16.81 電子が真空中で電界の中を疾駆し、進行方向に垂直な磁界中に飛び込む。電子が 5.96×10^{-10} 秒間で半径 $7.58 \times 10^{-3} \text{ m}$ の円形軌跡を描くとき、電界の加速電位差と、磁界の磁界強度を求めよ。

16.82 電界強度 100 V/m の一様な電界が磁束密度 20 mT の一様な磁界に垂直に配置している。電子が場のベクトル E と B に垂直に飛び込む。電子の初期速度がどのような場合に、これらの場の中で電子は直線的に動くか？陽子の場合ではどうか。

16.83 電子が真空中で一様な磁場の中を、その速度ベクトルが磁場の方向と角度 30° をなすように動く。軌道の螺旋半径と、磁束密度線に沿って電子が3回転したときの距離を求めよ。電子の速さは $2.5 \times 10^6 \text{ m/s}$ 、磁界強度は 75 A/M とする。

16.84 一様な磁界中に、その方向と 60° の角度をなして電子が飛び込み、回転周期 $60 \mu\text{s}$ で、半径 5.0 cm の螺旋に沿って動く。電子の速さ、磁束密度、螺旋のピッチを求めよ。

16.85 運動エネルギー $6.2 \times 10^{-16} \text{ J}$ を持った質量数20と22の1価のネオンイオンが一様な磁界中にその場の方向と垂直に飛び込む。半円を描いた後、2つのビームに分かれて飛び出す（図参照）。磁束密度 240 mT の磁界は真空中にある。場からイオンが飛び出す際における2つのビーム間隔を求めよ。

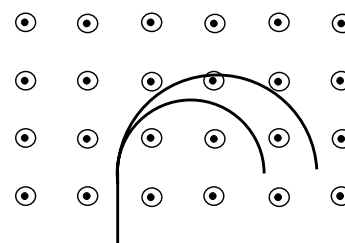


図16.85

16.86 質量数28のシリコン同位体の1価のイオンビームが一様磁界に、場の方向に垂直に飛び込み、半径 0.21 m の円に沿って運動する。磁束密度 180 mT は真空中にある。この場で動きながら、イオンはどれだけの運動エネルギーを獲得するか。

16.87 カリウムの1価の2種の同位体が真空中で、 1.25 kV の電圧で疾駆し、磁束密度 250 mT の一様磁界中に、場の方向に垂直に飛び込む。イオンは2つに分かれた後、イオンは半径 12.76 cm 、 13.08 cm の2つの円弧に沿って運動する。これらのデータから、同位体の質量数を求めよ。

第17節 電磁誘導

例題67 長さ 0.5 m 、質量 10.2 g 、抵抗値 2.75 の導線 ab が、電圧 3.0 V 、内部抵抗 0.25 の電源に接続しているガイド導線の上を一様に動く。運動は磁束密度 0.25 T の一様磁場内で行われる（図参照）。導線の運動速度、移動中に消費される力学的仕事率、そこで放出される熱仕事率を求めよ。

例題 6 8 長さ 0.2 m、半径 4.0 cm の紙製円筒に 200 回巻いてできているコイルで、 $i = 2 + 0.5 t$ の式に従って電流を変化させる。最初の 4 秒間におけるコイルの磁界エネルギーの変化量、自己誘導起電圧の瞬間値及び平均値、この時間において流れる荷電量を求めよ。コイルの抵抗は無視する。

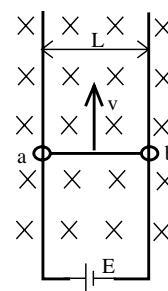


図 例題 6 7

誘導起電圧。誘導電流。レンツの法則。

1 7 . 1 検流計に定電流源を接続すると、検流計の針は左に傾いた (図 a 参照)。コイルに速さ v で永久磁石の北極を押し込むと、針はどのような方向に傾くか (b)。コイルの内部に磁石を停止させている場合はどうか。コイルから速さ v で磁石の南極を抜き出すときはどうか (c)。

1 7 . 2 検流計に電流を流す (図 a 参照) と、針は左に傾く。回路 (b) のスイッチを閉じると針はどの方向に傾くか。可変抵抗器の接触子が左に動くときどうか。

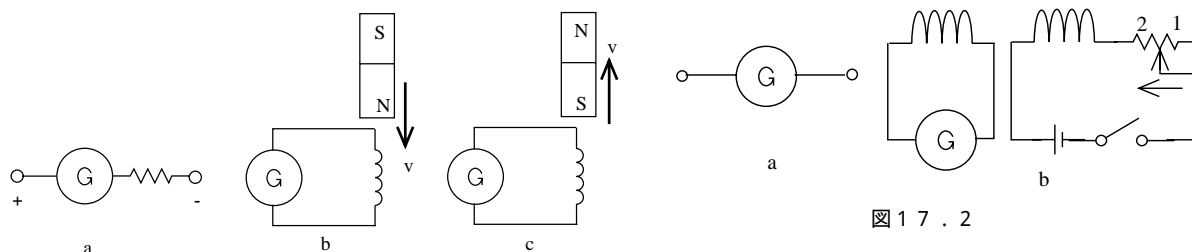


図 1 7 . 2

1 7 . 3 閉回路 1, 2 がお互いに平行に配置されている (図参照)。回路 1 の抵抗器の接触子の移動による検流計の針の傾斜方向を求めよ。検流計の針は電流の向きとは反対方向に傾くとする。接触子を停止すると、針の傾斜は保持されるか。

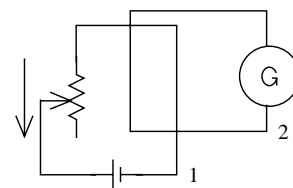


図 1 7 . 3

1 7 . 4 コイルの中に磁石を挿入するとき、コイルが結線している場合と、コイルが開放している場合で同じ仕事をしなければならないか。

1 7 . 5 2 つの同型の磁石を同時に、同じ高さから、これもまた同じ高さにある 2 つの導体リング中を落下させる。前者は閉じたリングで、後者は閉じていないリングである。どちらの磁石の方が早く落下するか。何故か。

1 7 . 6 閉じたリングが、一様磁界中を、その磁束密度線に沿って前進する。あるいはそれに垂直に動く。リングに誘導電流は発生するか。

1 7 . 7 導体閉回路が一様な、あるいは不均一な磁界中を動く。これらの場合回路に誘導電圧は発生するか。

1 7 . 8 閉回路中の磁束密度流の変化は常に誘導電圧を発生するか。誘導電流もか。

1 7 . 9 磁束密度線に垂直に配置されている導体閉回路中の磁束密度の変化において、いつの回路に誘導電圧が発生するか。

1 7 . 1 0 辺長 15 cm、6 cm の導体製長方形枠が一様な磁界中に、磁束密度線に垂直に配置されている。0.025 秒間に、磁束密度が 0.012 T から 0.037 T まで一様に増加したとして、

棒に発生する誘導電圧を求めよ。

17.11 75 回巻きのコイルの中で、磁束流が速さ 0.12 Wb/s で一様に増加する。コイルに発生する誘導電圧を求めよ。

17.12 125 回巻きのコイル内の磁束流が $2.4 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ である。コイルの発生する平均起電圧が 2.5 V のとき、磁束流が $1.6 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ まで減少するのにどれだけの時間がかかるか。

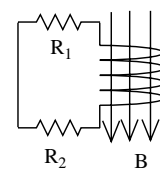


図 17.13

17.13 100 回巻きのコイルに、抵抗 $R_1 = 3.0$ 、 $R_2 = 2.0$ が接続されて閉回路となっている。磁束流は図のような方向を向いて、一定の速さ 0.20 Wb/s で増加している。回路の電流の方向、抵抗 R_1 での電圧降下、抵抗 R_2 で消費される熱量を求めよ。コイルの抵抗は無視する。

17.14 面積 180 cm^2 の導線製棒が棒及びその回転軸に垂直な一様な磁場 $2.5 \times 10^{-2} \text{ T}$ 内にある。120 m 秒間に $1/4$ 回転したとき、棒に 270 mV の平均誘導電圧が発生するとしたならば、棒の巻き数は幾らか。

17.15 辺長が 10 cm 、 20 cm の棒に 20 回コイルが巻いてあり、一様な磁界の端にある。磁界の幅は 50 cm 、磁束密度は 12.5 mT (図参照)。磁束線に垂直に等速度で棒を動かし、60 m s で磁界を横切らせる。棒に移動によりなされる仕事を求めよ。抵抗は 1.6 とする。

17.16 辺長 $l = 0.2 \text{ m}$ 、抵抗 $R = 1.0$ の正方形の導体棒が幅 $b > l$ の一様磁界を横切る。その速さは $v = 4.0 \text{ m/s}$ 、磁束密度 $B = 0.4 \text{ T}$ の線となす角度 30° (ベクトル v は棒の面内にある)。棒で消費される熱量 Q を求めよ。

17.17 導体閉回路 (C D A C) に、磁束流の一定の増加 0.48 Wb に伴い、 1.6 C の荷電が発生する (図参照)。回路の抵抗とその中を流れる誘導電流の向きを求めよ。磁束流を取り去るとどの向きに誘導電流が流れるか。

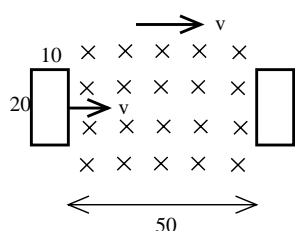


図 17.15

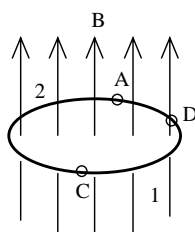


図 17.17

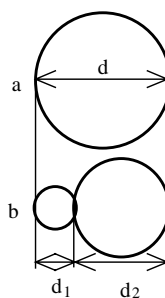


図 17.18

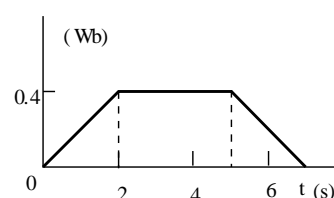


図 17.20

17.18 直径 $d = 10 \text{ cm}$ の導体リングが一様磁界の中で磁束密度線に垂直におかれている (図参照)。時間 $t = 0.1 \text{ s}$ の間に、その形状を図 b のように変形すると、経路にどのような平均誘導起電圧が発生するか。左のリングの直径 $d_1 = d/4$ 。リングの抵抗 $R = 0.2$ としたとき、回路の変形の間回路にどのような荷電が発生するか。

17.19 直径 $d = 0.4 \text{ m}$ の導体棒が一様な磁界の中で磁束密度線に垂直に配位している (問題 17.17 の図参照)。磁束密度は一定の速さ $B/t = 0.02 \text{ Wb/s}$ で増加する。C 点から 1 を経由して D 点に荷電量 $Q = 3.0 \text{ C}$ が移動するときの仕事を求めよ。2 を経由するとき (C A D) はどうか。C D = d。

17.20 (t) の依存性のグラフ (図参照) に従って、10 回巻きの棒における時間に対する

誘導起電圧の依存性をグラフ化せよ。

17.21 導電閉回路中の磁束流が $= 0.05t$ に従って変化する。閉回路中の誘導起電圧の時間依存性はどうなるか。回路の抵抗を 1.25 とすると、 20 秒間で回路のどれだけの荷電量が発生するか。回路にどれだけの熱量が発生するか。

17.22 辺長が 20 cm 、 10 cm の長方形の枠にコイルが 100 回巻いてあり、 $B = (3 + 2t^2) \cdot 10^{-2}$ で変化する一様磁界中に磁界の方向に垂直に配置されている。総磁束数と誘導起電圧 ($\Phi(t)$ と $e_n(t)$) の時間依存性を求めよ。 $1/10$ 秒間で総磁束数と誘導起電圧はわずかな値になるものとする。

17.23 面積 200 cm^2 の導体閉回路が一様な磁場の中に回路の法線が磁束密度と角度 $= 60^\circ$ をなしている (図参照)。場の磁束密度は $B = 0.02 \cdot \cos(4t + \pi/6)$ で変化する。磁束流と誘導起電圧の時間依存性を求めよ。 $1/4$ 秒間で誘導起電圧はごくわずかの値となるとする。

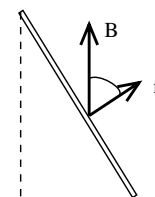


図 17.23

17.24 容量 $10\text{ }\mu\text{F}$ のコンデンサが接続している面積 400 cm^2 の導体閉回路が一様磁場中に、磁束密度線と垂直に配置されている (図参照)。磁束密度は $B = (2 + 5t) \cdot 0.02$ で増加する。コンデンサの最大充電量、コンデンサの電界の最大エネルギーを求めよ。コンデンサのどの極板がプラスに帯電するか。

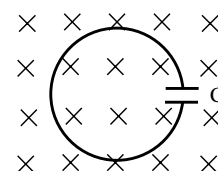


図 17.24

17.25 飛行機が 960 km/h で水平に飛ぶ。翼の長さが 30 m 、地球磁場の垂直成分が 40 A/m として、翼の両端における電位差を求めよ。

17.26 長さ 1.8 m の導線が一様な磁界中を速さ 12 m/s で動く。速度と磁束密度のベクトルは 30° をなしている。磁束密度が 40 mT 、速度ベクトルが導線に垂直であるとして、導線の両端における電位差を求めよ。

17.27 辺長 1.2 m の正方形の導体が磁界中を、磁束密度線に 60° の角度をなして動くと 2.5 V の誘導起電圧が発生したとすると、移動速度は幾らか。場の磁束密度は 0.25 T 、速度ベクトルは導体に垂直である。

17.28 辺長 86 cm の正方形導体が速さ 14 m/s で磁束密度 0.025 T の磁界中を動く。導体に 0.12 V の誘導電圧が発生したとすれば、磁束密度ベクトルと速度ベクトルの間の角度は幾らか。

17.29 辺長 20 cm の正方形導体が磁界強度 $79.6 \times 10^3\text{ A/m}$ の一様磁界中を、導体と速度ベクトルが磁界線と垂直な面内にあるように動く。速度ベクトルは導体と 30° の角度をなしている。導体に発生する起電圧を求めよ。

17.30 導体 ABC が垂直面内に配置され (図参照) 磁束密度 B の水平な一様磁界中を動く。速度 v は磁束密度に垂直で、導体の部分 11 、 12 は速度ベクトルと各々 θ_1 、 θ_2 の角度をなしている。A 点と C 点における電位差を求めよ。磁界の外におかれた導線で点 A と C を結線すると回路にはどの向きの電流が流れるか。

17.31 磁束密度 0.2 T の水平な一様磁界中を、水平に配位した長さ $l = 50\text{ cm}$ の導線が速さ $v = 10\text{ m/s}$ で、速度ベクトルが磁束密度ベクトルを角度 $\theta_1 = 30^\circ$ 、導線とは角度 $\theta_2 = 60^\circ$ をなすように動く (図参照)。導体に生じる誘導電圧を求めよ。

17.32 導体棒が電流 I の流れている直線導体の周りで回転する。直線導体は回転の不動軸である（図参照）この棒に電流が流れるか。回転軸を棒の一边としたならば、棒に電流が流れるか。

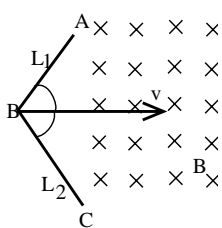


図 17.30

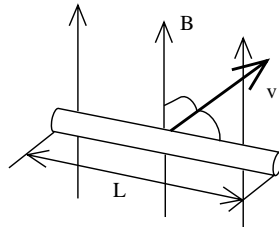


図 17.31

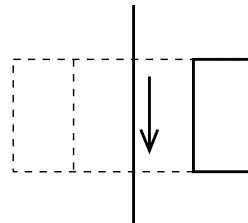


図 17.32

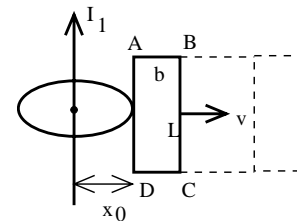


図 17.33

17.33 長方形導体閉回路 $A B C D$ が速さ v で、電流 I_1 の流れている長い直線導線の万内で一様に直線的に動く（図参照）。時刻 t での閉回路に誘導される電流 I_2 の大きさと向きを求めよ。最初辺 $A D$ は導線から x_0 だけ離れたところに位置しているものとする。閉回路の抵抗は R 。

17.34 導電棒が、磁束密度 2.5 mT の場の方向に垂直な面内で、棒の端を通る軸に対して一様に回転する。棒の回転周波数は $40 / \text{s}$ 。回転軸までの距離に対する棒の電位に依存性（1）をグラフ化せよ。

17.35 半径 $l = 10 \text{ cm}$ の金属円盤が磁束密度 0.5 T の一様磁界に垂直におかれ、中心を通る軸の周りに一定の角速度で回転する（図参照）。円盤の軸に取り付けられた滑り端子と、円盤の周囲に取り付けられた滑り端子の間に抵抗 $R = 2.5 \Omega$ が接続している。回路に電流 0.1 A が流れるとき、消費される仕事率と円盤の角速度を求めよ。摩擦は無視する。

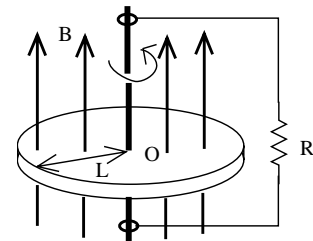


図 17.35

17.36 長さ 1.4 m の導体が磁束密度 74 mT の磁界中にある。磁束密度方向に垂直に、角速度 $75 / \text{s}$ で回転したとき、導線の両端における電位差を求めよ。回転軸は導線の中間を通過している場合、導線の端の場合、端から $1/4$ の場合について考察せよ。

17.37 垂直な磁束密度 0.4 T の一様磁場内で、お互いに 0.5 m 離れている 2 本の水平な導体棒に抵抗 $R = 1.5 \Omega$ が結線されている。抵抗 $r = 0.5 \Omega$ の導体が摩擦無くその上を速さ $v = 1.0 \text{ m/s}$ で動く（図参照）。回路の電流、可動導体棒が与えられた速さで等速に動くためにそれに加えられる力、回路で消費される熱量を求めよ。

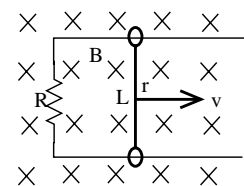


図 17.37

17.38 17.37 の問題で、可動導体棒の質量 100 g 、摩擦係数 0.1 の時の仕事率を求めよ。

17.39 磁束密度 0.25 T の一様磁界に垂直に置かれた間隔 $l = 0.4 \text{ m}$ 離れた 2 本の平行棒からなる回路に、ようりょう $C = 10 \mu\text{F}$ のコンデンサが接続している（図参照）。コンデンサの電気エネルギーが $8.0 \times 10^{-9} \text{ J}$ となるときの、導体棒は棒の上をどれだけの速さで動くのか、コンデンサの荷電量は何に等しくなるのか。

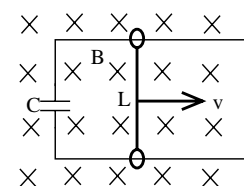


図 17.39

17.40 磁束密度 $B = 0.4 \text{ T}$ の一様な垂直磁界の中を長さ $l = 0.3 \text{ m}$ 、抵抗 $r = 1$ の導体棒が導体棒の上を速さ $v = 5 \text{ m/s}$ で動く（図参照）。棒には抵抗 $R_1 = 3$ 、 $R_2 = 6$ が接続している。導体棒及び R_1 、 R_2 を流れる電流を求めよ。導体棒の運動のためにはどれだけの仕事率が必要か。摩擦はわずかである。

17.41 2本の垂直な導体棒が上部で抵抗 2 で結線され、磁束密度 0.5 T の一様磁界に垂直な面内に配置されている。棒に沿って摩擦が無く質量 0.01 kg の導体が滑り落ちる。導体棒間の間隔は 0.2 m 。1秒間に消費される熱量、導体の速さを求めよ。

17.42 水平と角度 $= 30^\circ$ 傾いた2本の平行導体棒に沿って、摩擦なしで質量 $m = 0.1 \text{ kg}$ 、長さ $l = 1 \text{ m}$ の水平な連結帯が滑り落ちる（図参照）。導体棒の上部には抵抗 $R = 2$ が結線している。回路の残りの抵抗は無視する。全系は磁束密度 $B = 1 \text{ T}$ の一様な垂直磁界中にある。回路を流れる電流、連結帯の速さを求めよ。

17.43 起電圧 6 V 、内部抵抗 0.2 の電源が長さ 80 cm 、抵抗 3.8 の導体線に柔らかい導線で結線し、磁束密度 0.25 T の一様磁界中にある（図参照）。電源のプラス極で電圧が 4.18 V となるためには、磁束密度線に垂直に導体線をどれだけの速さで動かさなければならないか。導体線を停止したとき、回路に流れる電流はどの様に変化するか。柔らかい導線の抵抗は無視する。

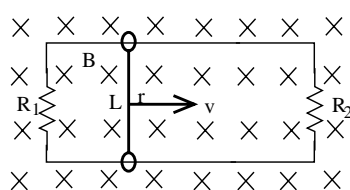


図 17.40

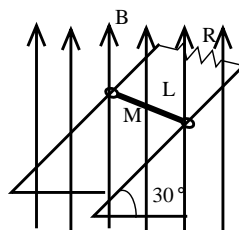


図 17.42

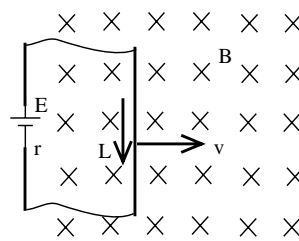


図 17.43

17.74 磁束密度 B の一様磁界中にあり、電圧 E の電源に接続し、間隔 l はなしで水平に配置されているガイド上で直線導体が動く（図参照）。導体の運動方向、最大の仕事率、その時の電流と速さを求めよ。摩擦は考慮しない。

17.45 抵抗 R の直線導体が電圧 E 、内部抵抗 r の電源に接続している滑らかで水平なガイド上を一様に動く。ガイドは間隔 l 離れて置かれており、磁束密度 B の一様磁場内にある（図参照）。磁界は垂直下方を向いている。電源に容量 C のコンデンサを接続し、電場のエネルギーは W 。導体の速さ、回路で消費される熱仕事率、力学的仕事を求めよ。

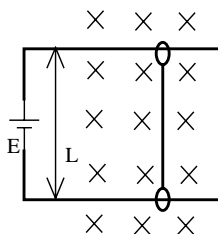


図 17.44

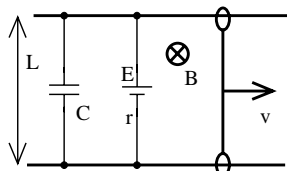


図 17.45

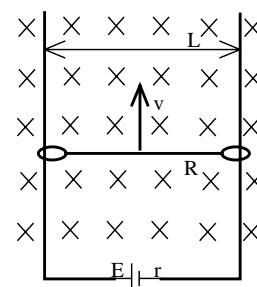


図 17.46

17.46 質量 m 、抵抗 R の水平に配位された導体が、2本の滑らかな垂直のガイドに沿って上昇する。ガイドには電圧 E 、内部抵抗 r の電源が接続し、磁束密度 B の水平な一様磁界中にある（図参

照)。ガイドの間隔は l 。一定の速さで導体が上昇するとき、時間 t あたり電源はどれだけのエネルギーを支出するか。エネルギー支出の導体の抵抗と電源の内部抵抗に対する依存性はどうか。

17.47 2本の滑らかな垂直の導体ガイドが間隔 l 離れて配置され、磁束密度 B の水平な一様磁界中にあり、電圧 E で、内部抵抗 r の電源が接続している。磁界の作用によりガイドに沿って導体が増速する(図17.46参照)。導体の質量は m 、抵抗は R 。導体の定速度、仕事率、回路で放出される熱量を求めよ。

17.48 空間で閉じた電気力線を持つ渦電場はどのような条件下で発生するか。この時、電気力線の閉じた経路に沿って荷電を動かしたとき仕事は0となるのであろうか。

17.49 荷電のない空間において、閉じた磁束密度線を持つ磁界は現れるのであろうか。どのような場合に現れるのであろうか。

17.50 直流の渦電場は磁場がどのように変化するとき発生するか。交流の渦電場はどうか。

17.51 コイル L_1 の磁束流を増加したとき、柔らかい導線で吊されている電流の流れている棒はどのような振る舞いをするか。(図参照)

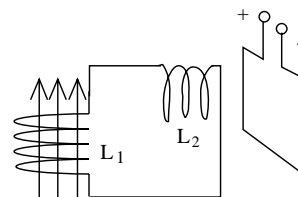


図17.51

17.52 コイルの中におかれた金属性物体はコイルに交流を流すと加熱される。が、直流では冷えたままである。何故か。

17.53 同じ絶縁された板からできている2種の銅ブロックが糸で吊され、スイッチの切られた電磁石の磁極間で、同じ角速度で回転している(図参照)。電磁石にスイッチを入れるとどちらのブロックが遅く回転するようになるか。

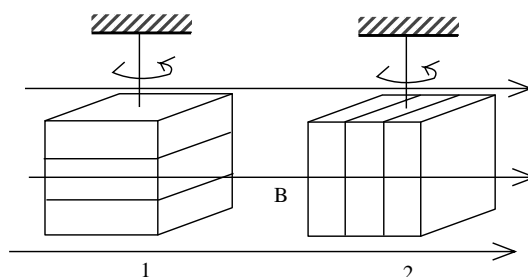


図17.53

17.54 問題17.53の図で、図に示された状態でのブロック2の内部の渦電流の向きを示せ。

17.55 糸で吊されたアルミニウム円盤が自由に回転できる。その下に置いた磁石の高速の回転により、円盤が回転し始める。何故か。どのような向きにか。磁石と同じ角速度で回転することができるか。

17.56 強力な電磁石の極間に糸で銅板が吊され、コイルに直流電流が流れている。電流の急激に増加させるとどうなるか。電流を急激に減少させるとどうなるか。

17.57 強力な電磁石は非磁性の導体材料でできている物体を引きつけるか、跳ね返すことができるか。そうならば、何がその原因となっているのか。

自己誘導。磁場のエネルギー。

17.58 どのような場合に自己誘導起電圧がより大きくなるか。直流電流回路を閉じたときかそれとの開放したときか。

17.59 直流電流回路を閉じたとき自己誘導起電圧が自身の電源電圧より小さいのは何故か。

17.60 インダクタンス 25 mH のコイルに生起する自己誘導電圧を求めよ。回路を閉じた後 75 ms の間に回路に電流 3.75 A が流れるものとする。自己誘導起電圧の符号はどのような物理的意味を持っているか。

17.61 インダクタンス 68 mH のコイルに生起する自己誘導電圧を求めよ。濃い利を流れる電流を 12 ms の間に 3.8 A からゼロまで減少させるものとする。得られた答えの符号はどのような意味を持っているか。

17.62 コイルを流れる電流を 62 ms の間に 2.8 A 減少させたとき、自己誘導起電圧の平均値が 14 V であるとき、コイルの自己インダクタンスを求めよ。

17.63 240 mH の自己インダクタンスを持つコイルにおいて、電流を 0 から 11.4 A まで増加させたとき、誘導起電圧が 30 V となる。電流をどれだけの時間の間で変化させたか。

17.64 インダクタンス 34 mH の回路において、自己誘導起電圧の瞬間値と平均値を求めよ。回路電流は $i = (2 + 3t) \times 0.1$ で変化するものとする。自己誘導起電圧の平均値はその瞬間値と常に一致するか。

17.65 回路の電流が $i = 1 - 0.2t$ で変化する、平均誘導起電圧は $4.0 \times 10^{-3}\text{ V}$ の時、回路のインダクタンスを求めよ。

17.66 電流が 2.3 A 流れているとき、インダクタンス 24 mH のコイル内の磁界のエネルギーを求めよ。電流が半分になると磁気エネルギーはどのように変化するか。

17.67 7.5 A の電流を流すとその内部の磁束が 2.8 mWb のとき、 120 回巻きのコイルの磁気エネルギーを求めよ。

17.68 インダクタンス 95 mH のコイルの磁界エネルギーが 0.19 J である。コイルの電流は幾らか。

17.69 抵抗 $8.2\text{ }\Omega$ 、インダクタンス 25 mH のコイルに 55 V の直流電圧がかかっている。コイルの回路を開放するとどれだけのエネルギーは送出されるか。エネルギーが 12 ms 間に放出されるものとする、コイルにどれだけの自己誘導起電圧が発生するか。

17.70 回路を閉じた後その電流が増加するとき、エネルギーのどのような変化が回路で発生するか。

17.71 半径 2 cm 、長さ 0.4 m の紙製円筒に 400 回巻かれたコイルで、電流が $i = 0.2t$ で変化する。 10 分の 1 秒後の磁界エネルギーと自己誘導起電圧を求めよ。

17.72 長さ l 、抵抗 R 、巻き数 N のコイルに電圧 U をかける。 t 時間に放出されるエネルギー、平均自己誘導起電圧を求めよ。

17.73 インダクタンスを持つコイルで、平均電流 I を流したとき、磁気エネルギーが t 時間で W 変化した。この時発生した平均自己誘導起電圧を求めよ。

17.74 コイルに電流 I を流すと、磁気エネルギーは W となる。コイルの抵抗は R 。電流を一様に n 分の 1 に減少するとコイルにどのような荷電が発生するか。この時どれだけ磁気エネルギーが変化するか。

17.75 お互いに間隔 l 離れている 2 本の平行ガイドが磁束密度 B の一様磁界中におかれ、インダクタンス L のコイルが接続されている（図参照）。ガイドに沿って、磁束密度線に垂直に抵抗 R の導線を速さ v で転がす。コイルの磁気エネルギー、回路に発生する熱仕事率、導線の移動に伴う力学的仕事を求めよ。ガイドとコイルの抵抗は考慮しない。

17.76 お互いに l だけ離れた垂直の 2 本のガイドが磁束密度 B の一様磁界中におかれ、インダクタンス L のコイルが接続されている（図参照）。ガイドに沿って、摩擦なしで質量 m の水平導体が滑る。導線の最大速度、その時の距離及びコイルの磁気エネルギーを求めよ。回路の抵抗は無視する。

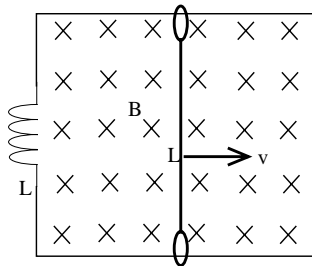


図 17.75

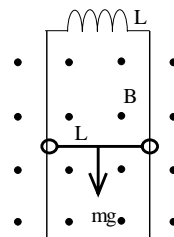


図 17.76

第3章 振動と波

第18節 力学的振動と波。音

例題69 長さ l の振り子が加速度 a で動いている室内にある。垂直線は加速度 a と角度 θ をなしている(図参照)。振り子の振動周期を求めよ。部屋の加速度が大きさを変えないで、真上ならば周期はどうか。真下ならばどうか。

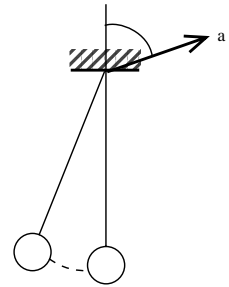


図 例題69

例題70 質量 m 、荷電量 Q の小球が長さ l の糸で吊され、電界強度 E の様な電界中で調和振動をしている。場の電界強度ベクトルが垂直方向では振動周期はどうか。水平方向ではどうか。

例題71 振り子時計を調べると赤道上で正確であった。この時計を極点に持っていくと一昼夜にどれだけ進むか。

例題72 弾性定数 0.4 N/m のバネに固定された質量 250 g の錘が振幅 4 cm で垂直に振動する。錘の振動周期を求めよ。錘に同じバネをもう一つ直列に接続すると周期はどれだけ変化するか。並列接続ではどうか。これら3つの場合において錘の全振動エネルギーは何に等しいか。

例題73 式 $x = 0.2 \sin(62.8t)$ で振動する発振器で作られる平面波が速さ $u = 10 \text{ m/s}$ で伝搬する。平面波の方程式を記述せよ。波長、一周期での媒質の粒子の移動、振動開始から5秒後に発振器から $l_1 = 10.25 \text{ cm}$ 、 $l_2 = 10.75 \text{ cm}$ の距離離れている変位点1と2における振動の位相差、発振器からの波と障害物で反射される何の干渉によって形成される定在波の波長。

振動

18.1 質点が2.5分間で120回振動する。振動の周期と振動数を求めよ。

18.2 質点が振動数19 kHzで振動する。周期と1分間当たりの振動数を求めよ。

18.3 ??? 2つのバネ振り子が同じ周期で垂直に振動する。その際、2つ目の振り子は2周期；周期の半分遅れて釣り合いの状態を通る。任意の時間において振り子の速さはお互いにどういう関係になっているか。振り子は相対的にお互いにどのように振動しているか。

18.4 図に示している振り子の振動で最も位相差の小さいのを見いだせ。各振り子の変位は振幅に等しい。図のaの場合において位相差は保存されるか。bの場合ではどうか。

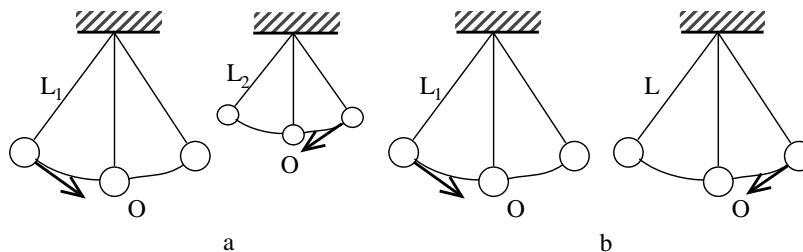


図18.4

18.5 以下の条件で調和振動方程式を書け。(1) $A = 10.0 \text{ cm}$ 、 $\phi_0 = \pi/4$ 、 $\omega = 2$ 、(2) $A = 5.0 \text{ cm}$ 、 $\phi_0 = \pi/2$ 、 $T = 2.0 \text{ s}$ 、(3) $A = 4.0 \text{ cm}$ 、 $\phi_0 = \pi$ 、 $v = 2.0 \text{ Hz}$ 。

18.6 次の条件での調和振動方程式を書け。 $A = 0.05 \text{ m}$ 、 $T = 0.01 \text{ s}$ 、 $\phi_0 = 0$ 。振動周期、角振動数、速度の大きさと加速度の大きさ、質量 $m = 0.1 \text{ kg}$ の物体としての調和振動全エネルギー。

18.7 質点の調和振動が式 $x = 2 \sin\left(\frac{t}{4} + \frac{1}{2}\right)$ で表せる。ここで変位は cm 、時間は秒である。振幅、初期位相、振動周期を求めよ。

18.8 質点が初期位相は 0、振幅が A の調和振動をしている。時間 $t_1 = T/12$ 、 $t_2 = T/4$ 、 $t_3 = T/2$ と $t_4 = 7T/12$ の時の振動している点の変位を求めよ。

18.9 問題 18.8 の条件で、時間 $t_1 = 2nT/2$ 、 $t_2 = (2n+1)T/2$ の時の変位を求めよ。ここで $n = 0, 1, 2, \dots$ 。

18.10 初期位相 0 の調和振動をしている質点が 0.05 秒間に振幅の最初の半分動く。神父器の次の半分の動くのにどれだけの時間がかかるか。振幅が 0.02 m の調和振動の式を記述せよ。

18.11 調和振動している質点が 1 回の周期の中で $+A/2$ から $-A/2$ までの間隔にいる時間はどれだけの時間か。

18.12 調和振動のグラフ（図参照）に従って質点の運動方程式を記述せよ。その最大速度を求めよ。

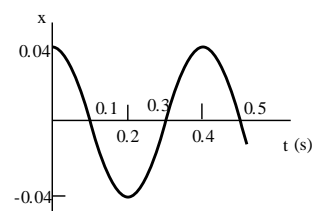


図 18.12

18.13 問題 18.12 の図に記述されている調和振動のパラメータを利用し、速度と加速度の時間依存の方程式を記述せよ。時間 0.35 s における速度と加速度の瞬値を求めよ。

18.14 質量 50 g の物体が式 $x = 0.02 \sin(20\pi t + \pi/2)$ で記述される調和振動を行う。最大変位、初期位相、振動数、最大復元力、最大運動エネルギーを求めよ。

18.15 振動数 10 Hz を行う質点が平衡位置で速度 6.28 m/s を有している。最大変位と最大加速度を求めよ。初期位相を 0 として調和振動の式を記述せよ。

18.16 調和振動における物体の速度は式 $v = 0.06 \sin(100\pi t)$ で決まる。時間に対する変位の依存式を記述せよ。最大速度、最大加速度、物体の質量を 200 g としての調和振動エネルギーを求めよ。

18.17 質量 100 g の質点の速度が式 $v = 0.2 \cos(2\pi t)$ で与えられる。最大加速度、振動開始から $5/12 \text{ s}$ 後の質点の変位とポテンシャルエネルギー、その時間に経過した距離を求めよ。

18.18 運動方程式 $x = 0.2 \sin(\pi t)$ に従って、振動開始から 1.5 s 後の質点の変位、ポテンシャルエネルギーと運動エネルギー、この瞬間における復元力、を求めよ。質量 200 g の質点としてこの時間の間にどれだけの経路を進んだか。

18.19 垂直方向に調和振動をしている水平な台の上に錘が乗っている。台がどれだけの最大加速度の時、錘は台の表面から離れないか。台の周期が 0.5 s の時、振動振幅は幾らか。

18.20 水平板が周期 2 秒で水平方向に調和振動をする。この板の上に置いてある物体は振幅がいくらの時に滑り始めるか。静止摩擦係数は 0.2。

18.21 質量 m 、基底の面積 S の円柱が密度 ρ の液体に自由に浮かんでいる。この円柱を少し深く沈め、そして離れたとき、その後の調和振動の周期を求めよ。媒質の抵抗は考慮しない。

18.22 高さ H 、基底の面積 S の円柱が液体に浮かんでいる。円柱の材料と液体の密度は各々 ρ_1 と ρ_2 。円柱を少し液体に沈めてから離す。発生する円柱の振動の周期を求めよ。媒質の抵抗は考慮しない。

18.23 2つの垂直方向で連結している容器内に質量 m の液体が入っている。液体は平衡状態からずれて、振動運動を行う。液体の密度は ρ 、各容器の断面積は S 。振動周期を求めよ。

18.24 問題18.23の条件で、容器の断面積が S_1 、 S_2 のとき、液体の振動周期を求めよ。

18.25 バネに吊されている質量25 gの錘が1分間に120回の垂直振動をするならば、バネ定数は幾らか。

18.26 バネにぶら下がり止まっている錘がバネを1 cmだけ伸ばしている。錘の垂直振動周期を求めよ。この振動周期は自由加速度とどのような依存性があるか。

18.27 バネに吊された質量25 gの錘が振幅6 cmの垂直振動をする。錘の変位の時間依存性を調和振動エネルギーを求めよ。バネを1 cm伸ばすのに0.1 N必要である。振動の初期位相は0。

18.28 問題18.27の条件の下で、振動している錘の運動エネルギーがバネのポテンシャルエネルギーと等しくなるのは、平衡位置からどれだけ変位してかつどれだけの時間後か。この時間は周期のどれだけの部分か。

18.29 滑らかで不動の水平な板の上に乗っている質量 m の錘に弾性定数 k のバネを取り付ける。バネの他端は動かないように固定されている。力 $F = mg$ で表面に沿って錘を引っ張り、そして離す。錘の振動方程式を記述せよ。初期位相は0の調和振動と見なす。この振動のエネルギーを求めよ。全系を月に持っていったならば、振動周期はどのように変化するか。加速度 a で上昇するロケット内ではどうか。

18.30 質量 m の錘が弾性定数 k_1 、 k_2 のバネの作用のもとで弾性振動を行う。バネの接続は図aに示している。振動周期を求めよ。バネを図bのように接続すると周期は変化するか。

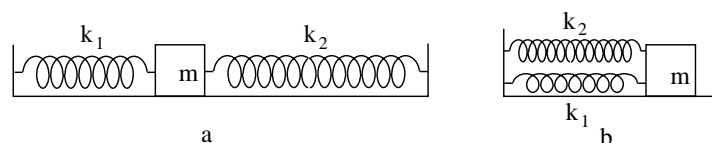


図18.30

18.31 バネに吊された錘が周期 T の振動を行う。バネの固定点をバネの中間とすると錘の振動周期はどのように変化するか。

18.32 質量 m の錘を弾性定数 k_1 、 k_2 の2つの重さの無いバネにつるす。バネを直列に接続したときの錘の調和振動の周期を求めよ。並列に接続したときはどうか。バネの並列接続では、錘は重さの無い棒でそれらの間の中間に取り付ける。

18.33 弾性定数 k の重さの無いバネに吊された質量 m の錘が振幅 A で垂直方向に調和振動をする。錘の経路上 $l < A$ の位置に水平な障害物を置くと振動周期はどうか。衝突は完全弾性とする。

相互作用の時間は無視する。

18.34 モスクワにおける長さ 0.995 m の振り子の調和振動周期を求めよ。周期を2倍とするためには振り子の長さを何倍で、かついくらしなければならないか。モスクワでの重力加速度は 9.8156 m/s^2 。

18.35 長さ 1.1 m の振り子は1分45.2秒間に50回の振動をする。振り子のある場所の重力加速度を求めよ。

18.36 重力加速度が 9.81 m/s^2 のとき、1分40秒間に50回の振動をする振り子の長さを求めよ。その振動周期を2倍とするためには振り子の長さを何倍としなければならないか。

18.37 同じ時間に、1つの振り子は10回の振動、2つ目の振り子は20回の振動を行う。2つの振り子の長さにはどのような関係があるか。

18.38 同じ時間で、1つの振り子は5回の振動、2つ目の振り子は3回の振動を行う。長さの差が 48 cm として、各々の振り子の長さを求めよ。

18.39 長さ 0.996 m と 0.249 m の2つの振り子が同時に同じ位相で振動し始める。最小どれだけの時間でそれらの位相が再び一致するか。これはどのように繰り返されるか。 $g = 9.81\text{ m/s}^2$ 。

18.40 2つの小球が同じ長さで伸びない糸で吊されている。1つの小球を支点まで垂直に持ち上げ、もう一つの方は引っ張り糸で垂直線から少しの角度傾ける。その振動は調和振動と見なす。2つの球を同時に離す。どちらの方が早く平衡位置に達するか。

18.41 ???糸に吊された球を支点まで持ち上げ、自由落下させると、時間 t 後に平衡点に戻る。調和振動させるとどれだけの時間ずれるか。

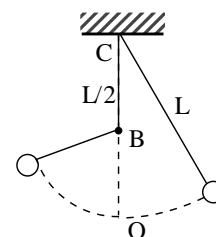


図18.42

18.42 図に示している振り子は一周期をどれだけの時間で完遂するか。糸の曲がり点Bは支点Cと同じ垂直線上にあり、それから $1/2$ の距離にある。糸がB点を通過後、振り子のエネルギーと持ち上がる高さは変化するか。

18.43 垂直線と角度 θ をなして傾斜している弾性壁に長さ l の振り子が吊されている（図参照）振り子を垂直線から θ の角度傾けてから離す。振り子と壁との衝突は完全弾性で見なし、振り子の振動周期を求めよ。 $\theta = 0.866$ の時、振動周期はどうなるか。

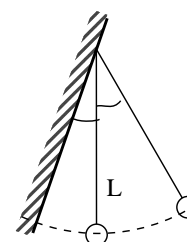


図18.43

18.44 地上でバネと糸の2つの振り子が同じ周期で調和振動をする。それらを月に持っていったら振り子の周期は維持されるか。月の重力加速度は地球の6分の1。

18.45 惑星の半径と密度が地球の半分とする。惑星での振り子の調和振動の周期は地球での周期とどのように異なるか。

18.46 振り子時計を極点から赤道に持っていったとすると、一昼夜でどれだけ遅れるか。時計は極点で正確に時を刻んでいるものと見なす。極点での重力加速度は 9.83 m/s^2 , 赤道では 9.78 m/s^2 。

18.47 海水面で正常に動いている振り子時計がある。この時計を高度 4 km まで持ち上げると一昼夜にどれだけ遅れるか。地球の半径は 6400 km 。

18.48 温度が 20 K 上昇すると、真鍮製の振り子時計は一昼夜にどれだけ遅れるか。真鍮の熱膨張係数は $2 \times 10^{-5} / \text{K}$ 。

18.49 振り子の支点が垂直面内で垂直線と角度 θ をなして一定の加速度 a で動く。長さ l の振り子の調和振動周期を求めよ。自由加速度は g とする。

18.50 長さ l の振り子の支点が垂直線に沿って加速度 $a < g$ で動く。上方向への支点の運動における振り子の調和振動周期を求めよ。下方向ではどうか。

18.51 垂直に上昇するロケット内の振り子の周期が地上での半分である。自由加速度を一定の g と見なし、ロケットの加速度を求めよ。

18.52 エンジンを停止した後の、宇宙船内にある振り子の振動周期を求めよ。エンジンの停止の瞬間には振り子是最端の位置にあったとする。振り子は動いていた。

18.53 振り子の支点が加速度 a で水平に一直線上に動く。支点が動いていないときの振動周期を T とすると、この時の周期 T' はそれとどれだけ異なるか。

18.54 半径 R の円周に沿って一定の速度で運動している乗り物の車内にある振り子が、同じ速さで直線運動しているときの車内にあるときより、 n 倍小さい周期で振動する。乗り物の速さを求めよ。自由加速度は g 。

18.55 宇宙船が天体のから離れて動く。宇宙船の室内に吊されている長さ l の振り子の周期 T から、エンジンにより宇宙船に与えられている宇宙船の加速度を求めよ。

18.56 長い糸に吊されている鉄球が調和振動をしている。その近くに磁石を持ってくる。糸の張力、復元力、振動周期はどの様に変化するか。

18.57 質量 m の帯電した球の振り子が長さ l の糸で吊され、電圧 U で帯電している平板空気コンデンサの電界中におかれている。コンデンサの電極間隔は d 。コンデンサが水平に配位されているとして、振り子の振動周期を求めよ。垂直ではどうか。球の荷電量は $+Q$ 。

18.58 振り子が垂直線から少しの角度 θ 傾いて振動数 ν の調和振動をしている。振り子の振幅とその最大速度を求めよ。自由加速度は g 。

18.59 糸に吊されている重い球が調和振動をしている。微小角度 θ の糸の最大傾斜時には、球は平衡状態の水準より高さ h 上昇する。糸の長さ l と振動周期を求めよ。初期位相を 0 として、振り子の振動方程式を記述せよ。自由加速度は g 。

18.60 質量 m の振り子がエネルギー E を持ちながら、振幅 A の調和振動をする。振動周期と糸の長さを求めよ。振幅が 2 倍に、振動数が半分になると、振動のエネルギーは変化するか。

18.61 糸の長さが 1.2 m の物理振り子の調和振動の周期を求めよ。

18.62 周波数 0.66 Hz の調和振動をしている物理振り子の糸の長さを求めよ。

18.63 支点Oから間隔 l_1, l_2 の重さの無い棒に2つの小球が固定されている(図参照)。a, bの場合について、軸の微小振動周期を求めよ。球の質量は m_1, m_2 。

18.64 質点が同時に2つの振動を行う。質点の合成変位はどの規則で決まるか。スカラー合成か、ベクトル合成か。

18.65 時間に対する変位の依存性のグラフに従って、調和振動方程式を記述せよ。合成振動方程式を記述せよ。そのグラフを描け。

18.66 時間に対する変位の依存グラフ(図参照)に従って、問題18.65の質問に答えよ、合成振動の位相差を求めよ。

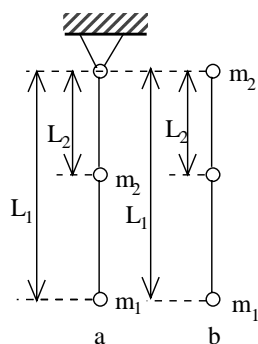


図18.63

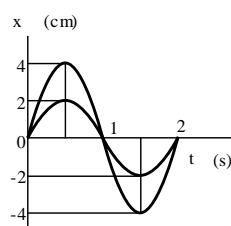


図18.65

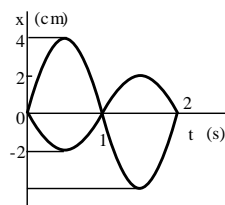


図18.66

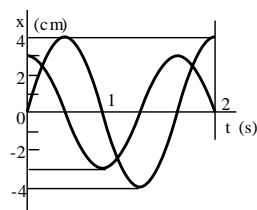


図18.67

18.67 時間に対する変位の依存性グラフ(図参照)に従って、問題18.65, 18.66の質問の答えよ。

18.68 図に示されているグラフに従って、初期位相が0の調和振動方程式を記述せよ。

18.69 周期 T 、振幅 A_1, A_2 の2つの調和振動が重なっている。合成振動の様子を求めよ。同位相で振動するときの方程式を記述せよ。半位相で及び位相差 $\pi/2$ の時の方程式を記述せよ。

18.70 自励振動と強制振動はどこが違うか。

18.71 図に示している振り子のどれが共振するか。共振が急激にやってくるとき、個々の振動の減衰は強いのかそれとも弱いのか。

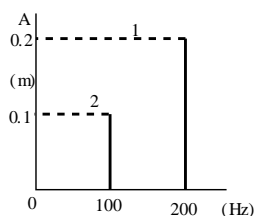


図18.68

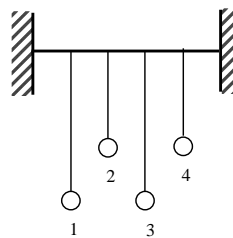


図18.71

18.72 共振のと寄進同型のエネルギーは何故大きくなるか。

18.73 好ましくない共振を押さえるためには何をすることが必要か。

18.74 客車の垂直振動の振幅が最大になる汽車の進行速度を求めよ。客車の固有振動周期は T_0 、レールの長さは l とする。

18.75 突起の間隔が l である波状の道路をトラックが走る。トラックの垂直振動の大きさは、いくらの速さで最大となるか。トラックの質量は m 、トラックのバネの弾性定数は k 。

波

18.76 媒質を伝搬する振動周期 2 ms の振動で誘起される波長を求めよ。伝搬速度は 1450 m/s 。

18.77 周波数 100 Hz の震源から放射される波長を求めよ。波は3秒間に震源から 1020 m の距離進む。

18.78 その中で粒子が 100 Hz の周波数で振動している進行波が速度 200 m/s で伝搬する。一本の流線上においてお互いに 1.5 m の距離離れている2点間の振動の位相差を求めよ。流線上で、同じ位相で振動する点は最小どれだけの距離離れているか。

18.79 ??? 媒質を速度 400 m/s で伝搬する進行波がある。発信装置から 11 m 、 12.5 m 、位相差が 0.75 だけ離れている点の振動周期を求めよ。

18.80 湖岸に立っている不動の観測者の脇を6秒間に4つの波頭が通過した。1番目と3番目の波頭の間隔は 12 m 。波の振動周期、波の伝搬速度とその長さを求めよ。

18.81 波の伝搬同行に向かって動く船の船体を、波は振動数 $\nu_1 = 1\text{ Hz}$ で打ち、波の伝搬方向に逆の時は振動数 $\nu_2 = 3\text{ Hz}$ で打つ。岸に相対的に船はどれだけの速度で運動するか。波の粒子は振動数 $\nu_0 = 1\text{ Hz}$ で振動しており、波頭間隔は 5 m である。

18.82 震源の振動は式 $x = 0.1 \sin(0.5t)$ で決まる。振動伝搬速度 200 m/s の平面波方程式と震源から 400 m 離れた点における振動方程式を記述せよ。

18.83 波長 λ 、振幅 A の平面波が媒質中を速度 u で伝搬する。震源の振動開始から時刻 t 後で、震源から距離 l 離れている媒質の粒子の変位と振動速度を求めよ。1周期での粒子の移動は何に等しいか。

18.84 媒質中を速度 u で伝搬している平面波で、粒子は振動数 ν 、最大速度 v_{\max} で振動している。振動の振幅と波長を求めよ。平面波の方程式を記述せよ。

18.85 平面波の振幅と速度は各々 A と v_{\max} である。媒質中での振動の伝搬速度に u を適用し、変位と速度の波の式を打ち立てよ。振動開始から $t = (3/4)T$ 後、震源から $l = \lambda/4$ の距離にある点での変位と速度の瞬時値を求めよ。

18.86 同じ位相と振動数 100 Hz で振動する2つの震源が干渉波を放射する。振動の最大の増加は、震源から発した波が費やすどの様な時間差で観察されるか。弱め合いはどうか。

18.87 2つの点震源から発する干渉波は同じ位相と周期 5 ms で振動し、速度 200 m/s で伝搬する。振動の最大増加はどれだけの波の経路差 Δl で観察されるか。弱め合いはどうか。

18.88 反対位相を持って伝搬してくる波が干渉すると、振動エネルギーは小さくなる。これはエネルギー保存と転換法則に矛盾しないか。

18.89 定在波の長さや震源の振動数を求めよ。1番目と3番目の節の間隔は77.8 cm、振動の伝搬速度は343 m/s。

18.90 隣り合う節間で振動している定在波の各点における位相差は何に等しいか。節の両側(節から $\lambda/2$ 以上離れていない)で定在波中の点はどのような位相で振動するか。定在波は位相とエネルギーを運ぶか。

18.91 同じ振幅で振動する隣り合っている点間の距離が5 cm、15 cmのとき、定在波の波長を求めよ。

18.92 進行波 $x_1 = A \sin(\omega t - y/u)$ 、 $x_2 = A \sin(\omega t + y/u)$ の干渉の結果、定在波が形成される。ここで、 x_1 と x_2 は点の変位、 y はそれらの座標、 u は波の伝搬速度。定在波の波長と振動数を求めよ。定在波の式を記述せよ。定在波の座標に対する依存を求めよ。定在波の腹と節の座標を求めよ。

音

18.93 人間は振動数16 Hzから20 kHzまでの音に知覚する。人間が知覚する波長間隔を求めよ。空気中の音速に340 m/sを採用する。

18.94 音の強度は点音源までの距離にどのような依存があるか。音の大きさは振幅にどのような依存があるか。

18.95 異なった振動数の音波に対する人間の耳の感度は同じか。

18.96 振動数16 Hzから20 kHzの音を人間はいつも知覚するのか。

18.97 すばらしい聴覚者は音源を指しめすことができるか。

18.98 巣箱から飛びだしていく蜂と、蜜を持って戻ってくる蜂は羽音にどのような違いがあるか。

18.99 大砲から4 km離れている観測者が発射の12秒後発射音を聞いた。音速を求めよ。

18.100 空気中の音速の温度依存は式 $u = 332 \text{ s q r } (1 + t/273)$ で計算することができる。ここで、 $t = 1/273$ 、 t は摂氏温度。空気の温度0、15、20における振動数100 Hzの音源から発射される音波の波長を求めよ。

18.101 空気中での波長が0.797 mの音波の水中での波長を求めよ。音速は空気中では343 m/s、水中では1483 m/s。空気から水への音波の伝搬において、その振動数はどのように変化するか。

18.102 1台目の船から2台目の船へ同時に空気中と水中で2種類の音波を送信する。信号の1つは2秒で達した。2隻の船の間隔を求めよ。空気中での音速は340 m/s、水中では1480 m/s。

18.103 2隻の静止している船の一方から超音波を水中に発信する。その信号を他船の受信機は時刻 t_1 と、 t_2 ($t_2 > t_1$) に受信した。時間は送信船から信号を発してから時間である。水中での音速を u 、海底は平らであるとして、海の深さを求めよ。

18.104 観測者と音源を結ぶ直線に沿って速さ v で吹いている風の中での音速 u はどうなるか。観測者は空気に対して動いていないとする。観測者が大地に対して動いていないときはどうなるか。

18.105 人間の耳の感覚は 0.1 秒継続する。基本音と障壁からのその反射音を区分して聞くためには人は障壁からどれだけ離れたところにいなければならないか。空気の温度は 16 °C、音速は 340 m/s。

18.106 観測者から障壁に向かって風が速度 v で吹いている。空気中の音速は u ($u > v$)。自分の声のエコーを聞くためには観測者は障壁からどれだけ最小距離離れていなければならないか。

18.107 波長 λ の音波の振幅と容器の出口での音の強度は空気中の長さ l がどれだけの時、最大になるか (図参照)。

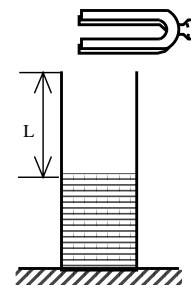


図 18.107

18.108 振動数 440 Hz の音叉の振動で共鳴する容器の空気中の最小の長さを求めよ。空気中の音速は 344 m/s。

18.109 振動数 10 MHz で作動する超音波欠陥顕微鏡による検査で、アルミニウム部品に 1.2×10^{-5} s、と 4.0×10^{-5} s で反射信号が得られた。欠陥はどれだけの深さにあるか。部品の厚さはいくらか。欠陥顕微鏡はどれだけの波長で作動しているか。アルミニウム中での音速は 5.1 km/s。

18.110 どのような波が超低周波であり、人間に一番危険なのはそれらの内のどの波か。自然界には超低周波源としてどのようなものがあるか。

18.111 媒質中の音速は信源の移動速度とどのような関係があるか。

18.112 速度 17 m/s で動いている音源が 2 秒間継続する信号を出す。音源が観測者に近づいているとき、動いていない観測者はどれだけの間隔の音を感じるか。離れていく場合はどうか。音源と共に動く観測者は倒れだけの時間信号を聞くか。空気中の音速として 340 m/s をとる。

18.113 振動数 600 Hz の音を放射している音源が立ち止まっている観測者の脇を速度 40 m/s で通過する。音源が近づいてくるときと、遠ざかっていくときで、観測者によって知覚される音の周波数はどれだけ異なるか。空気の温度は 17 °C。

18.114 2 台の電車が、速度 72 km/h、54 km/h で近づいている。1 台の電車が振動数 0.6 kHz の信号を出す。2 台の電車が出会う前と出会った後で、2 台目の乗客が感知する音の周波数を求めよ。音速は 340 m/s。

第 19 節 交流

例題 7.4 一様な磁場内で等速で回転している導線 100 回巻きの枠内で、磁束流が式 $\Phi = 0.002 \cos(314t)$ に従って変化している。枠に発生する起電圧の時間依存性、その値の最大値及び有効値、5 ms の時間における瞬間値を求めよ。枠の回転角速度を 2 倍とすると起電圧は時間に対してどのように変化するか。

例題 7.5 標準交流を作り出す水力発電機の回転子には磁気極は何組あるか。回転子の回転周波数は 120 /min。

例題 7.6 交流回路 (図参照) で、 $U_{AB} = 220$ V でスイッチを入れる。素子の抵抗は $R_1 = 4 \Omega$ 、

$X_{L1} = 7$ 、 $X_{C1} = 3$ 、 $R_2 = 3$ 、 $X_{L2} = 6$ 、
 $X_{C2} = 2$ 、 $R_3 = 1$ 、 $X_{C3} = 2$ 。枝分かれしていないところ、平行の支線部分の電流、回路の電流と電圧の間の位相のずれを求めよ。

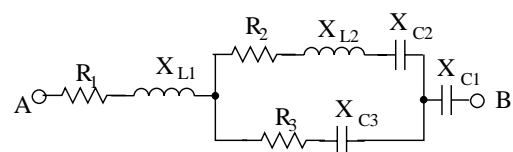


図 例題 7 6

時間に対する誘導起電圧の依存性。

起電圧の最大値と実効値と電流

19.1 どのような電流を交流と呼んでいるのか。

19.2 磁界の中でコイル枠を一樣に回転すると、その中にサイン起電圧はいつでも発生するか。一樣な磁界での中での枠の回転ではどうか。

19.3 一樣な磁界の中で一樣に回転するコイル枠を持つ回路で何が交流であるのか。

19.4 ??? 一樣磁界の中で、等速回転しているコイル枠に初期位相を 0 としたサイン波の起電圧が発生する。枠の 30° の回転で起電圧の瞬時値が 89.9 V の時、60° の回転における起電圧の瞬時値を求めよ。起電圧の瞬時値を定める式を記述せよ。実効値を求めよ。

19.5 導線を 100 回巻いた長方形の枠が磁束密度 0.25 T の一樣磁界中で 120 回転 / m で回転する。回転軸は磁束密度ベクトルに垂直である。回転軸に平行な枠の辺長は 20 cm、軸川の距離は 5 cm。枠の回転により発生する起電圧と時間の関係、その最大値を求めよ。枠の端子に接続された電圧計は何を指示するか。最初、枠の面は磁束密度ベクトルに垂直であるとする。

19.6 サイン交流の電圧が 220 V の実効値のもとで振動数 50 Hz で変化する。時間 5 ms、10 ms、12.5 ms での電圧の瞬時値を求めよ。初期位相は 0 とする。

19.7 面積 S、N 回巻きのコイルが磁束密度 B の一樣磁界中で一樣回転する。起電圧の実効値は E。起電圧の瞬時値を示す式を記述せよ。1 周期当たりの起電圧の平均値を求めよ。初期位相は 0 とする。

19.8 細い銅線を何回か巻いた 1 辺 1 の正方形の枠が磁束密度 B の一樣磁界中で等速で回転する。枠の軸は対向する 2 つの辺の中間を通り、磁束密度ベクトルに垂直である。枠の回転周期は T。枠に接続している電圧計は電圧 U を指示している。銅線の直径 d と銅の密度 ρ を知っているものとして、銅線の質量を求めよ。

19.9 一樣な磁界の中で等速で回転している枠の中で、磁束流は $\Phi = 0.02 \cos(314t)$ で変化している。枠に発生する誘導起電圧の時間依存を求めよ。1.67 μ s における起電圧の瞬時値を求めよ。

19.10 一樣な磁界中で等速で回転している導体枠の巻き数を求めよ。磁束流は式 $\Phi = 4 \times 10^{-4} \cos(628t)$ で決められ、起電圧の実効値は 17.76 V である。枠の誘導起電圧の時間依存を見いだせ。

19.11 ネオン灯が 220 V、50 Hz の交流回路に接続されている。ランプの点灯電圧は 145.5 V。ランプの点灯と消灯の電圧を同じとして、ネオンランプの発光継続時間とそれらの時間間隔を求めよ。

19.12 交流（特に強力な発電機において）を得るために、磁石を回転させ、コイルを固定させているのは何故か。

- 19.13 送電線の実効電圧が500 kVの時、どれだけの電圧まで見積もる必要があるか。
- 19.14 最大電圧280 Vまで見積もったコンデンサを220 Vの回路に結線することができるか。
- 19.15 回路の電流の変化は式 $i = 8.5 \sin(314t + 0.651)$ で記述される。電流の振幅、初期位相、振動数を求めよ。 $t_1 = 0.05$ s、 $t_2 = 0.042$ sの時の電流を求めよ。
- 19.16 交流の周波数は磁界の中で回転するコイル枠の周波数と常に同じか。
- 19.17 発電機が標準周波数の交流電圧を発電するとしたとき、1分間に125回転する回転子荷はいくつの組の極があるか。
- 19.18 4極の発電機の回転子が1500回転/mで回転する。起電圧の実効値が220 Vの時、起電圧の時間依存の式を記述せよ。
- 19.19 問題19.5の条件の下で、相互に垂直に配位している2組の磁極に対して、起電圧の時間依存性と、その実効値を求めよ。
- 19.20 交流サイン電流回路で、純抵抗、誘導性抵抗、容量性抵抗の部分でどのようなエネルギーの変換が起こるか。誘導性と容量性抵抗をリアクタンス成分と呼ぶのは何故か。
- 19.21 回路電流が式 $i = 4 \sin(314t)$ で記述される。純抵抗10 Ωで20秒間に放出される熱量を求めよ。そこで放出される最大電力を求めよ。
- 19.22 問題19.21の条件で、電圧の実効値を求めよ。電圧の瞬時値のための式を記述せよ。抵抗における電流と電圧の間にどのような位相差があるか。
- 19.23 電流が式 $i = 0.564 \sin(12.56t)$ で表される。純抵抗15 Ωを持った導線で10周期当たりどれだけの熱量が放出されるか。
- 19.24 強磁性体コアの入ったコイルを順番に直流と交流回路に接続する。両方の場合においてコイルを流れる電流は同じか。コアを遠ざけると電流はどのように変化するか。
- 19.25 インダクタンス20 mHのコイルを振動数50 Hzの交流回路に接続する。コイルの誘導抵抗を求めよ。周波数に対するコイルの誘導抵抗依存をグラフにせよ。
- 19.26 0.02 Hのコイルを振動数50 Hzの交流電圧源に接続する。電圧の実効値は100 V。時間に対する電流と電圧の瞬時値の依存を記述せよ。電流と電圧の位相差を求めよ。ベクトル図を作れ。コイルの純抵抗は無視する。
- 19.27 コアのない500回巻きのコイルでの電流は $i = 0.01 \sin(628t)$ である。コイルの長さは20 cm、断面積4 cm²。時間に対するコイルの電圧依存を求めよ。導線の純抵抗分は無視する。
- 19.28 断面積0.5 mm²の銅線を250回巻いてできているコイルがある。コイルの長さは40 cm、その直径は5 cm。コイルの全抵抗がその純抵抗分の2倍となるのはいくらの周波数の交流の時か。

19.29 コイルで、電流が $i = I_m \cdot 2 \quad t$ で変化する。コイルでの最大電圧、電流と電圧の間の位相差、時間に対する電圧依存性を求めよ。コイルの磁場の最大エネルギーを W_m とする。コイルの純抵抗は無視する。

19.30 容量 $150 \mu F$ のコンデンサが交流回路に接続している。コンデンサの抵抗はどうなるか。周波数を4倍大きくすると抵抗はどのように変化するか。

19.31 容量 $100 \mu F$ のコンデンサが交流回路中で 31.8 の抵抗を持っている。周波数を 150 Hz だけ増加させるとその抵抗はどのように変化するか。

19.32 500 V 仕様の $2 \mu F$ のコンデンサが、式 $i = 0.2 \sin(314 t)$ で記述される交流回路に接続されている。コンデンサの実電力を求めよ。コンデンサにかかる最大電圧は設計電圧の何倍となるか。

19.33 断面積 40 cm^2 , 誘電体の厚さ 0.12 cm の平板雲母コンデンサで電圧は $u = 300 \sin(314 t - \quad / 2)$ で変化する。コンデンサにおける電流と電圧の位相差を求めよ。コンデンサを流れる電流の瞬時値の式およびその荷電量の式を記述せよ。雲母の誘電率は7。

19.34 コンデンサ回路の電流は $i = 0.1 \sin(100 t)$ である。コンデンサの電界の最大エネルギーが 0.1 J の時、電圧の時間依存性とコンデンサのリアクタンス電力を求めよ。

19.35 誘導コイルの電圧と電流は $u = 60 \sin(314 t - 0.25)$, $i = 15 \sin(314 t)$ 。電流と電圧間の位相差、コイルの全抵抗、コイルの誘導抵抗、全電力及びアクティブ電力を求めよ。

19.36 50 Hz 、 220 V の交流回路に、直列に 48.4 の電灯と $50 \mu F$ のコンデンサが接続されている(図参照)。回路の全抵抗、電力係数、電流と電圧の位相差、回路電流、電灯とコンデンサの電圧、回路の全電力、電灯で消費されるアクティブ電力、コンデンサのリアクタンス電力を求めよ。電圧のベクトル図を作成せよ。

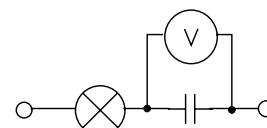


図19.36

19.37 問題19.36の条件で、交流の周波数とコンデンサの容量を半分としたとき、コンデンサに接続している電圧計の指針はどのだけ変化するか。

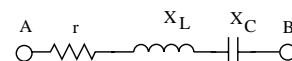


図19.38

19.38 分岐がない交流回路で、 $r_1 = 4$ 、 $X_L = 5$ 、 $X_C = 2$ 。コンデンサに接続した電圧計は 20 V を指示する。回路の全抵抗、電力率、電流と電圧の位相差、回路電流、回路の全電圧、全電力、アクティブ電力、リアクティブ電力を求めよ。電圧のベクトルグラフを作れ。

19.39 交流の分岐のない回路(問題19.38の図参照)で、抵抗 12 の回路の純抵抗部分での電圧降下は 30 V 。誘導性抵抗及び容量性抵抗での電圧降下は各々 50 V 、 10 V 。回路の全電圧、電流、電力率、電流と電圧の位相差、全抵抗、全電力、実電力を求めよ。電圧のベクトル図を作成せよ。

19.40 X_L 、 X_C を大きくして、交流回路(問題19.38を参照)の抵抗を小さくすることができるか。

19.41 純抵抗、誘導性抵抗、容量性抵抗の直列接続で、回路の電圧は、誘導性抵抗、容量性抵抗での電圧より小さくすることができるか。実抵抗の場合ではどうか。

19.42 50 Hz、220 Vの交流回路に、直列に抵抗値12 Ωの抵抗、インダクタンス64 mHのコイル、容量88.5マイクロFのコンデンサが接続している。回路電流、コンデンサとコイルでの電圧、全電力、アクチブ電力、リアクティブ電力を求めよ。

19.43 問題19.42で交流のどのような周波数で回路電流は最大となるか。この時、コンデンサとコイルの電圧、全電力、アクチブ電力は何に等しくなるか。この現象は何と呼ばれるか。電圧のベクトル図を作成せよ。

19.44 問題19.42において、回路に共振が発生していると、コンデンサの容量はどう変化するか。絶縁破壊しないためには、コンデンサの耐圧電圧をいくらと見なければならぬか。前科色で放出される電力は何に等しいか。アクチブ抵抗ではどうか。電力率はどうなるか。電圧の共振は何に危険か。

19.45 分岐のない交流回路でベクトル図が与えられている(図参照)。回路図を描け。回路の全電圧と電力率を求めよ。

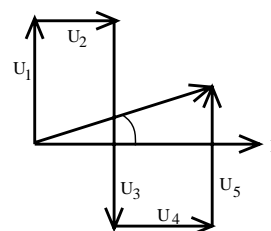


図19.45

19.46 分岐のない回路でのベクトル図(図参照)に従って回路図を描け。回路電圧、全抵抗、電力率、消費電力を求めよ。回路の各部分での電圧は、 $U_1 = 6\text{ V}$ 、 $U_2 = 5\text{ V}$ 、 $U_3 = 4\text{ V}$ 、 $U_4 = 15\text{ V}$ 、 $U_5 = 10\text{ V}$ 、 $U_6 = 10\text{ V}$ 。最初の部分の抵抗は1.5 Ω。ベクトル図は交流回路のどのような現象に対応しているか。

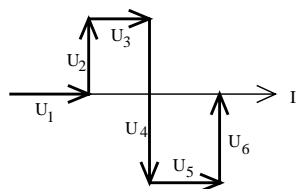


図19.46

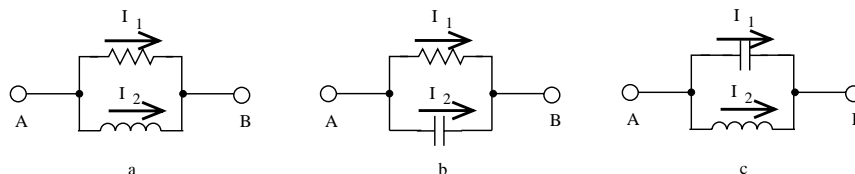


図19.47

19.48 問題19.47の回路図で、 $R = X_L = X_C = 10\ \Omega$ 、 $U_{AB} = 100\text{ V}$ の時の分岐していない部分の電流を求めよ。ベクトル図を作れ。

19.49 問題19.47のaとb図で描かれている回路で電流は共振するか。インダクタンスが20 mH、コンデンサ容量が15 μFのとき、問題19.47の図bでの回路で、電流の共振はいくらの周波数の交流で発生するか。

19.50 交流分岐回路(図参照)で、各部分の抵抗は、 $X_{L1} = 5\ \Omega$ 、 $X_{C1} = 2\ \Omega$ 、 $R_1 = 4\ \Omega$ 、 $X_{L2} = 2\ \Omega$ 、 $X_{C2} = 10\ \Omega$ 、 $R_2 = 3\ \Omega$ である。回路電圧 $U_{AB} = 100\text{ V}$ 。回路の各分岐での電流、消費全電力、アクチブ電力を求めよ。

19.51 50 Hzの周波数の交流電流の分岐のない部分での電流を求めよ(図参照)。パラメータは次の通りである。 $R = 10\ \Omega$ 、 $L = 101.3\text{ mH}$ 、 $C = 100\ \mu\text{F}$ 、 $U_{AB} = 100\text{ V}$ 。分岐のある部分での電流はどうなるか。

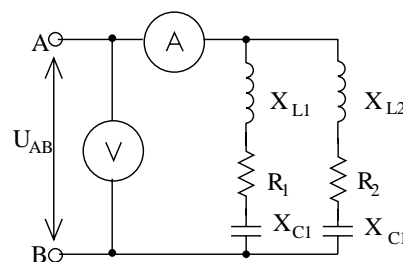


図19.50

周波数が変化すると、回路の分岐部分の電流はどのように変化するか。

19.52 図に示されている回路で、 $C = 106 \mu\text{F}$ 、 $L = 159 \text{ mH}$ 、 $R = 56$ である。コイルのアクチブ抵抗は小さくて無視できる。回路の交流周波数は 50 Hz 。電流計が 2.4 A を示すとき、回路の電圧 U_{AB} を求めよ。ベクトル図を作成せよ。

19.53 電圧 $U_{AB} = 220 \text{ V}$ の交流源に抵抗値、 $R_1 = 10$ 、 $R_4 = 6$ 、 $X_1 = 17$ 、 $R_2 = 8$ 、 $X_2 = 6$ 、 $R_3 = 3$ 、 $X_3 = 4$ が図のように接続されている。分岐部分、前科色の全抵抗値、並列部分と分岐していない部分の電流、分岐部分 DE の電圧、電流と電圧の位相差、アクチブ電力とリアクティブ電力、を求めよ。

19.54 交流源に直列に白熱電球、コイル、可変コンデンサが接続している。最初、コンデンサの抵抗がコイルの抵抗より小さい ($X_C < X_L$) とし、コンデンサの容量の減少と共に電球の発光はどのように変化するか。交流の電圧と周波数は変化はしない。

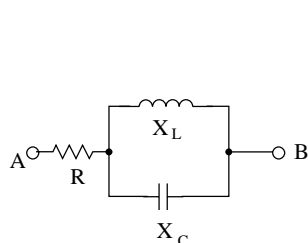


図 19.51

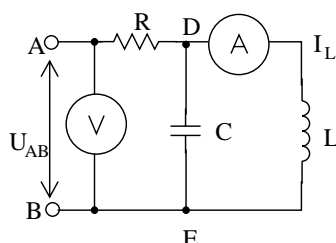


図 19.52

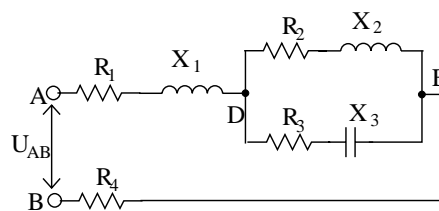


図 19.53

トランス

19.55 トランスは空運転時に少しのエネルギーを電源から得ている。これは何に消費されるのか。実抵抗を考慮しないとすれば、トランスの空運転時には 1 次側でどのような位相差があるか。

19.56 交流 127 V 仕様のトランスを同じ電圧の直流に接続すると、何が起こるか。トランスの効率は電動機と比較すると高いのは何故か。

19.57 昇圧トランスが 127 V の電圧で作動する。1 次コイルの巻き数は 90 。トランスの空運転時、2 次コイルの端子間電圧が 3000 V の時、変換率 k と 2 次側コイルの巻き数 n_2 を求めよ。

19.58 トランスの 1 次側と 2 次側の巻き数を調べるために、2 次側に測定用に銅線を 80 回巻いた。1 次側に 220 V の電圧を接続すると、測定コイルの両端の電圧計は 20.3 V を示し、2 次側の両端子電圧は 36 V であった。1 次側、2 次側のコイルの巻き数と変換率を求めよ。

19.59 トランスの 1 次コイルに 220 V をかけると、空運転で 2 次側に 130 V が発生する。1 次側のコイルの巻き数を 400 ，散乱流束を 3.8% として、1 次側の巻き数を求めよ。

19.60 変換率が 20 のとき、1 次側と 2 次側のどちらがより大きな導線の断面積を持っているか。それは何故か。

19.61 2 次側の負荷を大きくすると、トランスの 1 次側に接続した電球の明るさはどのように変化するか。実験して見よ。エネルギー保存法則を適用して説明せよ。

19.62 トランスの 1 次側の電流が 4.8 A 、端子間電圧は 127 V 。2 次側の端子電圧が 220 V の時、その電流は 2.5 A 。電力率を 1 としてトランスの効率を求めよ。

19.63 降圧トランスの1次コイルは1500回巻きで、220Vの交流電源に接続されている。2次側が6.3V、0.5Aの電源を供給することになるとき、2次コイルの巻き数を求めよ。負荷がついている。2次コイルの抵抗は0.2Ω。1次側コイルの抵抗は無視する。

19.64 トランスの1次コイルに3.5kVの電圧を供給する。その2次側コイルは導線で負荷に接続されている。2次側電圧は220Vで、消費電力は25kW。電力率は1とする。変換率が15の時、導線の抵抗を求めよ。トランスの1次側コイルのどれだけの電流が流れるか。2次側コイルの抵抗は無視する。

19.65 変換率0.5の昇圧トランスで、2次側コイルに接続されている負荷の電圧は216V。抵抗10.8Ωの負荷は純抵抗である。1次側コイルの電圧、それを流れる電流、変換効率を求めよ。2次側コイルの抵抗は0.2Ω。導線の抵抗は小さい。

19.66 巻き数1320回のトランスの1次側に380Vがかかっている。2次側には純抵抗の負荷が接続され、消費電力は360W。負荷の抵抗として3.6Ω、2次側コイルの抵抗に0.2Ωを採用し、2次側コイルのインダクタンス、その巻き数、1次側コイルの電流、変換効率を求めよ。電力率は1と見なす。

19.67 同じ断面積を持ったコアの入っているトランス（図参照）で、巻き数100回の1次側コイルに200Vの電圧をかけた。200回の巻き数を持つ2次側コイルの電圧はどれだけか。磁場の拡散は無視する。

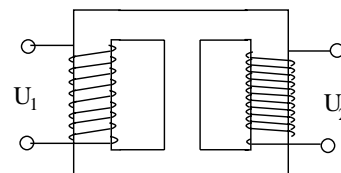


図19.67

19.68 コア付きのトランスの巻き数100回の1次側コイルに50Vをかける（図参照）。巻き数が400回で、そのコアの断面積 $S_2 = 3S_3$ の2次側コイルの電圧を求めよ。
??? $S_1 =$???

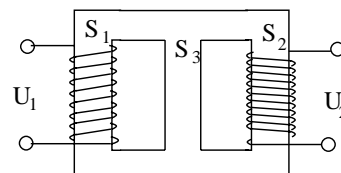


図19.68

19.69 抵抗 $R = 12\Omega$ の交流線の端に、変換率 $k = 20$ の降圧トランスがついている。2次側コイルの負荷は電流 $I_2 = 60A$ で実電力 $P_2 = 21kW$ を得る。電線の先端側の電圧 $U = 7.2kV$ のとき、トランスの効率を求めよ。1次側コイルでの電力の消費は小さいとする。2次側の負荷は純抵抗である。

19.70 配線における消費を n 分の1に小さくするためには、発電機の電圧をどれだけ高くする必要があるか。発電機で与えられる電力は直流とする。

第20節 電磁振動と電磁波

例題77 $48\mu F$ のコンデンサ、 $24mH$ のコイル、コイルの実抵抗分 20Ω からなる振動回路がある。この回路の自由電磁振動周波数を求めよ。コイルの実抵抗分を無視すると、回路の振動数はどれだけ変化するか。

例題78 コンデンサの最大荷電量は $2 \times 10^{-8}C$ 、回路の最大電流は1Aの振動回路における真空中での電磁波の波長を求めよ。回路のインダクタンスが $2 \times 10^{-7}H$ とすると、コンデンサの容量はいくらか。磁場のエネルギーがその最大値の $3/4$ の時、コンデンサの電界エネルギーを求めよ。その瞬間でのコンデンサの電圧を求めよ。回路の実抵抗は無視する。

例題 7 9 振動数が $4.5 \times 10^{11} \text{ Hz}$ の電磁波の真空中での波長を求めよ。比誘電率が 2.28 のベンゾール中における伝搬速度と波長を求めよ。解答に当たって、ベンゾールは電磁放射には透明であり、その非透磁率は 1 としみなす。

20.1 振動回路においてインダクタンスと容量はどのような役割を果たすか。

20.2 回路中の電磁振動においてコイルの実抵抗はどのような影響を与えるか。

20.3 実際の振動回路で、その減衰に導く電磁振動エネルギーは何故小さくなるのか。減衰しない電磁振動はどのようにして得るのか。

20.4 回路において電磁振動の固有の振動数をどのような方法で変更することができるか。

20.5 振動回路で、電磁波の放射に使われるエネルギーをどのようにして増加させることができるか。

20.6 垂直な磁場において、磁束密度が増大し、減少する。この時、発生する渦電場はどのような様であるか。ベクトル E はどうか。

20.7 磁場の変動において、交流渦電場が発生するのは常にか。

20.8 電磁波の電界と磁界の成分の大きさの最大値は同時刻に、空間の同じ点を常に通過するのか。

20.9 電磁波が常にエネルギーを運ぶのか。

20.10 放送局の垂直アンテナが電磁波を放射する。電磁波の電界と磁界の成分はどのような方向に変化するか。受信アンテナの電磁振動を最大とするためには、アンテナをどのように配置しなければならないか。

20.11 放送局の垂直アンテナが振動数 200 kHz の電磁波を放射する。受信局の垂直アンテナで、最大強度 $60 \mu\text{V/m}$ の電磁振動を生起する。電磁波によりアンテナに生起された最大起電圧を求めよ。放送局はどれだけの波長で送信しているか。アンテナの長さは 2 m 。

20.12 問題 20.11 の条件下で、受信局のアンテナ面を垂直から角度 60° だけ傾けたとき電磁波がアンテナに生起する最大起電圧を求めよ。この時起電圧の周波数はどのように変化するか。

20.13 受信局のアンテナ内で荷電粒子の振動運動はどのようなエネルギーによって生起するのか。その振動数はどうなのか。その振動は自由振動か強制振動か。

20.14 容量を 12 倍、インダクタンスを 3 分の 1 とすると、回路の自由振動の周期と周波数はどのように変化するか。

20.15 インダクタンス 0.5 mH 、容量 $4 \mu\text{F}$ の回路の自由振動の周期と周波数を求めよ。更に 3 個の同量のコンデンサをコンデンサに直列に接続すると、振動周波数はどのように変化するか。

20.16 インダクタンス 2.2 mH 、容量 $1.5 \mu\text{F}$ の回路の自由振動の周波数はいくらかとなるか。コンデンサに並列に更に 3 個の同量のコンデンサを接続すると、自由振動の周期はどう変化するか。

20.17 2つの同じコンデンサが直列に接続している振動回路において、自由振動周期は $T_1 = 2 \mu s$ である。これらのコンデンサを並列接続すると、自由振動周期はどのように変化するか。

20.18 振動回路において、周波数 4.2 kHz で共振が起こる。コンデンサの容量が $2.2 \mu F$ の時、コイルのインダクタンスを求めよ。回路の電流と電圧間の位相差はいくらか。

20.19 巻き数800回、長さ 0.5 m 、断面積 2 cm^2 のコアのないコイルが空気コンデンサと並列接続している。コンデンサの極板の面積は 40 cm^2 で間隔は 6 mm 。回路の共振周波数を求めよ。

20.20 振動回路において、コンデンサの荷電量が式 $Q = 0.0001 \cos(10^4 t)$ で変化する。回路電流の変化式、回路の電界と磁界の最大エネルギー、回路のインダクタンスを求めよ。コンデンサの容量は 100 pF 。

20.21 振動回路において、容量 C のコンデンサが最大電圧 U_{\max} まで充電される。回路における最大電流が I_{\max} のとき、回路の共振周波数を求めよ。

20.22 振動回路がインダクタンス 1 mH のコイル、容量 $20 \mu F$ のコンデンサからできている。磁界の最大エネルギーは 0.01 J 。磁界のエネルギーの最大値、コンデンサの荷電量及び電流を求めよ。電流の瞬時値の式を記述せよ。振動は減衰しないとする。

20.23 インダクタンス L 、容量 C の振動回路が最大電圧 U_{\max} まで充電される。コンデンサでの電圧が半分になるときの電流を求めよ。振動は減衰しないと見なす。

20.24 インダクタンス 0.4 H 、容量 $20 \mu F$ の振動回路で、電流の振幅値が 0.1 A 。電界と磁界のエネルギーが同じ瞬間に、コンデンサでの電圧はいくらか。振動は非減衰とする。

20.25 振動回路で、コンデンサに荷電量 1 mC を与えた。その後回路に減衰電磁振動が生じた。コンデンサでの最大電圧が初期最大電圧より4分の1だけ小さくなった瞬間、どれだけの熱量が放出されるか。コンデンサの容量は $10 \mu F$ 。

20.26 コンデンサの容量が $0.41 \mu F$ 、コイルのインダクタンスが 0.11 mH 、実抵抗が 20.5 からなる回路における自由振動の周波数を求めよ。

20.27 コンデンサと、インダクタンス 0.31 mH のコイルと、実抵抗 8.9 を直列に接続した振動回路において、自由振動の周期が 0.209 ms 。コンデンサの容量を2倍とすると、周期はどうなるか。

20.28 電磁波によってアンテナに生起された電磁振動から最大のエネルギーを得るのは、受信機の共振回路がどのような場合か。

20.29 送信機が波長 49 m の電磁波を放射するのはどのような振動周波数の時か。それは長波、中波、短波のどれに属するか。

20.30 比誘電率 7 、比透磁率 1 の媒質中を伝搬する振動数 10 MHz の電磁波の波長を求めよ。真空中に伝搬していくと、振動数と波長はどのように変化するか。

20.31 容量 33.1 pF 、インダクタンス $15 \mu F$ の振動回路はどのような波長の電磁波を放射するか。

20.32 波長 32 m の電磁波に同調させるために、容量 50 pF の回路はどれだけのインダクタンスを持たなければならないか。

20.33 受信機の振動回路はインダクタンス $40\ \mu\text{H}$ と可変容量を持っている。受信機は 500 m から 1000 m までの波長を受信することができる。回路の容量はどれだけの範囲で変化するのか。

20.34 受信回路のインダクタンスが $0.25\ \text{mH}$ 、コンデンサの容量が $0.113\ \text{pF}$ から $11.8\ \text{pF}$ まで変化するとき、受信する波長の範囲はどうか。

20.35 受信機の入力回路はインダクタンス $2\ \text{mH}$ のコイル、極板の面積 $10\ \text{cm}^2$ 、間隔 $2\ \text{mm}$ の平行平板コンデンサからできている。極板の間は比誘電率 7.5 の雲母で満たされている。受信機はどの範囲の波長を受信するか。

20.36 最大回路電流が I_{max} 、コンデンサにかかる最大電圧が U_{max} の時、インダクタンス L を持つ振動回路はどのような波長に同調するか。電磁波の伝搬速度は v 。

20.37 コンデンサの最大荷電量が Q_{max} 、回路の最大電流が I_{max} の時、振動回路が同調する波長を求めよ。電磁波の伝搬速度は v 。

20.38 容量 $70\ \text{nF}$ 、インダクタンス $0.28\ \text{mH}$ 、実抵抗 $40\ \Omega$ からなる振動回路はどの波長に同調するか。

20.39 ラジオ通信で利用される高周波振動はなぜ搬送波と呼ばれるのか。

20.40 受信機で、受信した信号の増幅は何で行われるのか。

20.41 能動半径を 2 倍とするためにはレーダーの出力を何倍としなければならないか。3 倍ではどうか。

20.42 標的から反射されてきたレーダーパルスがレーダーからの出力から $0.8\ \mu\text{s}$ 後に得られたとき、標的までの距離はいくらか。

20.43 パルス方式で作動するレーダーが最大距離 $300\ \text{km}$ の標的を観測する。レーダーは 1 秒間にどれだけのパルスを放射するか。1 つのパルスの継続時間が $200\ \text{ns}$ の時、標的は最大どれだけの距離にあるか。

20.44 波長 $200\ \text{cm}$ でパルス動作するレーダーは距離 $60\ \text{m}$ から $150\ \text{km}$ までの距離にある標的を観測することができる。送信パルスの周波数、その継続時間、パルス中の全振動数を求めよ。

20.45 波長 $10\ \text{cm}$ で作動しているレーダーが宇宙物体からの反射信号を、放射した振動数より $120\ \text{kHz}$ 高い周波数で検出した。宇宙物体は地球に対してどれだけの速さで近づいているか。

20.46 波長 $20\ \text{cm}$ で作動しているレーダーの放射に向かって自動車が動いている。受信した反射信号の周波数が $83.3\ \text{Hz}$ 増加していたとすれば、自動車はどれだけの速さで値かずにいるのか。自動車が同じ速度で遠ざかるときには反射信号の周波数はどう変化するか。

第9章 光学。特殊相対性理論の基礎

第21節 光速度 光の性質

例題80 重フリントガラス中での可視光の波長が 366 nm で、エネルギーは $3.37 \times 10^{-19}\text{ J}$ である。真空中での可視光の波長、このガラスの絶対屈折率、このガラス中での放射の伝搬速度を求めよ。

21.1 どのような電磁波も人間に光の刺激を生じさせるか。

21.2 問題21.1での答えで示された振動数は波長のどの間隔に相当するか。

21.3 太陽光線のスペクトルの中で最も明るい波長 555 nm に相当する振動数を求めよ。

21.4 マックスウエルの理論からすると、媒質中の光速度は $v = c / \sqrt{\epsilon \mu}$ である。透明な非磁性体及び常磁性体媒質では公式 $v = c / \sqrt{\epsilon \mu}$ を適用するのは何故か。

21.5 量子論の基礎では、可視光はどのように説明されるのか。

21.6 可視光の最大エネルギーの光子と最小エネルギーの光子はどのようなものか。

21.7 量子エネルギーと波長の間にどのような依存が存在するか。

21.8 進級から透明な媒質に伝搬する過程で光子のエネルギーについて何をいうことはできるか。

21.9 波長が 0.01 m のガンマ線の量子エネルギーは、波長 0.1 m の硬レントゲン線の量子エネルギーの何倍大きいを見積もれ。

21.10 10 W の可視光を放射する光源は1秒間に、波長 $5.52 \times 10^{-7}\text{ m}$ の緑色の光子をどれだけ放射するか。

21.11 放射の量子が $2.2 \times 10^{-19}\text{ J}$ のエネルギーを持っている。通常の視覚を持った人間が、可視光線のようにこの放射を知覚するであろうか。

21.12 点光源が全方向に様に光を放射する。波の先端となっているのは何か。

21.13 波の先端はどのような場合に球表面となるか。

21.14 光線とは何か。それはエネルギーを運ぶか。

21.15 1676年に、オランダの学者レーメルは天文学的手段で光速度を定めるため、木星の衛星の1つであるイオの蝕を観察した。計算値と比較して16分40秒だけ蝕の開始が遅れたのは何故か。地球の軌道半径を $3.0 \times 10^8\text{ km}$ として、光速度の確定結果を評価せよ。

21.16 光速度を決定するため、マイケルソンは回転鏡を利用した(図参照)。鏡の最小回転数が530回転/秒の時、観測者は光源Sを連続して見た。 $l = 35.4263\text{ km}$ として、光速度の決定の結果を評価せよ。

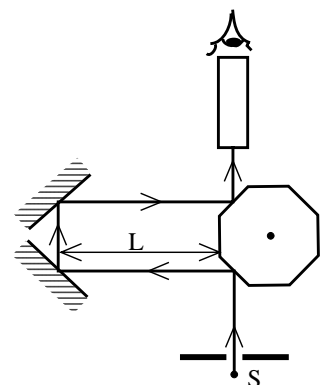


図21.16

21.17 日食が始まったのとどれだけの時間の後で地球の観測者はそれを見るか。光速度は $2.99792 \times 10^8 \text{ km/s}$ 、地球の軌道半径は $1.49 \times 10^8 \text{ km}$ 。

21.18 媒質の光学密度にはどのような意味が含まれているか。

21.19 媒質の光学密度は何に依存しているか。

21.20 比誘電率が 2.28、非透磁率が近似的に 1 のとき、媒質の光学密度を求めよ。

21.21 振動数 $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ の可視の電磁放射が 450 nm の波長であるとき、屈折率を求め、液体名を上げよ。

21.22 真空中で光波の波長が $0.55 \mu\text{m}$ 、透明媒質中で $0.44 \mu\text{m}$ 。媒質の屈折率、媒質中での光速度、電磁振動の周波数を求めよ。

第22節 光の反射。平面鏡と球面鏡

例題 8 1 図に示されているように、点 A に向かっている光線の光路上に、平面鏡がある。反射の後、光線は点 A' で交わる。点 A から鏡までの距離を 35 cm として、この点の位置を求めよ。

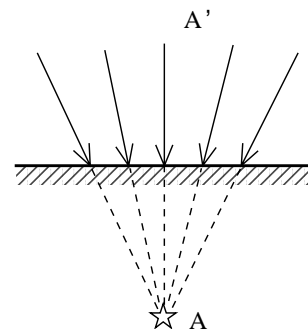


図 例題 8 1

例題 8 2 曲率半径と、物体から球面鏡までの距離が知れているとし、球面鏡が与える線形倍率が曲率半径の半分と、物体から焦点までの距離に関係していることを示せ。主軸上であると見なす。球面鏡における物体の像を作成し、球面鏡の公式を導出せよ。

例題 8 3 凹面鏡の前に、その主軸に垂直に物体が置かれている。像の大きさと物体の大きさの関係は $m_1 = 1.5$ である。その後、鏡から $l = 16 \text{ cm}$ だけ物体を離すと、像と物体の大きさの関係は $m_2 = 0.5$ となった。凹面鏡の曲率半径を求めよ。

22.1 平面鏡において、どのような条件の下で、実像を得ることができるか。

22.2 平面鏡を角度 θ だけ回転すると、入射光と反射光の間の角度はどれだけ変化するか。

22.3 水平線からの太陽の高度角は 60° 。井戸の底を照らすためには、平面鏡を垂直線に対してどれだけの角度でおけばよいか。

22.4 平面鏡からの反射太陽光が垂直上方向に向くためには、平面鏡を太陽光に対してどれだけの角度に配置する必要があるか。太陽の高度角度は水平線から $\theta = 50^\circ$ である。

22.5 光線が A 点から、鏡 MN で反射した後 B 点に達する。光が通る経路 A C B が最小となるように、作図せよ (図参照)。

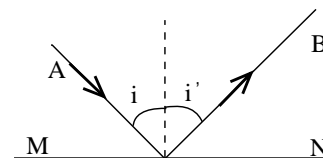


図 22.5

22.6 平面鏡 MN が点光源 S から速さ v で遠ざかる。この時、動かない光源に相対的にその像はどれだけの速さで遠ざかるか。

22.7 2 枚の鏡で連続して反射した光が入射光に平行となるためには、2 枚の鏡の角度をどうしたらよいか。

22.8 少し角度のついた2枚の鏡の間に小さな物体が置いてある。物体から各々の像までの距離とそれらの間の距離が同じなとき、この角度を求めよ。

22.9 2つの平面鏡が2面角、 90° 、 60° 、 45° を作る。鏡の間におかれた物体の像は各々の場合いくら得られるか。

22.10 2つの平行平面鏡の間に蝋燭をおく。蝋燭の像はいくら得られるか。蝋燭の隣り合う像の距離はどうなるか。

22.11 壁に垂直に鏡が固定され、その上端は人の目の高さである。身長 180 cm の人が鏡の中に自身全体を見るためには鏡の最小の長さはいくらか。

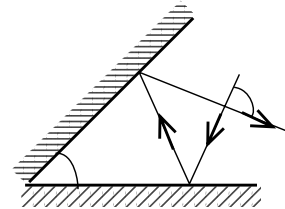


図 22.13

22.12 平面鏡で物体を見ると、我々は右と左が入れ替わったように知覚する。何故上と下の像が入れ替わらないのか。

22.13 2つの平面鏡が2面角 θ をなして配置している(図参照)。鏡に入射する光線と鏡で反射される光線で形成される角度 ϕ はいくらか。この角度は入射角度に依存するか。入射光と反射光は2面角の稜に垂直な面内にある。

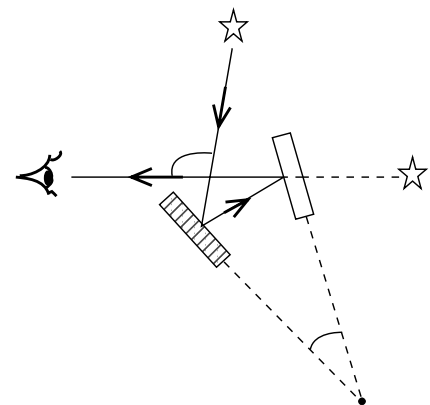


図 22.14

22.14 方位装置である六分儀には2枚の鏡があり、2面角 θ を形成し、その内に1枚は半透明である。半透明鏡を覗きながら、鏡の中で天体の像を水平線とを重ね合わせる。角度 $\alpha = 32^\circ$ (図参照)。水平線上の天体の高度角 β はいくらとなるか。

22.15 透明媒質の境界に入射する光線の入射角度に光の反射係数はどのような関係にあるか。

22.16 海の上を飛行している飛行機の乗客にとって、眼下の水は水平線から遠くなるほどより暗く見える。何故か。

22.17 高さ 10 cm の物体を、凹面鏡の前に、その極から 24 cm の所においた。像はどこにどの様に得られるか。鏡の曲率半径を 18 cm として、その高さを求めよ。

22.18 高さ 4 cm の物体が凹面鏡の前に置かれ、その実像が2倍の大きさに鏡の極から 36 cm の所に得られた。鏡に対する物体の位置、焦点距離、曲率半径を求めよ。

22.19 高さ 10 cm の物体が曲率半径 24 cm の凹面鏡の極から 4 cm の所に位置している。どのような像がどこに得られるかもと目よ。得られる像の高さはいくらで、何倍か。

22.20 曲率半径 30 cm の凹面鏡の前に、鏡の極から 20 cm の距離に、高さ 60 cm の物体が置いてある。部隊の像は鏡からどれだけの距離に、かつどのような像が得られるか。その高さと倍率を求めよ。その虚像が物体の2倍の大きさとなるためには、物体を鏡に対してどの方向にどれだけ移動させなければならないか。

22.21 凹面鏡の曲率半径は 0.6 m 。鏡の極からどれだけの距離に物体の実像が得られるか。像から物体までの距離は 25 cm とする。その実像が現物の大きさと等しくなるためには物体をどこにおけばよいか。

22.22 物体が、凹面鏡の極から $1.5f$ の距離にある。鏡からどれだけの距離に像が得られるか。その倍率はいくらか。

22.23 凹面鏡内に、物体の4倍の大きさの実像が得られている。物体から像までの距離は 75 cm 。鏡の極から焦点、物体、像までの距離を求めよ。

22.24 凹面鏡から $4f$ の距離に物体がある。物体が鏡から $2f$ の距離にあるとき、高さ 30 cm の像が得られることがわかっているとして、どのような高さの像が得られるか。

22.25 図に示されているように、長さ 10 cm の物体 AB がおかれている。A点は鏡の極から 15 cm 離れている。A点に物体が主光学軸に垂直に置かれているとき、2倍の大きさの実像が得られるということを考慮して、物体の像 $A'B'$ をその長さを作図で求めよ。

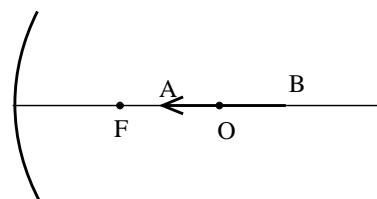


図22.25

22.26 点光源が凹面鏡の主光学軸上、主焦点から $l_1 = 4\text{ cm}$ の距離にあり、その像は $l_2 = 25\text{ cm}$ のところにある。鏡の屈折力を求めよ。

22.27 点光源 S が曲率半径 20 cm の凹面鏡の主光学軸上にある。鏡の極から S までの距離は $1.2f$ 。球面鏡で、続いて平面鏡で反射した後、光線が再び点 S を横切るためには、球面鏡からどの距離に平面鏡をおかなければならないか。

22.28 焦点距離 20 cm の凸面鏡の極から 60 cm の所に光源がある。光源からどれだけの距離にその像があるか。それはどのようなものか。

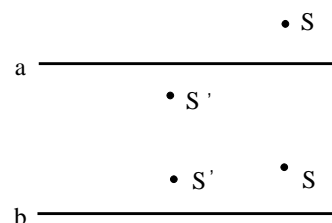


図22.29

22.29 図に球面鏡の主光学軸、光源 S とその像 S' が与えられている。aとbの場合について、鏡の配置を作図で見いだせ。鏡は凹面鏡か凸面鏡か定めよ。主光学軸上に焦点と曲率中心を記せ。

22.30 凸面鏡に、5分の1の大きさの虚像が得られた。物体と像の間隔が 60 cm の時、物体とその像は鏡からどれだけの距離にあるか。

22.31 収斂光束が曲率半径 R の球面鏡に入射する。その延長は鏡の極から距離 $R/4$ のところで主光学軸を横切る。鏡が凹面鏡の時、反射光が軸のどこを横切るか。凸面鏡ではどうか。

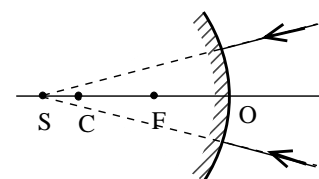


図22.32

22.32 収束線の経路上に光学力3の凸面鏡がある(図参照)。距離 $SO = 75\text{ cm}$ 。点 S の像 S' はどこにあるか。点 S を相対的に何とすることができるか。

22.33 高さ 30 cm の物体が曲率半径 40 cm の凸面鏡から 60 cm の距離にある。像の高さはいくらか。鏡の倍率はいくらか。鏡に物体を近づけたとき、像はどの方向に移動するか。像の高さはどのように変化するか。

22.34 高さ 20 cm の物体が曲率半径 80 cm の凸面鏡の極から 40 cm の所にある。像はどこにどのようなものが得られるか。物体とその像は焦点からどのような距離に位置するか。

22.35 主光学軸上にある物体とその像が各々焦点から16cm、9cm離れているとき、と油面鏡の曲率半径を求めよ。

22.36 光学力5を持つ凸面鏡がそれから0.96mの所に光源の像を与える。鏡から光源まで、その像までの距離を求めよ。

22.37 同じ曲率半径の凸面鏡と凹面鏡、光源が図のように配置されている。凸面鏡で反射した後、凹面鏡で反射する光線は、点Sからどれだけの距離で、主光学軸と交差するか。

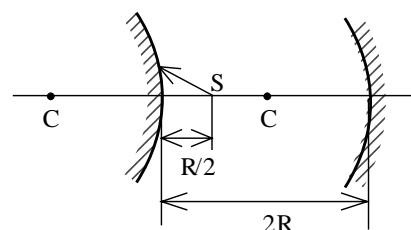


図 22.37

22.38 最近、自動車のミラーとして平面鏡と共に凸面鏡も使用されるようになってきている。その利点と欠点は何か。

第23節 光の屈折 レンズ 視角と光学装置

例題84 平行平面の板が屈折率1.8の透明な材料でできている。下面に黒い点がついている。上から下を見ている観察者がこの点を上面から4.5cmしたの距離にあると見た(図参照)としたら、板の厚さはいくらか。

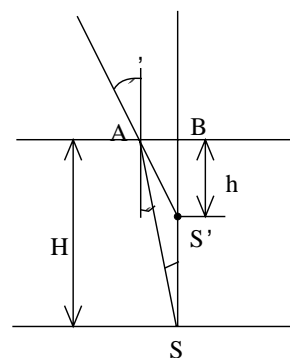


図 例題84

例題85 ガラス製の正三角柱プリズムでの光線の傾斜角度を求めよ。入射角度は30°とする(図参照)。どのような入射角度の時、光は右から出ることはいないか。ガラスの屈折率は1.5。

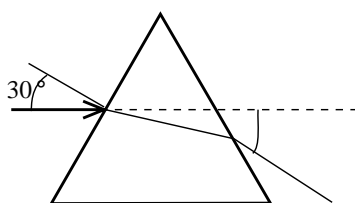


図 例題85

例題86 屈折率1.5のガラスからできている2枚のレンズが光学軸を共通とし、それらの光学中心間隔を1.64mとして配置している(図参照)。1枚目の両凸レンズの曲率半径は0.4mと1m。2枚目の凹凸レンズは曲率半径0.25mの凹部分と曲率半径1mの凸部分からできている。1番目のレンズから0.8mの距離に高さ0.2mの物体ABが光学軸に垂直に配置している。どのような像が形成されるか。

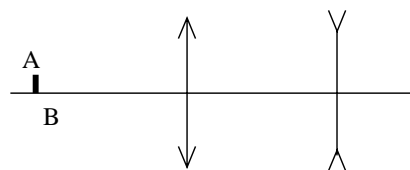


図 例題86

光の屈折

23.1 2つの透明媒質の境界が見えないのはどのような場合か。

23.2 光線が真空から透明媒質に入る。媒質が等方的としたならば、光は境界に近づくことができるか。

23.3 水平線からの太陽の高度角を2人の観測者が定める。1には貯水池の底に沈んで、もう1

人はその岸にいる。彼らのどちらの方が太陽はより高く見えるか。

23.4 氷の絶対屈折率とその中での光速を求めよ。
入射角度が 30° で屈折角度は $22^\circ 26'$ である。

23.5 ある透明媒質中を光が速さ
 $2.25 \times 10^8 \text{ km/s}$ で伝搬する。真空から
この媒質に光が入射するときの角度を求めよ。
屈折角度は $24^\circ 51'$ 。

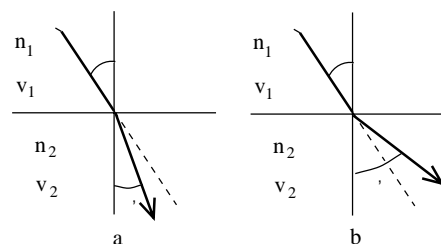


図 23.6

23.6 2つの透明媒質の光学密度は n_1 , n_2 。
光線が図の a, b のように進むとき、媒質の光学密度とその中での光速度にどのような関係があるか。

23.7 光線が2つの透明媒質の境界面に 37° で入射し、 24° の屈折角度である。1番目の媒質に相対的な2番目の媒質の屈折率を求めよ。光学密度はどちらが大きい。光線の入射角度が 8° だけ大きくなると、屈折角度はどう変化するか。

23.8 光が伝搬速度 1.94000 km/s の媒質から、光学密度 2.42 の媒質へと伝搬する。
最初の媒質に相対的な2番目の媒質の屈折率、2番目の媒質での光速度を求めよ。

23.9 光線がガラス(軽クラウンガラス)から水に伝搬する。境界面での入射角度が 45° の時、
屈折角度を求めよ。

23.10 光線が水から石英ガラスに伝搬する。光線は境界面で水とは 36° 、石英ガラスとは $45^\circ 40'$ の角度をなす。水に相対的な石英ガラスの屈折率、光速度の減分、波長の減分、石英ガラスの絶対屈折率、石英中での光速度を求めよ。

23.11 水中にいるアクアランゲストが、太陽の方向は垂直から 28° であると、判断した。浮かび上がったとき、太陽はどれだけ下方に位置するか。

23.12 空気中から水に光線が入射するとき、反射光と屈折光が作る角度が 90° となると、
入射角度はいくらか。

23.13 空気中からアセトンに入射する光線が作る反射角度と屈折角度のなす角度が 120° である。
屈折角度を求めよ。

23.14 魚が水面から数十 cm の深さにいるとき、岸から鉄砲でねらいを付けて魚を仕留めることが困難なのは何故か。

23.15 池の底に打ち込んだ棹が水面に達している。太陽の高度が水平線に対して 30° から 40° まで大きくなったとき、水平な池の底の影の長さはどのように変化するか。

23.16 垂直な柱を深さ 4 m の川の底に打ち込む。水から 1 m 飛び出している。影が水面上で 2.208 m の長さであるとき、水平線に対する太陽の高度角と川の底での影の長さを求めよ。

23.17 貯水池の見かけの深さは、垂直から少しずれた角度で観察すると、その真の深さの $3/4$ となることを証明せよ。この見る角度が大きくなると見かけの深さはどのように変化するか。

23.18 光源が目から 50 cm の所にある。光源と目の間に厚さ 10 cm のガラス板をおくと、
人は光源の像をどの位置に見るか。

23.19 水面から2.4 mの距離の空中に、点光源がある。水中に没している観察者は光源の像を水面上どの位置に見るか。

23.20 ガラス製の底を持つ水槽に深さ12 cmまで水を注ぐ。水面上40 cmの高さにある光源の像を、水を見ている観察者は、水面からどれだけの距離に見出すか。

23.21 物体が平行平面のガラス板から0.9 mの所にある。ガラス板の背面は銀メッキされている。板の厚さが15 cm、ガラスの屈折率が1.5として、物体からその虚像までの距離を求めよ。

23.22 鏡の底を持った容器に2種類の透明であるが混じり合わない液体を注いだ。下には屈折率1.5の厚さ6 cmの液体層、上には屈折率1.4の厚さ5.6 cmの液体層。液体の表面から光源の虚像までの距離が76 cmのとき、光源は液体の表面からどれだけの距離にあるか。

23.23 どのような条件下で、全反射を観察することができるか。全反射はどこに現れるか。

23.24 水中にある小さい空気の泡は何故鏡のようなのか。空のガラス製試験管を水中に少し傾けて一部分を沈めると、鏡のようである。何故か。試験管を水で満たしてもこの効果は継続するか。

23.25 光ケーブルは小さい屈折率の物質で覆われた純度の高い石英の細い糸からできている。曲がった光ケーブルの側面から光が漏れ出ないのは何故か。

23.26 金属線による情報の伝送と比較して光ケーブルでの電送の優れたところはどこにあるか。

23.27 次の物質の組み合わせの限界入射角度を求めよ。水と空気、二硫化炭素と空気。

23.28 空気と境界をなしている透明媒質の限界入射角度を求めよ。その媒質中の光速は $2.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ である。

23.29 光線がガラスと空気の境界に角度 44° で入射する。光線は空気中に出るか。ガラスの屈折率は1.6。

23.30 光が速度 v で媒質中を伝搬する。光線が媒質中に残るためには空気との境界にどれだけの角度で入射すればよいか。

23.31 2つの媒質の境界に光線が角度 50° で入射し、屈折角度は 30° である。このようなもとで全反射は可能か。2番目の媒質から境界に角度 50° で光を送ると、1番目の媒質から光はどれだけの角度で出るか。

23.32 2つの透明媒質の境界に入射する光は入射角度 $\theta_i \geq 56.14^\circ$ で全反射を受ける。2番目の媒質での光速、媒質の絶対屈折率、相対屈折率を求めよ。1番目での光速は $1.88 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

23.33 貯水池の底にある点光源からの光が、光源の真上の水面に半径11.4 mの円形の光跡を形成する。貯水池の深さを求めよ。

23.34 貯水池の底にある点光源が、水面での反射光で、光源から $SA = 2.3 \text{ m}$ より離れている水平な底の一部分をより明るく照らす。貯水池の深さ H はいくらか。底にいる潜水夫(身長 $h = 1.7 \text{ m}$)から最低どれだけの距離に、光の水面での反射により彼はしっかりと見える底の部分があるか。

23.35 平行平板に光線が角度 60° で入射する。屈折後、光線は最初の方角からどれだけずれるか。板の厚さは 5 cm 。屈折率は 1.6 。どのような角度で光線は空気中に出るか。

23.36 平行平板に入射する光線が板の中を 11.6 cm 通過して角度 50° で出る。光線がいくらの角度で板に入射しているか。光線は最初の方角からどれだけ移動しているか。屈折率はいくらか。板の厚さは 10 cm 。

23.37 2枚の平行平板が密着している。屈折率 1.5 の上の板に光線が 45° で入射する。屈折率 1.8 の板から光線が出るときの屈折角を求めよ。下の板が水に触れているとき、この角度はいくらとなるか。

23.38 プリズムを通過する光線はその基底に対していつも変位するか。

23.39 ある波長の可視光線が図に示されているようにプリズムに入射する。プリズムの屈折率 $n_p >$ 周りの媒質の屈折率 n_o のとき、プリズムを通り過ぎた後、光の経路はどうなるか。屈折率の関係が逆の時はどうか。

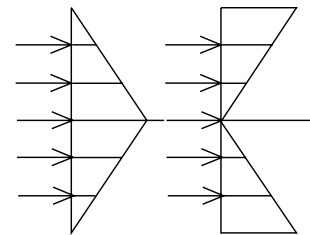


図 23.39

23.40 屈折角 50° の3面プリズムに、角度 40° で光線が入射する。ガラスの屈折率が 1.54 ならば、光はプリズムから何度の角度で出るか。光線は最初の方角からどれだけずれるか。

23.41 屈折角 60° のプリズムは屈折率 1.5 のガラス製である。プリズムで屈折した後、光線が側面に沿って進むならば、光線の側面への入射角度はいくらか。最初の方角とどれだけずれるか。

23.42 屈折角 45° の直角ガラスプリズムに面に垂直に入射する光線はプリズムを通過した後、 25° ずれる。ガラスの屈折率を求めよ。

23.43 光が空気中から二等辺三角形プリズムに入射し、屈折した後、他面と接している水中にはいる。光線はいくらの角度で水に入射するか求めよ。最初の方角からどれだけずれているか。ガラスの屈折率は 1.6 。

23.44 屈折角 32° の直角三角プリズムの側面に垂直に光線が入射する。プリズムを通過した後、光線は最初の方角からどれだけずれるか。ガラスの屈折率は 1.6 。

集光レンズと散乱レンズ

23.45 焦点距離 10 cm と 40 cm からできている集光レンズ、焦点距離 12.5 cm と 50 cm からできている散乱レンズの光学力を求めよ。

23.46 光学力 2 , 10 , -5 , -8 のレンズの焦点距離を求めよ。

23.47 光線がレンズの主光学軸に平行に入射する。光学力 10 のレンズで屈折した後、光線は軸のどこをよぎるか。レンズ群の光学力が -10 ならば、屈折後、光はどのように進むか。

23.48 主光学軸に平行な光路上に共通の光学軸を有している2枚のレンズがおいてある。これらのレンズでの屈折後、光線が平行であるためには、レンズ群はどこにおかなければならないか。最初のレンズの光学力は 5 , 2番目のレンズは -10 である。光学力 -8 を持つ2番目のレンズまでの距離はどうなるか。

23.49 屈折率1.6のガラスでできている両凸レンズの光学力と主焦点距離を求めよ。レンズの表面の曲率半径は20 cmと50 cmである。

23.50 屈折率1.5のガラスでできている焦点距離1 mの平凸レンズの光学力と曲率半径を求めよ。主光学軸に沿って進む細い光線はレンズを屈折した後、どこをよぎるか。

23.51 凸面の曲率半径40 cm、凹面の曲率半径20 cmのレンズが屈折率1.8のガラスでできている。これはどのようなレンズか。主光学軸上、レンズから0.5 mの距離にある光源の像はどのような形で、どこに得られるか。

23.52 曲率半径20 cmの両凸レンズが屈折率1.5のガラスでできている。水中及び二硫化炭素中でのこのレンズの光学力を求めよ。

23.53 屈折率1.5のガラスでできているレンズが空気中で主焦点距離10 cmを持っている。水中でのこのレンズの光学力と焦点距離を求めよ。

23.54 凹面レンズは集光レンズとなることができるか。凸レンズは散乱レンズとなることができるか。

23.55 レンズで屈折した後、光線1はどのように進むか（図参照）。レンズで屈折するまで光線2はどのように進んできたか。

23.56 図に、レンズ、その主光学軸、光源S、その像S'が示されている。作図でレンズの主焦点を求めよ。

23.57 図に、主光学軸OO'、光源A、その像A'が示されている。各々にどのようなレンズが対応すべきかレンズの位置とその焦点を求めよ。

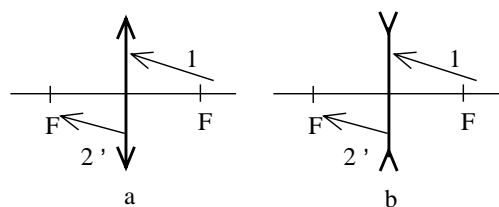


図23.55

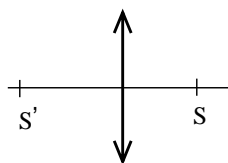


図23.56

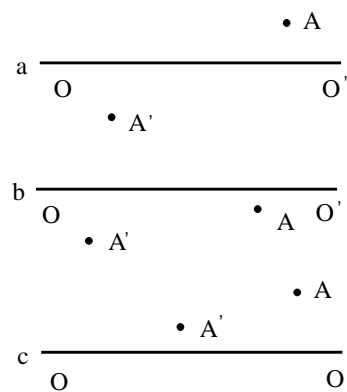


図23.57

23.58 高さ10 cmの物体が焦点距離20 cmの集光レンズから30 cmの所にある。どのような距離にどのような像が得られるか。その高さ、拡大率、レンズの光学力を求めよ。

23.59 物体とその像がレンズの両側にレンズから40 cmの所にある。レンズから距離30 cmの主光学軸上にある光源はどのような距離にどのような像を形成するか。レンズの光学力はいくらか。

23.60 集光レンズがスクリーン上に20倍の大きさの像を与える。焦点距離と光学力を求めよ。スクリーンからレンズまでの距離は6.3 m。

23.61 集光レンズが物体から1.8 mの距離に2倍の大きさの実像を与える。同じ大きさの実像を得るためにはどの位置に物体を置くべきか。

23.62 蝋燭がスクリーンから1 mの所にある。蝋燭から20 cmの所に集光レンズをおくと、スクリーン上に蝋燭の像が現れた。レンズの別のどの様な配置で、スクリーン上で再び明瞭な像となるか。像は高さでどれだけ異なるか。

23.63 屈折率1.5のガラスでできている曲率半径40 cmの平凸レンズからどれだけの距離に、主光学軸上で、物体をおかなければならないか。得るべき像の大きさは4分の1とする。

23.64 物体からスクリーンまでの距離が1.8 m。スクリーン上に実像を得るためには、焦点距離0.4 mの集光レンズをそれらの間のどこにおくべきか。この時の倍率はいくらか。

23.65 物体がスクリーンから25 cmの所にある。スクリーン上でのその明瞭な像はレンズの配置が2通りで得られる。それらの間隔は5 cm。レンズの焦点距離と2通りの間の倍率を求めよ。最初の場合を、レンズが物体に近い方とする。

23.66 集光レンズから5.5 mの距離にあるスクリーン上で、像の面積は投射される物体の面積より100倍大きい。レンズの光学力と焦点距離を求めよ。レンズからどれだけの距離に物体はあるか。

23.67 投射装置の対物レンズは5.4の光学力を持っている。スクリーンから対物レンズまでの距離は4 m。大きさ6 cm × 9 cmのフィルムの像が描写できるスクリーンの大きさを求めよ。

23.68 10 mの距離での物体の写真撮影において、フィルム上に高さ8.04 mmの像が得られた。距離3 mでは高さ2.7 mm。対物レンズの焦点距離を求めよ。

23.69 A点に集まる光線の経路上にA点から40 cmの距離に集光レンズをおくと、レンズから30 cmにあるA'点を横切る。主焦点距離を求めよ。

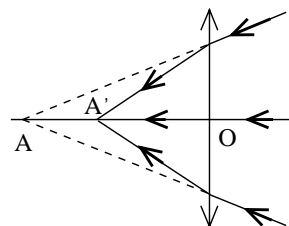


図23.69

23.70 主光学軸上で、焦点距離20 cmの集光レンズから物体を等速で動かす。10秒間で、距離60 cmから36 cmまで近づく。像は平均速度いくらかでどのように動くか。

23.71 距離2 mで主光学軸を垂直に飛ぶ弾丸の撮影で、像の不鮮明さは0.05 mmであった。撮影では、弾丸は主焦点距離50 mmの対物レンズの主光学軸上にあったとする。撮影の露光時間が 2.25×10^{-6} 秒として、弾丸の速度を求めよ。

23.72 高さ20 cmの物体が光学力-5のレンズから30 cm離れている。レンズはどの様な像をどの位置に与えるか求めよ。

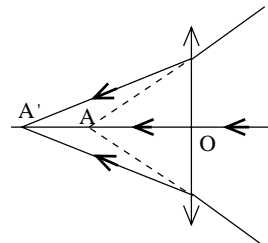


図23.76

23.73 レンズがレンズから4 cmの所に、物体の半分の大きさの直立像を与える。このレンズはどの様なものか。焦点距離はいくらか。物体はレンズからどれだけ離れているか。

23.74 レンズは物体から10 cmの距離に物体の直立で半分の像を与える。このレンズはどの様なレンズか。このレンズの光学力と焦点距離を求めよ。

23.75 散乱レンズで光線を集光することができるか。

23.76 集光線束が点Aに集まる(図参照)。その経路上で、点Aから30 cmの所に、散乱レ

レンズをおくと、光線はレンズから 60 cm の点 A' を横切る。レンズの焦点距離を求めよ。

23.77 光学力 3 と -2 のレンズを密着させ、光学軸を共通とする。実像で等しい大きさの象を獲るためには物体をレンズからどれだけの距離におかなければならないか。

23.78 光学力 5 を持つレンズが、主光学軸上でレンズから 60 cm の所に、光源の実像を与える。光学軸が一致し、実像が 38.6 cm だけ近づくように、レンズにもう一つのレンズを密着させる。2 番目のレンズの光学力を求めよ。

23.79 光学力 -2 の散乱レンズと焦点距離 20 cm の集光レンズが密着している。レンズ計の光学力を求めよ。レンズを 40 cm はなすと、光学力はどれだけ変化するか。

23.80 焦点距離が 5 cm の対物レンズのついているカメラで、最短距離 1 m で撮影できる。距離 20 cm で撮影するためには、対物レンズとボディの間にどれだけの厚さの筒を入れなければならないか。

23.81 眼鏡を付けていない近眼の人が 200 cm 以内の文字を読む。読書をするために彼に必要な眼鏡の光学力を求めよ。

23.82 目の遠近調節最近点が 50 cm である遠視の人のための眼鏡の光学力を求めよ。

23.83 カメラの対物レンズは最短距離 1 m までの撮影を許す。 20 cm までの撮影ができるために、対物レンズに密着すべき薄いレンズの光学力を求めよ。

23.84 焦点距離が 10 cm の散乱レンズと、 15 cm の集光レンズが共通の光学軸を通して。散乱レンズから左側 10 cm の所に、物体があり、散乱レンズの右側 15 cm の所に集光レンズがある。像はどこにでき、その倍率はいくらか。

23.85 焦点距離が 4 cm の2枚の薄い集光レンズが光学軸を共通にして 4 cm 離れている。1 番目のレンズから 5 cm の所の光学軸上に光源がある。1 番目と2 番目のレンズで屈折した後、像はどこにできるか。光源の場所に物体をおいたとすれば、倍率はいくらか。

23.86 焦点距離 2 cm と -20 cm の集光レンズと散乱レンズが間隔 50 cm 離れておいてある。高さ 5 cm の物体が集光レンズから 30 cm の所にある (図参照)。光学系はどこにどの様な図を与えるか。その高さはいくらか。

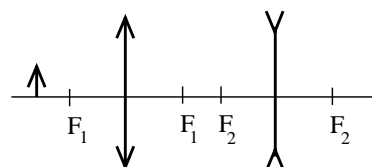


図 23.86

23.87 光源が焦点距離 20 cm の集光レンズの光学軸上にあり、レンズから 30 cm 離れている。レンズから 50 cm 離れた右側に光学軸に垂直に平面鏡が置いてある。鏡で反射し、レンズで再び屈折した後、光源の像はどこにどの様にできるか。

23.88 光源が焦点距離 6 cm のレンズの光学軸上レンズから 10 cm の所にある。光源とレンズの間の光学軸上に垂直に屈折率 1.5 のガラスでできている平行平板をおくとレンズから像までの距離はどれだけ変化するか。

23.89 レンズ ~ (図参照) は屈折率 n のガラスでできている。表面の曲率半径は R_1 と R_2 。レンズの片側は銀メッキされている。レンズ - ガラスのシステムの光学力を求めよ。

23.90 物体が平面鏡から 30 cm 離れている。鏡にしっかりと焦点距離 40 cm の薄い集光レ

レンズをおくと、どのような像がどこに得られるか。散乱レンズの光学力は -2.5 である。

23.91 曲率半径 40 cm の凹球面鏡に薄い厚さで水を注ぐ。鏡の光学軸上、鏡から 30 cm の所に光源がある。その像はどこに得られるか。

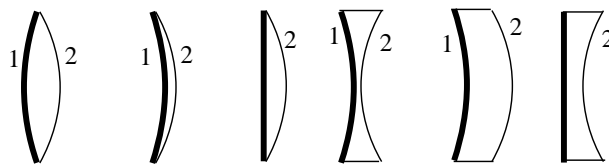


図 23.89

視角。光学装置

23.92 どのような場合に、任意の物体の 2 点に対する目は視覚的印象を分離できないか。

23.93 人が視角 11° で見るとき、高さ 14 m の建物は人からどれだけの距離にあるか。

23.94 私たちが、太陽、月、星を見たとき、それらはどれも私たちから同じ程度離れているように見えるのは何故か。

23.95 ルーペが屈折率 1.8 のガラスでできている。レンズの表面の曲率半径は共に 10 cm である。目を無限遠に合わせたとき、ルーペの倍率を求めよ。近眼の人がこのレンズを使用したとき、倍率はどう変化するか。

23.96 ルーペの利用により、視角を大きくすることができる。物体に近づき、物体を裸眼で見ること、この拡大をはかることができないのは何故か。

23.97 目が最良の視角の距離に適応しているとして、6 倍の倍率のルーペの焦点距離と光学力を見いだせ。

23.98 光学力 24 のレンズをルーペとして使用する。目が最適の距離に適応しているとして、どれだけの倍率となるか求めよ。

23.99 光学力 20 の接眼レンズが 400 倍の顕微鏡に使用され、最良の視角距離に適応している。対物レンズが与える倍率を求めよ。

23.100 顕微鏡の胴筒の長さは 16 cm 。対物レンズと接眼レンズの焦点距離は各々 4 mm と 2 cm 。通常の視覚における顕微鏡の倍率を求めよ。

23.101 顕微鏡の対物レンズの焦点距離が 3 mm 、接眼レンズのそれは 5 cm 。物体は対物レンズから 3 mm 離れている。通常の視覚においての顕微鏡の倍率と胴筒の長さを求めよ。

23.102 顕微鏡の倍率は 600 倍である。対物レンズの焦点距離は 4 mm 。物体は対物レンズから 4.1 mm の所にある。視角が最良の距離にあるとして、接眼レンズの焦点距離、接眼レンズの倍率、顕微鏡の胴筒の長さを求めよ。

23.103 顕微鏡（他の光学機器も）の分解能はどれだけの倍率であるか、逆に、観察物体上の 2 つの隣り合う要素が分離して見える最小距離で定まる。分解能の存在は何で説明されるか。従って、可能な倍率は 1000 倍を超えないのは何故か。

23.104 対物レンズ・接眼レンズの焦点距離が各々 1.2 m と 2 cm である望遠鏡はどれだけの倍率か。

23.105 長さ15mのケプラー望遠鏡は249倍の倍率である。接眼レンズと対物レンズの焦点距離を求めよ。

23.106 焦点距離25cmの対物レンズのついて望遠鏡で、観察者は対物レンズから30mはなれている物体をよく見ることができる。望遠鏡を無限遠に合わせるためには、接眼レンズをどれだけ動かす必要があるか。

23.107 裸眼で見ると満月は視角は31'である。焦点距離が1.5mの対物レンズ、10cmの接眼レンズの望遠鏡で月を見ると、月はどれだけの視角を持つか。

第24節 光学測定

例題87 円形テーブルの表面が、その中心(O点)の上高さ1.2mに吊されている100カンデラのランプで照らされている。テーブルの直径は1.8m。テーブルの端と点Oでの照度を求めよ。また、O点に光を反射するように、壁(B点)に平面鏡を傾けておくと、O点での照度はどのように変化するか。点Bと点Oはランプから等距離離れている。鏡は光の理想的な反射体と見なす。

24.1 球の表面で面積3200cm²が表す立体角を求めよ。球の半径は0.8m。

24.2 立体角1.5ステラジアンが球表面で面積0.54m²を切り取る。球の半径はいくらか。

24.3 立体角が半径30cmの球の表面を360cm²切り取る。球の半径を1.5倍大きくすると、この立体角は球表面をどれだけの面積切り取るか。この立体角を求めよ。

24.4 立体角0.35sr内に光量42ルーメンを放つ点光源の光力を求めよ。

24.5 半径0.8mの球の中心におかれた点光源が、球の表面の面積44000cm²に55lmの光量を送り出す。光源の光力と光源が放出する全光量を求めよ。

24.6 半径0.6mの球の中心に、60kdの点光源が配置されている。球の内表面に面積100cm²にあたる光量、この光量部分の立体角、光源が放出する全光量を求めよ。

24.7 球の中心にある点光源からの全光量は1256lmである。光源の光力、それが立体角0.25srに放出する光量、この立体角が球表面を切り出す面積。球の半径は60cmである。

24.8 半径80cmの球の中心に、光力40kdの光源がある。球の内表面の面積320cm²にあたる光量、その照度を求めよ。

24.9 映写機に、光力500kdのランプが使われる。ランプから出た全光量の内、0.4%がスクリーンにあたるとして、面積5m²のスクリーンでの照度を求めよ。

24.10 電力25Wの白熱電球の光効率は9lm/Wである。これが放射する全光量、ランプの平均光力を求めよ。

24.11 電力40Wの白熱電球が放射する全光量は380lm。同じ電力で蛍光灯からの光量は1700lm。電灯の光効率を求めよ。どちらが経済的か。

24.12 電力100Wの白熱電球は12.75lm/Wの光効率を有する。電球が放射する光量のうちの25%が到達するものとして、面積1.8m²の表面の平均照度はいくらか。

24.13 溶けた白金の表面の光力はこの面に垂直な方向で 30 cd である。表面の光度を求めよ。白金表面の面積は 0.5 cm^2 である。

24.14 燃えている蠟燭の光力を求めよ。その光度は 5000 cd/m^2 、炎の断面積は 0.5 cm^2 である。

24.15 暗い室内を照らしている光力 I の点光源が1つの壁側におかれている。反対の壁より2倍ほど近い。2つの壁の表面での照度の関係はどうか。

24.16 テーブルの上 1.4 m の所に光力 100 cd の電球が吊されている。電球直下のテーブル表面の照度を求めよ。電球を 20 cm だけ遠ざけると、照度はどの様にどれだけ変化するか。

24.17 テーブルの表面が電力 60 W 、光効率 11.9 lm/W の電球で照らされている。電球が焼き切れたので、電力 40 W 、光効率 10 lm/W の電球に取り替えた。テーブルの照度を変化させないためには、電球からテーブル表面までの距離をどの様に変化させなければならないか。

24.18 伸びていないときの長さが 70 cm のバネを使い、質量 80 g 、光力 50 cd の点光源を吊す。バネを吊している点からエレベータの床までの距離は 2.2 m 。エレベータが加速度 2.2 m/s^2 で上方に運動するとき、光源直下の床の照度を求めよ。バネ定数は 3.2 N/m 、自由落下の加速度は 9.8 m/s^2 。

24.19 本の表面に垂直に入射する太陽光による本の照度は 40 lx 。本を 30° だけ傾けると照度はどうなるか。

24.20 点光源に近い平面の表面の照度は 120 lx 。光が 60° で入射するような点での表面の照度を求めよ。

24.21 白熱電球を円形テーブルの中心上に吊す。その高さは、テーブルの端に入射する光線が垂直線と 60° の角度をなし、ここでの照度が 64.5 lx となる高さである。テーブルの直径は 1.6 m 。電球を点光源と見なして、その光力、テーブルの面に配給される光量、電球の電力、を求めよ。電球の光率は 13.5 lm/W とする。

24.22 天頂にある太陽の光線は地表にどれだけの照度を与えるか。太陽の明るさを $1.5 \times 10^9\text{ cd/m}^2$ とする。太陽の直径は $1.4 \times 10^6\text{ km}$ 、地球から太陽までの距離は $1.5 \times 10^8\text{ km}$ 。

24.23 太陽の高度角が水平線上 26° である。太陽を水平線上においたとしたならば、面の照度はどうなるか。垂直方向ではどうか。

24.24 レニングラードでは、6月22日の夏至の太陽高度角は水平線上 $53^\circ 30'$ 、12月22日の冬至では $6^\circ 30'$ である。これらの日において、地表の照度はどれだけ変化するか。

24.25 高さ 6 m の電柱で中庭を照らすため、 500 W の電球を吊した。その光効率は 16.6 lm/W 。電柱の根本からどれだけ離れた地表で照度が 4 lx となるか。

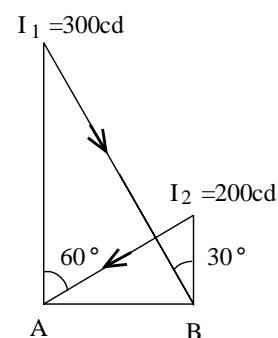


図 24.26

24.26 光力 300 cd と 200 cd の電球が地表を照らしている (図参照)。A 点での照度は B 点での照度よりどれだけ大きいか。2点間の距離は 4 m 、光源 B, A からの光線 I_1 , I_2 は各々垂直線と 30° 、 60° の角度をなしている。

24.27 スクリーンから距離 L 離れている光源がその中心点で照度 31 c を与える。光源から $2L$ の距離に平行に理想的な平面鏡を置いた（図参照）ならば、スクリーン上の照度はどうか。

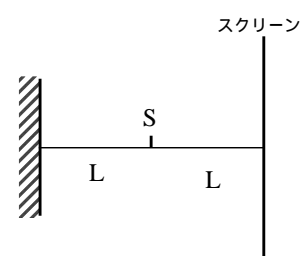


図 24.27

24.28 照らされている表面から 1.8 m の高さに、点光源があり、その上に照らされている表面に平行に反射率 80% の平面鏡が固定されている。光源下にある表面の照度が 1.2 倍大きくなる時、鏡と表面との距離を求めよ。

24.29 ネガの密着方法によるフィルムの焼き付けに置いて、光力 60 cd のランプはフィルムから 0.8 m の距離におくと、照射時間は 4 s である。光力 25 cd 、間隔 40 cm とすると、露出時間はどうか。

24.30 暗い室内で、壁と蝋燭の間に蝋燭から 25 cm 離れて光学力 4 の集光レンズがある。壁にできる光点の照度を求めよ。蝋燭の光力は 1 cd 。レンズでの光の損失は無視する。

24.31 スクリーン上に、集光レンズを使い、蝋燭の炎の 2 つの像が得られた。大きさは 4 倍と 2 倍である。これらの像が得られているスクリーンの部分の照度の関係を求めよ。

24.32 光力 128 cd 、 72 cd の 2 個のランプがお互いに 1.4 m 離れている。境界の照度が同じとなるためには、光量計をそれらの間のどこに置けばよいか。

24.33 光量計から右に 60 cm の距離におかれた被試験ランプの光量はいくらか。同じ照度を 75 cd の基準ランプで作り出すためには、光量計から左側に 0.9 m の距離におけばよい。

24.34 光学力 60 cd の点光源、曲率半径 0.6 m の理想的な凹面鏡、スクリーンが図のように配置されている。B 点での照度を求めよ。点光源から鏡とスクリーンまでの距離は各々 0.4 m 、 2 m である。

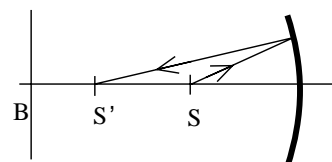


図 24.34

24.35 物体を近距離で或いは遠距離で撮影するとき、どちらの場合の方が露出時間を長くしなければならないか。両方の場合においてその他の条件は全て同じとする。

第 2 節 光の波の性質で説明される現象

例題 88 単色光の干渉性 2 つの光源 S_1 、 S_2 が空中にあり、線分 S_1S_2 に平行で、それから 4 m 離れたスクリーン MN を照らしている（図参照）。光源間隔が 0.5 mm 、C 点は中央から 6 mm 離れているとして、C 点で照度の最初の最大値があるためには波長はいくらか求めよ。

例題 89 ニュートンリングの観察のための装置が、平行平板に凸表面を接した屈折率 1.8 の平凸レンズからできている（図参照）。レンズの平らな表面に主光学軸に平行に波長 $0.65\text{ }\mu\text{m}$ の単色光を入射する。4 番目と 3 番目の明るいリングの距離が 0.5 mm のとき、レンズの曲率半径とその光学力を求めよ。平板とレンズの間の空間を屈折率 1.3 の液体で満たしたとき、4 番目の明るいリングの半径はいくらか。干渉の観察は反射光で行う。

例題 90 波長 450 nm の単色光の平行光線束が、 1 mm に 90 本の溝のある回折格子に垂直に入射する（図参照）。スクリーン上で 2 番目の最大照度（2 番目の明るい帯）が中心から 90 mm のところで得られるためには、回折格子からどれだけの距離にスクリーンをおかなければならないか。

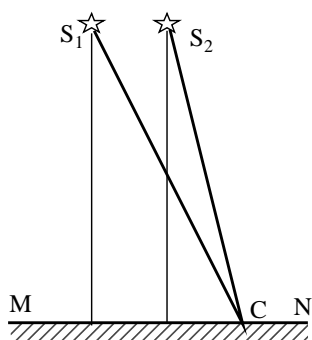


図 例題 8 8

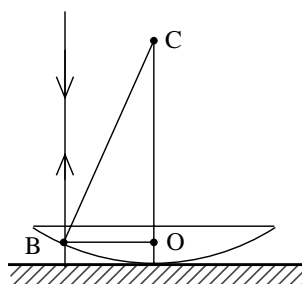


図 例題 8 9

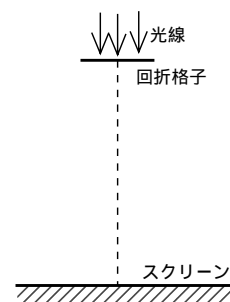


図 例題 9 0

光の干渉

2 5 . 1 1つの光源から干渉性光波を得ることができるか。

2 5 . 2 単色光の2つの干渉性光源がスクリーン上に干渉図を作る。これらの光源から等距離にあるスクリーン部分には何が形成されるか。

2 5 . 3 単色光の2つの干渉性光波の位相差を求めよ。それらの間の光路差は 0.5λ である。

2 5 . 4 振動の位相差が $\pi/2$ 。単色光の2つの干渉性光波の幾何学的経路差を求めよ。

2 5 . 5 単色光の2つの平行光線が間隔 $2\sqrt{3}\text{ mm}$ で、屈折角度 30° を持つ透明な直角プリズムの境界の1つに垂直に入射する。プリズムの材質の屈折率が 1.6 のとき、プリズムから出たときの光線の航路差を求めよ。

2 5 . 6 光波がエネルギーを運ぶこと知られている。干渉性光波が相互に重なり合っとうち消し合うところでは、エネルギーはどうなるのか。この様な場合には、エネルギーの他の形態への変移はないのか。

2 5 . 7 空気中において、干渉する波の光路差は $2.4\text{ }\mu\text{m}$ 。可視光線のどの様な波長で最大の強め合いが可能か。最大の弱め合いはどうか。

2 5 . 8 2枚の圧着した透明な平行平板で反射される光でナトリウム塩の蒸気の入っているアルコールランプの炎を観察すると、黄色と暗い帯が交互に見えた。透過光で炎を観察するとどの様になるか。

2 5 . 9 2つの干渉性光源 S_1 、 S_2 があり、それらの間隔 $d = 0.16\text{ mm}$ 、スクリーンとの間隔 $L = 3.2\text{ m}$ (図参照)。 $OA = 1.2\text{ mm}$ 、伝搬媒質の屈折率が 1.8 ならば、点Aでの光波の経路差はいくらか。空気中でならば、この光路差はどれだけ小さくなるか。

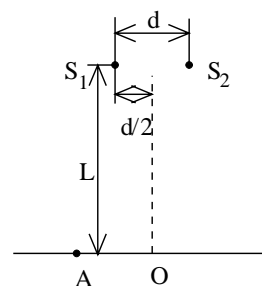


図 2 5 . 9

2 5 . 1 0 2つの干渉性光源が間隔 0.5 mm 離れ、それらを結ぶ直線は 2 m 離れたスクリーンに平行である。スクリーン上の隣り合う最大輝度間の距離が 2.4 mm ならば、光源の波長はいくらか。

2 5 . 1 1 波長 600 nm の単色光の2つの光源の間隔を求めよ。3番目の最大輝度部分の中心は

中央の帯の中心から 1.4 mm 離れ、2つの光源を結ぶ直線からスクリーンまでの距離は 2.8 m である。

25.12 白色光が狭いスリットを通り抜けてスクリーンに向かう。スリット間隔は 0.24 mm 。スリットから 2.4 m の距離にスクリーンがある。スクリーン上で干渉図が観測される。赤 ($0.76\text{ }\mu\text{m}$) から紫 ($0.40\text{ }\mu\text{m}$) までの4次のスペクトルはどれだけの距離に収まるか。

25.13 水面上の石鹸や石油のシミの虹色の染色はどの様に説明されるか。

25.14 レンズの反射膜コーティングとは何か。その基礎は何か。レンズの反射膜コーティングの採用で何が達成されるか。

25.15 屈折率 1.54 の材料でできている平板は最小どれだけの厚さでなければならないか。それを波長 $0.75\text{ }\mu\text{m}$ の光で板の表面に垂直に入射するように照らしたとき、板は反射光で赤くなった。暗色の場合はどうか。

25.16 厚さ $0.5\text{ }\mu\text{m}$ のフィルムに波長 $0.59\text{ }\mu\text{m}$ の光が垂直に入射する。フィルムの屈折率を 1.8 と見なし、透過光でフィルムはどの様に見えるか求めよ。光線に対してフィルムを傾斜させるとフィルムの色はどの様に变化するか。

25.17 図に、マイケルソン干渉計の簡単な図が与えている。光源 S からの光はハーフミラー NN に入射し、2つの光束に分かれる。鏡 M_1 に進む反射光 1, 鏡 M_2 に進む透過光 2 に。鏡 M_2 は平行移動することができる。何が装置の基本となっているのか。鏡で反射した後、光束 1, 2 の方向はどうなるか。スクリーン P で観測者は何を見るか。

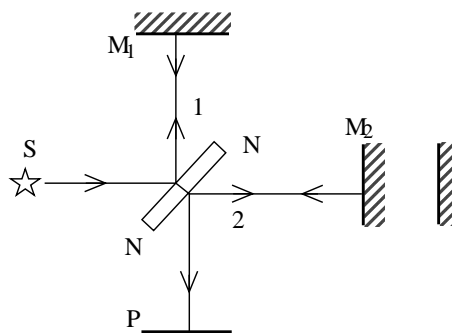


図 25.17

25.18 マイケルソン干渉計 (問題 25.17 を参照) において、鏡 M_2 を光束 2 の伝搬方向に沿って動かすと、何が起こるか。マイケルソン干渉計をどこで適用できるか。

25.19 天文学において、星のマイケルソン干渉計が利用される。その目的は何か。

25.20 屈折率 1.5 のガラスでできている非常に小さい角度のくさびにその表面に垂直に入射する光照射で、交互の明暗の帯が観測された。光の波長が 650 nm 、くさびの表面上で2つの隣り合う暗い帯の間隔が 1.2 mm として、角度 を求めよ。

25.21 角度 5.0° の石英くさびを、波長 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ の単色光でくさびの表面に垂直に照射した。干渉帯が観察された。この帯の幅を求めよ。

25.22 髪の毛の厚さを計測するために、ガラス板の上にそれを置き、上からそれを他のガラス板で覆った。髪から髪に平行なガラスの接触線までの距離は 2.0 cm 。赤色光 ($\lambda = 750\text{ nm}$) でくさびを照射すると、この様にして作り上げたくさび 1 cm 当たり、8本の干渉帯であった。髪の毛の太さを求めよ。

25.23 2枚のガラス板の間に、直径 0.085 mm の金属線を挟む。金属線から、空気のかさびを形成している板の接触線までの距離は 2.5 cm 。波長 700 nm による板の光照射により、板の接触線に平行に干渉模様が見える。くさびの長さ 1 cm 当たりの縞の数を求めよ。光は板の表面に垂

直に入射するもとする。

25.24 垂直に立っている金属線枠に張られた石鹸膜に、下に段々に動く虹模様が得られる。膜の上部が黒くなった後、膜が破れた。これはどの様に説明されるか。

25.25 反射光でのニュートンリングの明るい縞の半径は式 $r_k = \sqrt{(2k+1)R\lambda/2}$ で表記される。ここで、 k はリングの番号、 R は凸レンズの曲率半径（例題89参照）。3番目と4番目の間隔が1mmのとき、14番目と13番目の明るいリングの距離を求めよ。観測は反射光で行っている。

25.26 ニュートンリング装置で反射光で得られるくらいリングの半径は式 $r_k = \sqrt{kR\lambda}$ で定まる。3番目と2番目の間隔が1mmのとき、9番目と8番目の間の距離を求めよ。観測は反射光で行っている。観測を透過光で行うと解答はどうか。

25.27 波長 $0.64 \mu\text{m}$ の単色（赤色）光がニュートンリングを得るための装置に垂直に入射する。レンズの曲率半径が5m、観察は透過光で行うものとして、5番目の赤いリングの半径を求めよ。

25.28 ニュートンリングの観察装置に、曲率半径8.6mの平凸レンズが使用されている。単色光をレンズの平らな表面に垂直に入射させ、装置を照らすと、4番目の暗いリングの半径は4.5mmであった。観察は反射光で行われたものとして、光の波長を求めよ。

25.29 波長450nmの光を、曲率半径18mのレンズの光学軸に平行に入射させ、ニュートンリング装置を照らすと、半径5.5mの現れるリングが暗いリングか明るいリングか定めよ。レンズと平板の間の隙間をエチルアルコールで満たすと、このリングの半径はどうか。観察は反射光で行うものとする。

25.30 ニュートンリングの観察装置を波長 0.589 nm の光をレンズの平らな表面に垂直に入射させて照らす。反射光に現れる4番目の暗いリングの直径は2.4mm。平凸レンズの曲率半径その焦点距離を求めよ。レンズを作っているガラスの屈折率は1.8。

回折と偏光

25.31 小さなアナを使ってスクリーン上に物体の象を獲ることができる（ピンホールカメラ）。得られる像の鮮明度は穴を小さくするに従って良くなって行くが、その後悪くなっていく。どの様に説明されるか。

25.32 波長 500 nm の単色光のスペクトルの最大次数が4次のとき、回折格子の定数を求めよ。

25.33 波長 $0.65 \mu\text{m}$ の単色光が回折格子に垂直に入射する。2次スペクトルにおけるこの線に対する回折角度は 45° 。波長 $0.75 \mu\text{m}$ の光に対するこの次数でのスペクトルにおける角度を求めよ。

25.34 スリットの3次の回折像がスリットの中心から10cm、格子の中心から113cmのある。回折格子1cm当たり500本の溝があるとして、単色光の波長を求めよ。

25.35 2次スペクトル中の波長 $0.67 \mu\text{m}$ のリチウム蒸気の単色光は3次スペクトルのどの線に重なるか。

25.36 1 mm 当たり 100 本の溝のある回折格子がスクリーンから 1.8 m 離れている。格子に波長 410 nm の単色光が入射すると、1 番目の最大輝度は中央のスリットからどれだけの距離にあるか。1 次のスペクトル間隔はどれだけのか。

25.37 回折格子に波長 600 nm の単色光が垂直に入射する。格子から 1 m 離れているスクリーン上で、1 次スペクトル間隔が 12 cm ならば、格子の定数はいくらか。

25.38 1 mm に 500 本の溝のある回折格子に波長 450 nm の単色光を垂直に入射させると、得られるスペクトルの最大次数を求めよ。この回折格子のスペクトルでどれだけ長い波長の光を観察することができるか。

25.39 ホログラフィーとは何か。この現象は何に基礎をおいているか。ホログラフィーの基礎は誰によるか。

25.40 通常の写真と比較して、ホログラフィー像（ホログラム）の優点はどこにあるか。ホログラフィー発展の展望はどうか。

25.41 媒質の境界面に入射する光線の反射光が完全偏光する入射角度を全偏光角と呼んでいる。空気から水に光が進むとき、全偏光角を求めよ。

25.42 結晶から空気への伝搬において光線の臨界入射角度が 44.12° である結晶がある。反射光が完全に偏光する入射角度を求めよ。

25.43 空気と液体の境界において光線は部分的に反射し、部分的に屈折する。屈折角度 57.46° で反射光線が完全に偏光する液体の屈折率と、その名前を求めよ。

第 26 節 放射とスペクトル レントゲン放射

例題 9.1 太陽のスペクトルの中で最大の放射は波長 500 nm にある。太陽を黒体と見なし、その表面温度、単位時間当たりの熱放射エネルギー、地球大気の 1 m² 当たりに垂直に降り注ぐ熱放射エネルギー、を求めよ。太陽放射はそれに垂直に配位している黒い表面にどれだけの圧力を生ずるか。

26.1 光の屈折率は何に依存しているか。

26.2 通常の光の分散はどの様に説明されるか。

26.3 回折スペクトルと分散スペクトルの違いは何か。

26.4 暗闇で、信号機の信号を観察する。信号機までの見かけの距離は、赤色、黄色、緑色で同じか。

26.5 分散スペクトルと回折スペクトルにおいて、赤い光線と紫の光線ではどこが違うか。

26.6 遠赤外線波長の真空中で 770 nm。水中でこの波長と伝搬速度はどうなるか。水中でこの光線の色は変化するか（屈折率は 1.329）。

26.7 自身が色の発現をしない透明物体と不透明物体の色は何が原因か。

26.8 繊維商品のある商店の照明としてどのようなランプが目的にかなっているか。

2 6 . 9 太陽の像を、厚い赤色の平行平板ガラスからの反射された光で観察する。前面と後面で得られる像の違いは何か。

2 6 . 1 0 物体の色は何に依存しているか。どのような色を補色と呼んでいるのか。

2 6 . 1 1 赤と青色の 2 枚の色ガラスを重ねたものから物体を見て、物体を識別できるか。

2 6 . 1 2 どのような 3 色の重ね合わせで、白色光を作ることができるか。得られた色は何に依存しているか。

2 6 . 1 3 スペクトル分析は他の方法と比較して何に優れているか。

2 6 . 1 4 星のスペクトルから何を求めることができるか。

2 6 . 1 5 太陽のスペクトル中にある暗いフランフォーファー線の原因は何か。

2 6 . 1 6 白い星のスペクトル中に、紫外線放射と赤外線放射をどのようにして観測することができるか。どのような波長間隔がこれらの放射に対応しているか。

2 6 . 1 7 日焼けや、太陽放射の過度の利用による火傷はどのような光線が引き起こすのか。寒い快晴の日でも日焼けすることができるか。

2 6 . 1 8 赤道や山の上で、紫外線放射強度が高いのは何故か。

2 6 . 1 9 大気中に酸化炭素濃度の増加と共に、地球の平均気温が上昇し、温室効果を発生するのは何故か。

2 6 . 2 0 オゾン層の消滅が地球上の生物に惨事をもたらすのは何故か。

2 6 . 2 1 不透明な中空の球に空けた小さな穴が暗く見えるのは何故か。

2 6 . 2 2 物体の表面に入射する光放射流束は部分的に反射され、部分的に物体を通過し、部分的に物体に吸収されることはよく知られている。吸収されたエネルギーの部分はどのような変換を受けるのか。

2 6 . 2 3 物体の放射特性と吸収特性は何に依存しているのか。

2 6 . 2 4 温度 0 の黒体の放射スペクトル中の最大エネルギーはどのような波長にあるか求めよ。電磁波のスケールではそれはどのあたりにあるか。

2 6 . 2 5 黒体のスペクトル中の最大エネルギーに対応する波長は 722 nm である。放射面積は 4 cm^2 。放射能力を kW で求めよ。

2 6 . 2 6 温度 36.6 の人間からの熱放射の最大値の波長を求めよ。温度が上昇すると、この最大値はどちら側に移動するか。

2 6 . 2 7 地表面 1 cm^2 あたりに、1 秒間に平均で 0.009 J のエネルギーが降り注ぐ。何度の黒体があるようなエネルギーを放射するか。放射されるエネルギーの最大はどの波長に対応するか。

2 6 . 2 8 太陽から土星までの距離は、地球までの距離の 5.2 倍大きい。これらの惑星のうちど

ちらが太陽からより少ないエネルギーを得るか。地球の半径は $6\,300\text{ km}$ 、土星の半径は $7\,020\,0\text{ km}$ 。

26.29 太陽のスペクトルの中で最も明るい波長は 500 nm である。水星の表面を黒いものと見なし、太陽放射が惑星に作る圧力を求めよ。太陽の半径は $6.95 \times 10^8\text{ m}$ 、水星の表面までの距離は $2.28 \times 10^{11}\text{ m}$ である。

26.30 減速レントゲン放射はどの様なところが特徴か。

26.31 レントゲン線管が 50 kV で動作する。減速レントゲン放射の最小波長を求めよ。

26.32 レントゲン放射の光子のエネルギーとその透過特性はカソードの温度にどの様に依存するか。管の電圧にはどの様な依存をするか。

26.33 粒子の平均運動エネルギーは、波長 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ のレントゲン放射の光子エネルギーと、いくらの温度で等しくなるか。

26.34 レントゲン放射の光子のエネルギーは静止している電子のエネルギーとどの波長で等しくなるか。

26.35 大きなエネルギーを持っている陽子と宇宙船との衝突で何が起こるか。

26.36 レントゲン放射のどの様な性質が科学で利用されているか。技術、医学ではどうか。

第27節 電磁放射の量子的性質で説明される現象

例題92 半径 2 cm の亜鉛球を波長 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ の紫外線の光子で照射する。亜鉛からの電子の脱出仕事、光電効果の限界波長、脱出電子の最大速度、脱出電子に対応するドブロイ波長、光電効果が禁止される仕事関数、球に入射した光子数（1光子が1電子を叩き出すと見なす）を求めよ。亜鉛の脱出の仕事関数は 3.74 V 。

27.1 波長 5 nm の紫外線の光子の質量は静止電子の質量より何倍小さいか。

27.2 60 W の電球は1秒間に 3×10^{20} 個の光子を放出する。電球の平均放射周波数を求めよ。エネルギーの損失は考慮しない。得られた答えの説明をせよ。

27.3 人間の目の網膜に1秒間に入射する光子数を求めよ。 $2 \times 10^{-17}\text{ W}$ の光量で波長 500 nm の光を目は知覚するとする。

27.4 光源が1秒間に波長 555 nm の 2.795×10^{19} 個の光子を放射する。光源が放射する全光量を求めよ。

27.5 光の電磁波論では光圧をどの様に説明するか。光の量子論ではどうか。

27.6 星における光圧はその安定性にどの様に影響しているか。

27.7 星の表面温度が2倍上昇したとすると、星からの放射による光圧は何倍となるか。

27.8 光圧は彗星の尻尾の状態にどの様な影響を与えるか。

27.9 表面 2 m^2 にそれに垂直に 1 秒間当たり波長 $0.64\text{ }\mu\text{m}$ の光子が 3.87×10^{21} 個降り注ぐ。表面が鏡の場合、表面が黒い場合、表面が反射率 0.6 な場合について光圧を求めよ。

27.10 黒い表面 2 m^2 に単位時間当たり波長 $5.55 \times 10^{-7}\text{ m}$ の光子がいくら降り注ぐか。それによって生ずる光圧は $4.56 \times 10^{-6}\text{ Pa}$ である。境界及び反射率 0.8 の表面の場合、この放射による光圧を求めよ。

27.11 火星表面における太陽放射の圧力を求めよ。表面の反射率は 0.77 である。火星の半径は 6200 km 、そこにおける太陽定数は $2.62 \times 1000\text{ W/m}^2$ 。

27.12 黒い球状粒子が太陽から地球と同じ距離離れている。その太陽の引力と太陽放射の圧力が釣り合うのは粒子の大きさがいくらでか。粒子の密度は $7.8 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ 。粒子の大きさを小さくするとどの力が優勢となるか。

27.13 光の化学作用とは何か。例を挙げよ。

27.14 金属から電子が脱出するときに消費されたエネルギーは何に使われるのか。

27.15 半導体と金属における光効果の差は何か。半導体で外部光効果は可能か。

27.16 負に帯電させ、電流計に接続された亜鉛板をアーク火花の光で照射する。電流計の針が最初は 0 に戻るが、その後、再び動き出すのは何故か。

27.17 カリウムからの電子の脱出仕事は $3.55 \times 10^{-19}\text{ J}$ 。光電効果の赤外限界波長を求めよ。

27.18 銀の電子の脱出仕事は 4.3 eV 。銀表面に最低いくらの周波数の放射光が入射すると、光電効果が観察されるか。

27.19 リチウムの光電効果限界波長は $5.22 \times 10^{-7}\text{ m}$ 。リチウムからの脱出ポテンシャルを求めよ。

27.20 バリウムからの電子の脱出ポテンシャルは 2.4 V 。ニッケルからの脱出エネルギーは 4.5 eV 。可視光によるこれらの金属の照射で光電効果が起こるか。

27.21 ナトリウムからの電子の脱出仕事は $3.63 \times 10^{-19}\text{ J}$ 。可視光線でのナトリウムの照射で光電効果が起こるか。赤外線ではどうか。

27.22 波長 $1.5 \times 10^{-7}\text{ m}$ の光照射で白金表面から飛び出した電子の最大運動エネルギーを求めよ。白金からの電子の脱出仕事は 5.3 eV である。

27.23 波長 $1.9 \times 10^{-7}\text{ m}$ の光照射でタングステンから飛び出す電子の最大運動エネルギーは $3.2 \times 10^{-19}\text{ J}$ である。タングステンからの電子の脱出仕事、光電効果の限界波長を求めよ。

27.24 光電効果で照射電磁波の周波数を $1.21 \times 10^{14}\text{ kHz}$ だけ増加させたとき、阻止ポテンシャルが 0.5 V だけ増加したとして、プランク定数を求めよ。

27.25 白金の表面を波長 $1.5 \times 10^{-7}\text{ m}$ の紫外線で照射する。脱出電子の最大速度を求めよ。光電放出は阻止ポテンシャルのどのような差で禁止されるか。白金での光電効果限界波長は $2.35 \times 10^{-7}\text{ m}$ である。

27.26 波長 $4.29 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光でストロンチウムを照射すると、跳躍電子の最大速度は $3.47 \times 10^5 \text{ m/s}$ である。ストロンチウムの光電効果限界波長を求めよ。

27.27 波長 $4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光照射において、光電子放出が禁止されるために、セリウム光電素子にどれだけの電圧をかけるべきか。セリウムからの電子脱出仕事は 1.3 eV 。

27.28 波長 200 nm の紫外線光照射で、電子がセリウムの表面から出てこないために、どれだけの正の電圧までセリウムの表面を帯電させる必要があるか。セリウムでの電子脱出ポテンシャルは 1.93 V である。

27.29 波長 $4.0 \times 10^{-8} \text{ m}$ の光で真空中におかれた半径 2 cm の銅球を照射したとき、球は最大どれだけ帯電するか。銅での電子の脱出ポテンシャルは 4.47 V 。

27.30 エネルギーが脱出仕事より小さい光子の照射で、外部光電効果は可能か。

27.31 自由電子とのコンプトン散乱の後、波長 λ_0 の光子は最初の方角と逆向きに動く。散乱後の光子の波長を求めよ。

27.32 光子が電子との相互作用した後、衝突するまでの方向と同じ方向に動いたとすると、光子の波長はどれだけ変化するか。この時光子の速さは変化するか。エネルギーはどうか。

27.33 光子と自由電子との相互作用における運動量保存式とエネルギー保存式を記述せよ。束縛電子との場合はどうか。

27.34 電子のコンプトン波長は光子のエネルギーと運動量に依存するか。

27.35 レントゲン放射の量子と電子の衝突において、コンプトン効果はどの様に現れるか。

27.36 波長 $8.2 \times 10^{-11} \text{ m}$ のレントゲン線がパラフィンでコンプトン散乱を受ける。初期方向と 60° の方向に散乱したレントゲン線の光子の波長を求めよ。

27.37 運動している粒子や物体はドブロイ波長と関係がある。速さ 10000 km/s の電子のその波長を求めよ。陽子の場合、その波長はどれくらいの速さで同じとなるか。

27.38 速さ 60 km/h 、質量 1.5 t の自動車に関係するドブロイ波長を求めよ。我々が運動している物体の波動的性質に気がつかないのは何故か。

27.39 電子顕微鏡が光学顕微鏡より大きな分解能を有しているのは何故か。

第28節 特殊相対性理論の基礎

例題93 静止している観測者に相対速度 $v = 0.99c$ でロケットが動く (c は真空中での光速)。運動しているロケット内の時計が1年を経過したとすると、観測者での時計はどれだけ進んだか。静止している観測者にとってロケット内の物体の長さは運動方向にどの様に変化するか。この観測者にとってロケット内の物質の密度はどう変化するか。

例題94 静止している観測者に対して、2台のロケットが速さ $v_1 = v_2 = 3c/4$ で、向かい合っ

例題 9 5 電子が速度 $0.80c$ で動く。電子の静止質量はおおよそ $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 。静止している電子のエネルギー（J 単位と eV 単位で）、電子の質量、その全エネルギーと運動エネルギーを求めよ。

2 8 . 1 「観測系」という概念はその中に何を含んでいるか。

2 8 . 2 慣性系と非慣性系はどこに違いがあるか。

2 8 . 3 地球と結びついた観測系はいつでも慣性系と見なせるか。

2 8 . 4 ガリレオが相対性原理を公式化したのはいつか。その本質は何か。

2 8 . 5 静止しているエレベータ内で、質量 m の荷物を人が高さ h 持ち上げる。エレベータが等速度運動していると、人のなす仕事は変化するか。

2 8 . 6 慣性系 K に相対的に静止している質点の状態が座標 $x = 200 \text{ m}$ 、 $y = 5 \text{ m}$ 、 $z = 15 \text{ m}$ で定まっている。系 K' は系 K に相対的に x 方向に速さ $v_x = 20 \text{ m/s}$ で等速直線運動している。軸 x' は軸 x と一致し、軸 y' は系 K の対応する軸 y と平行である。時刻 0 の時、 O と O' は一致している。時刻 $t_1 = 0$ 、 $t_2 = 5 \text{ 秒}$ 、 $t_3 = 15 \text{ 秒}$ の時の、 K' における質点の座標値を求めよ。

2 8 . 7 慣性系 K 、 K' は問題 2 8 . 6 で示したような位置関係にある。系 K' は相対的に系 K に速度 $v_x = 10 \text{ m/s}$ で、 x の正方向に運動する。系 K' で計測の開始から 20 秒経過した後の座標が $x'_1 = 100 \text{ m}$ 、 $y'_1 = 0$ 、 $z'_1 = 0$ ； $x'_2 = -200 \text{ m}$ 、 $y'_2 = 0$ 、 $z'_2 = 0$ ； $x'_3 = -300 \text{ m}$ 、 $y'_3 = 20 \text{ m}$ 、 $z'_3 = 15 \text{ m}$ の時、系 K での質点の座標を定めよ。

2 8 . 8 慣性系 K で相対的に静止している質点の状態が $x = 400 \text{ m}$ 、 $y = 25 \text{ m}$ 、 $z = 12 \text{ m}$ で定まっている。最初 $t = 0$ で、系 K と慣性系 K' の座標は一致している。 $t = 50 \text{ 秒}$ の時、系 K' に相対的な質点の状態が座標 $x' = 150 \text{ m}$ 、 $y' = 25 \text{ m}$ 、 $z' = 12 \text{ m}$ の時、 K' は x の正値方向にどれだけの速さで運動しているか。

2 8 . 9 古典力学における速度合成式を記述せよ。この式を利用し、地球に相対的に速さ $v_1 = 30 \text{ m/s}$ 、 $v_2 = 20 \text{ m/s}$ でお互いに向き合って運動している 2 台の自動車はどれだけの相対速度で運動しているか、定めよ。提示したと同じ速さで、今度は 2 台とも同じ方向に運動しているとすれば、相対速度はどうなるか。

2 8 . 10 ボートが水の流に垂直に速さ 4 m/s で動く。川の流の速さが 3 m/s の時、岸に相対的にボートはどれだけの速さで動くか。

2 8 . 11 漕ぎ手の努力により、ボートは速さ $v_1 = 4 \text{ m/s}$ で、水の流の方向と角度 60° をなす方向に動く。川の流は $v_2 = 3 \text{ m/s}$ として、岸に相対的なボートの速さを求めよ。

2 8 . 12 物体の速度は観測する慣性系の運動速度に依存するか。光速はどうか。

2 8 . 13 慣性系 K' と静止している慣性系 K は問題 2 8 . 6 と同じように配位している。系 K' は系 K に相対的に $v_x = 0.8c$ で x の正の方向に動く。ローレンツ変換を利用し、 K 系で事象の座標が 1) $x = 0$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0$ 、 $t = 0$ 2) $x = 3.0 \times 10^8 \text{ m}$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0$ 、 $t = 1 \text{ s}$ 3) $x = 3.0 \times 10^8 \text{ m}$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0$ 、 $t = 5 \text{ s}$ の時、 K' 系での事象の座標を求めよ。

2 8 . 14 質点が慣性系 K に相対的に静止している。慣性系 K' は K に相対的に速さ $v_x = 0.8c$ で x の正値の方向に動く。軸 x と x' は重なり、 y と y' 、 z と z' は各々平行である。最初 $t =$

0で原点OとO'が一致している。ローレンツ変換を適用して、K'系で質点の座標が $x' = 6.0 \times 10^3 \text{ m}$ 、 $y' = 2.0 \times 10^2 \text{ m}$ 、 $z' = 1.5 \text{ m}$ 、 $t' = 2.0 \times 10^{-5} \text{ s}$ の時、K系における質点の座標を求めよ。

28.15 2点A, Bの中間に位置する静止している観測者Iが同時刻にA, Bに落ちた雷を見た(図参照)。とに静止している観測者にとってもこれらの事象は同時刻か。さらに、点A, Bに相対的に静止しているどの様な観測者にとって、点A, Bでの事象は同時刻か。

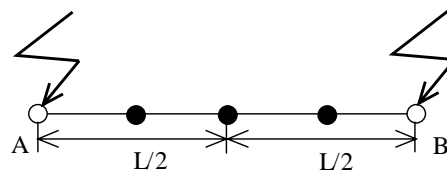


図28.15

28.16 等速直線運動をしている列車の中間部分が、プラットフォームの中央に立っている観測者の傍を通過する瞬間に、プラットフォームの両端で信号灯AとBが同時に点灯するのを、観測者が観察した(図参照)。動いている列車の中央にいる観測者にとって、これらの事象は同時に起こるか。

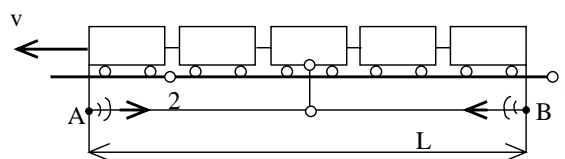


図28.16

28.17 問題28.16の条件を考慮に入れて、観測者にとって、観測者が点1にいたとき、どちらの信号灯が早く点灯するか。点Bに居たときではどうか。点2ではどうか。点AとBからの光が同時に自分に到達するためには、信号灯が点灯した瞬間に観測者はどこにいないければならないか。

28.18 1つの観測慣性系で同時である事象が全ての他の慣性系でも同時であることは可能か。

28.19 棒の固有長とは何か。異なる観測慣性系でそれは同じか。観測系と関連しない「棒の長さ」の概念は意味があるのか。

28.20 棒の固有長が1.0 m。棒に沿った方向に速さ0.6 cで相対的に棒が移動している観測者における棒の長さを求めよ。

28.21 棒が、棒の軸方向に、相対的に速さ4 c / 5で動いていると見る観測者において、棒の長さは固有長のどれだけ変化するか。

28.22 運動している物体の長さの相対的短縮が1%となるのは幾らの速さでか。5%ではどうか。

28.23 運動方向に、静止している観測者に相対的に $v = c$ で動く物体の長さはどうなるか。

28.24 荷電量Qを持つ平板空気コンデンサが速さvで動く。関係 v / c は無視できないものとし、以下の場合コンデンサの荷電量、電極間電圧、コンデンサ内の電界の電界強度を求めよ。1) 速度ベクトルが電極板に垂直。2) それに平行。

28.25 2台のロケットが地球に対して相対的に速さ0.6 cで同じ方向に平行に等速直線運動している。1台のロケット内で、2つの連続した事象が時間間隔8時間で発生する。2台目のロケットに乗っている観測者の時計ではこれらの事象の時間間隔はどうなるか。地球にいる観測者の時計ではどうか。

28.26 宇宙線の粒子 μ 中間子は大気の上層で発生する。速度0.995 cで、この粒子は自己崩壊まで距離6000 mを飛行することができる。地球の観測者の時計での μ 中間子の寿命、粒子の

固有寿命、 中間子自身での固有経路長、を求めよ。

28.27 慣性系に静止している時計で1時間が経過したとすると、この慣性系に相対的に速さ v で等速直線運動をしているロケット内の時計はどのような時間を刻むか。ロケットの速さを 3000 km/s 、 10^5 km/s 、 $2.5 \times 10^5 \text{ km/s}$ とする。

28.28 地球に相対的に速さ $0.99c$ で運動しているロケット内で10年が経過したとすると、地球ではどれだけの時間が経過するか。

28.29 速さ $0.99c$ のロケットに乗って星まで往復する宇宙飛行士と、地球の観測者にはどれだけの時間が経過するか。地球の観測者から星までの距離は40光年とする。

28.30 大気上層で生成した μ 中間子は自己崩壊まで 5 km 飛行する。この粒子の固有寿命が $2.2 \mu\text{s}$ として、粒子の飛行速度を求めよ。

28.31 μ 中間子の固有寿命は $2.2 \mu\text{s}$ である。地表で観測される μ 中間子は宇宙から来るのか、それとも地球大気で生まれるのか定めよ。地球に相対的な μ 中間子の速さは $0.99c$ である。

28.32 2つの物体が、静止している観測者に相対的に、速さ $2.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ で向かい合って動いている。古典的速度合成則と相対論的速度合成則に従って計算されるそれら2つの物体間の相対速度はどう異なるか。

28.33 静止している観測者に導体的に2つの電子が速度 $0.9c$ 、 $0.8c$ で1直線上を運動する。一方向に動くとき、それらの間の相対速度はどうなるか。お互いに逆方向に動く時ではどうか。

28.34 2つの粒子が速さ $v_1 = v_2 = 0.8c$ で、向かい合って飛んでいる。静止している観測者から見て、それらが 1.2 km だけ近づくのはそれだけの時間必要か。粒子の相互作用は考慮しない。

28.35 静止している光源に向かって飛行機が速さ v で近づく。光源から放射された光子と飛行機はどれだけの速さ u で近づくか。

28.36 2つの光子がともに、静止している観測者に相対的に速さ c で運動しているならば、それらの光子はどれだけの速さで近づいているか。古典的な速度合成則からはどのような答えが得られるか。

28.37 ある媒質において、光速度を越える速さで電子が動くことができるか。

28.38 一定の力の作用のもとで、物体の加速度は、光束に近い速度では一定となるのであろうか。

28.39 運動速度に対する質量の依存性を考慮して、どのような速度で、物体の質量を一定と見なせるか調べよ。ニュートン力学はどのような速度で正しいか。

28.40 粒子が静止している観測者に相対的に、 $3c/4$ の速さで動く。この粒子の質量はその静止質量よりどれだけ大きいのか。

28.41 静止質量 1 kg の物体が速さ $2.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ で動く。この物体の質量を静止している観測者として定めよ。

28.42 静止している観測者の視点から質量が 4 kg である物体はどれだけの速さで動いているか。この物体の静止質量は 2.4 kg である。

28.43 物体が静止している観測者に相対的に速さ v で動いている。運動方向に沿った物体の大きさは、その質量は、物質の密度は、この観測者にとってどの様に変化するか。物体と共に動く観測者にとってこれらの量は変化するか。

28.44 速さ $4c/5$ で動いている電子はどれだけの運動量を持っているか。電子の静止質量は $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 。

28.45 静止している 粒子の質量に等しい質量の陽子の運動量を求めよ。この運動量を獲得するためには、どれだけのポテンシャル差で陽子を加速しなければならないか。

28.46 静止質量 m_0 の 2 つの物体が静止している観測者に相対的に速さ v で向かい合って運動している。これらの物体の 1 つに静止している観測系から見た各々の物体の運動量を求めよ。

28.47 静止している電子と陽子のエネルギーを求めよ。それを J と eV の単位で表記せよ。

28.48 加速の結果として、その質量が $2m_0$ だけ増加したとすると、以前に静止している物体はどれだけの運動エネルギーを書くとしているか。物体の全エネルギーはいくらか。その運動量はいくらか。

28.49 どの様な速さで、粒子の運動エネルギーはその静止エネルギーと等しくなるか。

28.50 ??? 不安定粒子の運動エネルギーが 35 MeV である。その静止質量が 0.15 au に等しいならば、粒子の半崩壊周期はどれだけ大きくなるか。

28.51 加速器が陽子を 70 GeV の運動エネルギーまで加速する。陽子の速さはいくらか。その質量は何倍となるか。

28.52 動いている電子の質量が 1.1 倍静止しているときの質量より大きい。電子の運動エネルギーとその運動量を求めよ。

28.53 運動方向の長さが 2.5 % 短縮するように、質量 m_0 の物体が動く。全エネルギー、運動エネルギーを求めよ。

28.54 電子の運動エネルギーが静止エネルギーの 1.0 倍となるためには、最初静止している電子はどれだけの加速電界ポテンシャル差を通り抜けなければならないか。

28.55 陽子の全エネルギーが静止エネルギーの 1.1 倍大きくなるためには、最初静止している陽子はどれだけのポテンシャル差を通り抜けなければならないか。

28.56 陽子と 粒子が静止している状態から、同じ加速ポテンシャルの中を通り抜ける。その後、陽子の質量は 粒子の質量の 3 分の 1 となる。ポテンシャル差を求めよ。

28.57 振動数 $5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ で放射する光子はどれだけの運動量を持っているか。

28.58 波長 600 nm の光子の運動量を求めよ。この光子の質量はどうか。

28.59 真空の引力場で、光子が動く。この時光子の速さは変化するか。そのエネルギーはどうか。

28.60 運動量が $1.65 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ である光子の波長と振動数を求めよ。

28.61 1.00 g の物質が電磁場への完全な変換においてどれだけのエネルギーが放出されるか（物質の相変化）。

28.62 1時間当たり、 2.5 GW の電力を出力する発電所において、エネルギーはどれだけの質量変化に対応するか。

28.63 地球大気上層表面において、太陽光に垂直な単位面積当たり、単位時間当たり 1.37 kJ の太陽放射が降り注ぐ。単位時間に太陽が放射するエネルギー、その時間内で太陽が消費する質量を求めよ。太陽から地球までの距離は $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ とする。

第5章 原子物理と原子核

第29節 原子の構造

例題96 基底状態にある水素原子の大きさ(半径)と軌道上の電子の運動速度を求めよ。核に一番近い軌道にある電子はどれだけのポテンシャルエネルギー、運動エネルギー、全エネルギーを持つか。エネルギー 16.5 eV の光子で基底状態にある水素原子から弾き出された電子はどれだけの速さを持つか。

例題97 ボーアの理論を適用し、リュドベリ定数を求めよ。

29.1 ラザフォードのどのような基本実験をもとに原子の惑星モデルの結論に至ったのか。

29.2 ラザフォードの原子モデルと古典物理学の間にある矛盾は何にあるのか。加速器中や原子中の電子の運動に関する古典力学の法則は守られるのか。

29.3 基底状態にある原子はエネルギーを吸収することができるのか、エネルギーを放出することができるのか。励起状態にある原子ではどうか。

29.4 加速器中の電子において、電磁放射の周波数は電子の運動周波数に依存するのか。核の周りの電子の回転周波数に依存するのか。

29.5 ボーアの理論によれば、水素原子の放射周波数は何で決まるのか。

29.6 基底状態にある原子は励起状態にある原子とどこが違うのか。

29.7 吸収及び放出の原子スペクトルは何故線スペクトルなのか。

29.8 水素原子中の電子が3番目のエネルギー順位にある。放射量子は電子のどのような遷移で条件づけられるか。それらはどの様に異なるか。

29.10 外殻への電子の遷移において、励起電子はどのような放射を作るか。内殻遷移ではどうか。

29.11 ヘリウムの原子はレントゲン線を放射することができるか。ストロンチウムではどうか。

29.12 レントゲン線の特異スペクトルが線スペクトルなのは何故か。荷電数 Z が相加すると、それはどの様に変化するか。

29.13 水素原子において、第1ボーア軌道の半径、その軌道上での回転振動数と周期を求めよ。

29.14 電子に関するボーア軌道半径とドブロイ波長はこの軌道上でどのような関係があるか。

29.15 水素原子において、第1電子軌道への電子の遷移で放射の最大値と最小値を求めよ。

29.16 水素原子において、第2電子軌道への電子の遷移で、放射の波長の最小値と最大値を求めよ。

29.17 水素原子において、第5電子軌道における電子のエネルギーを求めよ。

29.18 励起されていない水素原子のイオン化に必要なエネルギーを、J及びeV単位で求めよ。

エネルギー 15.29 eV の光子の作用により励起されていない水素原子中にある電子はどれだけの速度を得るか。

29.19 ??? 定常状態にあるイオン化された水素原子の遷移に伴って発生する放射の波長を求めよ。

29.20 水素原子の入っている放電管からの光が格子定数 0.0055 nm の回折格子に垂直に入射している。5 次スペクトル中に角度 36.35° にスペクトル線が見られた。水素原子中の第 2 軌道に遷移した電子の軌道番号を求めよ。

29.21 蛍光放射と熱放射の違いは何か。

29.22 蛍光放射のどのような特性が他の全ての放射と異なっているのか。

29.23 分子による光吸収において、吸収された量子のエネルギーはしばしば電子雲の構成の変形に、時には原子核の振動の変化に、分子の回転運動のエネルギーに、使われる。これらのエネルギーのうち分子によって放射されるのなど何か。どれが内部エネルギーに移行するのか。

29.24 波長 770 nm の赤い色は光放出を引き起こすことができるか。

29.25 発光スペクトル解析はどの点で優れているか。

29.26 励起原子における自発放射と強制放射の違いは何か。それらのどちらが量子発生器 (= レーザー) に利用されるのか。

29.27 光学レーザーの放射はどのような性質を持っているか。

第 30 節 核物理

例題 98 ラジウム 226 の鉛 206 への変換の結果、何回の α 崩壊と β 崩壊が起こるか。

例題 99 半減期 7000 年のトリウム 229 が 2.29 mg ある。7 昼夜でどれだけの原子が放射性崩壊をするか。

例題 100 リチウム 7Li の原子核が運動エネルギーの無視できる陽子を捕らえて、2 つの同型の核に分裂した。核反応式を記述せよ。この過程での質量欠損とエネルギーを求めよ。

30.1 太陽の半径は $6.95 \times 10^5 \text{ km}$ 、平均密度は 1410 kg/m^3 である。原子核の密度は $2.14 \times 10^{11} \text{ kg/m}^3$ である。太陽の密度がこの様であったとすると、その半径はどうなるか。

30.2 1913 年に、アメリカ人学者ファヤンスとソヂーが独立に、 α と β 崩壊において元素の周期系で核種 (原子核) の転移を特徴づける転移法則を公式化した。1 回の崩壊後、メンデレーフの周期表で化学元素の状態はどう変化するか。崩壊ではどうか。

30.3 原子核が陽子と中性子だけでできているならば、崩壊において電子をどこから持ってくるのか。

30.4 トリウム $^{232}\text{Th}_{90}$ の原子核は 3 回の α 崩壊と 2 回の β 崩壊を受ける。核種の通し番号と質量数を求めよ。それは何の原子核か。

30.5 ウランの同位元素 $^{233}\text{U}_{92}$ は6回の崩壊、3回の崩壊青した後、何に変わるか。

30.6 結果として、ウラン238が鉛の同位元素206に変換するとき、崩壊と崩壊の回数を求めよ。

30.7 放射性元素の物質が放射性変換で、5つの粒子と4つの粒子を失い、鉛の同位元素 $^{206}\text{Pb}_{82}$ に変換した。親の放射性元素を見つけよ。

30.8 人工的に作られた放射性同位元素ネプチューン $^{237}\text{Np}_{93}$ は崩壊により最終的にビスマス209となる。崩壊の回数を求めよ。

30.9 トリウム232が鉛の同位元素208に変換するためには、崩壊と崩壊を何回行わなければならないか。

30.10 問題30.9において、連続した核変換は次の通りである。1回の崩壊、2回の崩壊、5回の崩壊、2回の崩壊。全ての核反応式を記述せよ。

30.11 原子核による量子の放出は元素の化学的性質に影響するか。

30.12 半減期 $T_{1/2}$ と崩壊定数 λ は $T_{1/2} = 0.693 / \lambda$ の関係がある。 $\lambda = 1.3564742 \times 10^{-11} \text{ Be}$ ($\text{Be} = 1 \text{ 回の崩壊 / 秒}$)として、ラジウム226 ($^{226}\text{Ra}_{88}$)の半減期を求めよ。

30.13 水素の放射性同位元素トリチウムの半減期は12.3年である。崩壊定数とトリチウムの平均寿命を求めよ。

30.14 放射性元素の平均寿命に等しい時間で初期放射性元素のどれだけの割合が崩壊するか求めよ。

30.15 鉄の放射性同位元素 $^{55}\text{Fe}_{26}$ の半減期は2.9年である。添付のグラフを用い、未だ崩壊していない原子が4分の1となる時間を求めよ。

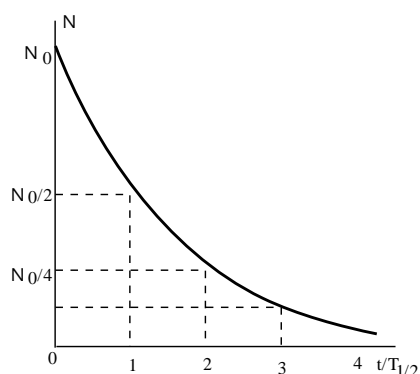


図30.15

30.16 放射性セシウム137 $^{137}\text{Cs}_{55}$ の半減期を求めよ。3/4年間で崩壊した核の割合は0.0173である。

30.17 半減期が28年である放射性ストロンチウム $^{90}\text{Sr}_{38}$ は1年でどれだけの割合が崩壊するか。崩壊定数を求めよ。

30.18 放射能と呼ばれる放射性崩壊の速さは公式 $A_0 = N_0 \ln 2 / T$ で求めることができる。半減期が30年の放射性同位元素セシウム137を1gとる。この最初の放射能を求めよ。 $\ln 2 = 0.69$ 。

30.19 放射能が104 MBqである試料では、1分間当たり何個の核が崩壊するか。

30.20 一定の放射能8.2 MBqを持つ試料において、 2.5×10^8 個の核が崩壊するのはどれだけの時間か。

30.21 放射性物質の放射能 A は 1 秒間に崩壊する核数で示される、古代の製作品の年齢を定めよ。その中の炭素の同位元素 ^{14}C の放射能は、切り倒された時点での木の中のこの同位元素の放射能の 0.8 である。炭素 14 の半減期は 5568 年である。

30.22 レムとは何か。

30.23 泉源によって作られる線量の強度は距離にどの様に依存するか。

30.24 チェレンコフ - バビロフ光が生起する水中での電子の速さを求めよ。光推の頂点での角度は 100° 。

30.25 水中を速さ $2.72 \times 10^8 \text{ m/s}$ で運動する電子が、チェレンコフ - バビロフ光を生成する。水中での光推の頂点の角度を求めよ。

30.26 ガイガー計数器の動作は何を基礎としているか。

30.27 泡箱は何に使用されるのか。その動作は何を基礎としているか。

30.28 電子と陽電子の消滅において、ガンマ線が生成する。この時生成する 2 つの量子のエネルギー、放射の振動数、移動に相対的なその方向、を求めよ。

30.29 原子核の近傍を飛行中に、電子 - 陽電子対を生成するために、量子はどれだけ最低の振動数とエネルギーを持っていなければならないか。

30.30 同位元素の分離のための質量分析器の動作は何を基本にしているのか。

30.31 原子核の質量欠損とは何のことか。

30.32 $^7\text{Li}_3$ の質量欠損を原子質量単位と kg で計算せよ。

30.33 静止電子の質量と 1 原子質量にエネルギー的に等価な量を求めよ。

30.34 2 つの陽子間、2 つの中性子間、陽子と中性子間に作用している力は同じものか。これらのうちどれが出現するのか。

30.35 原子核のエネルギー結合とは何か。それは何に等しいか。

30.36 リチウム $^7\text{Li}_3$, 亜鉛 $^{64}\text{Zn}_{30}$, ウラン $^{233}\text{U}_{92}$ の原子核結合エネルギーを求めよ。

30.37 問題 30.36 での核子に対して、エネルギー結合比を求めよ。軽い原子核から、中間および重い原子核へと向かうに従って比エネルギー結合はどの様に变化するか。

30.38 重い原子核において比結合エネルギー E/A は質量数 A の増加と共に減少するのか。

30.39 鉄 56 とウラン 238 の結合エネルギーは各々 492.2 MeV 、 1801.7 MeV である。これらのうちどちらが安定か。

30.40 ラザフォードの実験で、粒子は窒素の原子核に吸収される。結果として、炭素 17 の同位元素と自由陽子が形成される。核反応式を記述し、分裂或いは吸収によってそれが放出するエネ

ルギーを求めよ。このエネルギーは何に等しいか。

30.41 2つの重水素の原子核からヘリウムの原子核 ${}^4\text{He}_2$ の生成で、 23.8 MeV のエネルギーが放出される。この時、できた原子核の質量はどれだけ減っているか。

30.42 反応 ${}^{12}\text{C}_6 + \text{h} \rightarrow 3({}^4\text{He}_2)$ を起こすためには、量子は最低どれだけのエネルギーを持っていなければならないか。

30.43 核反応 ${}^9\text{Be}_4 + {}^4\text{He}_2 \rightarrow ({}^{13}\text{C}_6) + 3({}^4\text{He}_2) + {}^1\text{n}_0$ において、どれだけのエネルギーが吸収されるか。

30.44 反応 ${}^6\text{Li}_3 + ? \rightarrow 2({}^4\text{He}_2)$ の過程において、式を完全に記述し、放出されるエネルギーを求めよ。

30.45 自然界にはどのような核燃料が存在するか。

30.46 ウランの反応で、質量数239のネプチューンの同位元素が電子を放出する。核反応式を記述せよ。

30.47 核反応を利用した核燃料の例を提示せよ。

30.48 核反応において、グラファイトや水はどのような役割をしているのか。

30.49 1 MW を出力するためには、1秒間にウラン235の原子核は幾らの分裂をしなければならないか。

30.50 原子核反応において核分裂の連鎖反応の制御はどのような方法で実現されるのか。

30.51 出力 5 MW の原子力発電所において、ウラン235の核燃料は一昼夜にどれだけ消費されるか。ウランの1回の分裂で放出されるエネルギーは 20 MeV である。

30.52 原子力発電所で1台の 1000 MW は効率 31.2% で作動している。1年間休みなく運転してどれだけのウラン235が消費されるか。ウラン原子235の1回の分裂でおおよそ 200 MeV のエネルギーが放出されるものとする。

30.53 核の連鎖反応と熱核反応の間の相違はどこにあるか。各々はどこで実現されているか。

30.54 熱核融合に軽い原子核が利用されるのは何故か。

30.55 熱核融合の実現のため何故高温度を作る必要があるか。

30.56 熱核融合の例として、水素の同位元素である重水素とトリウムの融合がある。この反応式を記述し、そこで放出されるエネルギーを計算せよ。

第6章 天文学に関する一般知識

第31節 天文学の若干の問題

例題101 太陽と星 デバの絶対等級を求めよ。この星までの距離は47.7 pc、見かけの等級は12.1。太陽の見かけの等級は26.8。太陽の光度よりこの星の光度は何倍大きい。

例題102 星のスペクトルの中に、水素の赤い線が0.02 nmだけ紫外方向に変移していることがわかった。水素の赤い線の研究室での(通常の)波長は6563 nmであることを考慮し、スペクトル写真で1 mmの距離は波長5.0 nmの変移に相当するのとし、この波長はどれだけ変化しているか求めよ。

例題103 質量500 kgの人工衛星を高度3200 kmに打ち上げるためにはどれだけのエネルギーを出さなければならないか。人工衛星はその高度の円形軌道に投入する。

31.1 天球で星の相互配位に関して視角計測だけで判断できるのは何故か。図で答えよ。

31.2 地上での望遠鏡観測より、人工衛星に設置された装置で行われる天体観測の優れたところはどこにあるか。

31.3 水平線の南側に下を向けている北半球の観測者には、星、太陽、月、惑星の一昼夜の運動はどの方向に行われるか。

31.4 君の地域で水平線の向こうに去らない星座の一覧表を観測で調べなさい。星座の運動図を使用して妥当性を確かめよ。

31.5 天球で最も明るい星、北半球でもとも明るい星は何というか。それらなどのような星座に属しているか。

31.6 天球における天体の位置は2つの座標で決められる。赤緯（赤道からの天体の傾斜角度。これは地理学的緯度に似ている。）と赤経（赤道においてみた春分点から天体の傾斜角度。これは地理学的経度に似て時間単位で計測される。）である。天体移動図を用いて、星座テーレツ、ボズニーティ、リル中の最も明るい星の赤緯と赤経を概算で求めよ。得られた結果を表と比較し、天空に星座の一覧を見出す試みをせよ。それらの星は何と呼ぶのか。

31.7 星座移動図で、座標20時39分、-45°に最も明るい星を持っている星座を見いだせ。

31.8 星座移動図を使い、アンドロメダ座の中にあり、天空では雲のシミのように見える私たちに最も近い銀河の座標を求めよ。

31.9 地域の地理学的緯度を確認の上、君の所では天頂からどれだけの距離に天の極があるか求めよ。モスクワの緯度が $\varphi = 55^\circ 45'$ ならば、モスクワでの答えはどうなるか。

31.10 君の観測点では、11月15日22時には天頂をどの様な星座が通過するか。(モスクワの緯度は $\varphi = 55^\circ 45'$)

31.11 黄道とは何か。赤道に対してそれはどれだけ傾いているか。

31.12 どの様な星座が、獣帯星座と呼ばれるか。どれだけあるか。それらの名前は何か。

31.13 夏至の日の太陽の座標はどうか。冬至ではどうか。

- 31.14 夏至に日(6月22日)に、太陽の赤経と赤緯は6時と $+23^{\circ}27'$ である。この日、太陽は何という星座の中にあるか。
- 31.15 冬至(12月22日)には太陽は何という星座の中にあるか。問題31.13での解答を利用せよ。
- 31.16 天体の子午線通過(南中)とは何か。上子午線通過での天体の高度が h 、傾斜が観測点の地理学的緯度が ϕ はどの様公式が関係づけているか。
- 31.17 夏至の日、冬至の日に、モスクワでの太陽中心の正午の高さを求めよ。
- 31.18 北極圏($\phi = +66^{\circ}33'$)において、子午線通過時の星デネブの天頂距離と高度を求めよ。
- 31.19 船の位置の地理学緯度を求めよ。正午、太陽中心の高度は $84^{\circ}5'$ 、その赤緯は $18^{\circ}39'$ である。
- 31.20 どのような地理学的緯度から始めて、夏に太陽は沈まなくなるか。
- 31.21 地理学的緯度 $51^{\circ}15'$ から始めて、星ベガは沈まなくなる。その赤緯を求めよ。
- 31.22 春分と秋分の日の子午に、太陽は天頂のどこにいるか。
- 31.23 月の水平示唆は $p = 57'$ 。地球半径を 6370 km とし、地球から月までの距離を求めよ。
- 31.24 月が近地点にあり、月から地球までの距離が $3.63 \times 10^5\text{ km}$ のとき、月の水平視差を求めよ。
- 31.25 太陽の半径は地球の半径の何倍か。太陽の水平視差は $8''$ 、 $794''$ 、太陽半径の平均視角は $16''$ である。
- 31.26 我々に最も近い星ケンタウルスまで、距離は $4/3\text{ pc}$ である。 $1\text{ 天文単位} = 1.5 \times 10^8\text{ km} = 0.4845 \times 10^{-5}\text{ pc}$ とし、星までの距離を km で表記せよ。
- 31.27 水平視差を用いて星までの距離を決めてはいけないのは何故か。
- 31.28 年収視差とは何か。それを使って星までの距離 D をどのようにして決めるのか。
- 31.29 問題31.26の結果を用い、我々に一番近い星 ケンタウルスの年収視差を求めよ。
- 31.30 星バルナードまでの距離は 1.83 pc 。その年収視差はいくらか。
- 31.31 シリウスの年収視差は $0.375''$ 。星から地球まで光はどれくらい時間がかかるか。
- 31.32 何を恒星年というのか。月に対するその長さはいくらか。
- 31.33 朔望月とは何か。月に対するその長さはいくらか。

3 1 . 3 4 月の朔望月はその恒星月よりおよそ 2 昼夜長いことは何で説明されるか。

3 1 . 3 5 月の完全月蝕の時、月が微かに見える。これは何故か。

3 1 . 3 6 完全月蝕の時、月は赤みがかっている。何故か。

3 1 . 3 7 月で温室効果が発生するか。

3 1 . 3 8 任意の惑星の軌道は楕円であり、その焦点のひとつに太陽が位置している、というケプラーの第 1 法則がある。太陽から 1 天文単位の所にある天体の速度が動経ベクトルに大きくなったとしたら、軌道形状はどの様に変化するか。

3 1 . 3 9 惑星の軌道ベクトルは同じ時間間隔では、等しい面積を描く（ケプラーの第 2 法則）はよく知られている。軌道ベクトルに垂直な地球の速度は、遠日点と近日点ではどちらの方が大きいのか。

3 1 . 4 0 惑星冥王星の恒星周期は 2 4 8 . 4 年である。この惑星から太陽までの平均距離を求めよ。

3 1 . 4 1 ケプラーの第 3 法則は、太陽の周りを回る惑星の回転周期とその星から太陽までの平均距離の間に次のような関係で示される。 $(T_1)^2 / (T_2)^2 = (a_1)^3 / (a_2)^3$ 。ここで、 T_1 、 T_2 は 2 つの任意の惑星の周期、 a_1 と a_2 はそれらの惑星から太陽までの平均距離である。惑星の 1 つが地球であれば、 $T_1 = 1$ 年、 $a_1 = 1$ 天文単位なので、ケプラーのこの法則は $(T_2)^2 = (a_2)^3$ の形式で記述される。この関係を利用し、太陽からどれだけの平均距離に金星と天王星が位置するか求めよ。各々の星での 1 年はそれぞれ 0 . 6 2 地球年、8 4 . 0 1 8 地球年である。距離を天文単位と km で表記せよ。

3 1 . 4 2 太陽までの距離は地球の場合より 1 . 5 2 4 倍大きいとして、火星での 1 年の長さを地球年で求めよ。

3 1 . 4 3 地球は半径 6 4 0 0 km の球と見なして地球の体積が出せる。地球の平均密度を求めよ。地球の質量は $6 . 0 \times 10^{24}$ kg とする。

3 1 . 4 4 地球と月の平均密度はおおよそ $3 5 0 0 \text{ kg/m}^3$ 、 $5 5 0 0 \text{ kg/m}^3$ である。地球の表層の平均密度は $3 0 0 0 \text{ kg/m}^3$ である。地球と月の内部構造の差はどのようなものか。

3 1 . 4 5 万有引力の法則を基礎にしてより正確なケプラーの第 3 法則は太陽の質量と衛生を持つ任意の惑星質量との間の関係を定めることに用いることができる。例えば地球では、

$$T_E^2 (M_S + m_E) / ((T_M^2 (m_E + m_M))) = a_E^3 / a_M^3$$

地球の質量は太陽の質量に比べて小さく、月の質量は地球の質量と比べると小さいことを考慮すれば、この法則は次の形式で書き下せる。

$$M_S / m_E = (a_E / a_M)^3 / (T_M / T_E)^2$$

地球から月までの平均距離を $3 8 4 0 0 0 \text{ km} = 2 . 5 6 \times 10^{-3}$ 天文単位、月の回転周期を $2 7 . 3$ 昼夜 = 0 . 0 7 5 年とみなし、地球の質量に対して太陽の質量を求めよ。

3 1 . 4 6 太陽の質量は地球の質量の 3 3 3 0 0 0 倍大きく、半径は 10^9 倍大きい、太陽の平均

密度を求めよ。

31.47 巨大惑星の平均密度は $700 \text{ kg/m}^3 \sim 1300 \text{ kg/m}^3$ である。これらの惑星の化学成分について何を予想することができるか。

31.48 太陽や星ができている物質の平均密度はおおよそ 1400 kg/m^3 であるとするば、理想気体の方程式を太陽や星、それらに似た星に適用できるか。

31.49 太陽や多くの星の物質は圧倒的に完全にイオン化した水素原子からできている。その分子質量はどうなるのか。

31.50 太陽の内部エネルギーを算出せよ。その質量は $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ 、温度は $1.6 \times 10^7 \text{ K}$ である。

31.51 水素が高温プラズマ状態で存在できる最低温度はいかほどか。

31.52 太陽の中心層における密度と圧力は各々 $1.5 \times 10^5 \text{ kg/m}^3$ と $4.0 \times 10^{10} \text{ MPa}$ であることを適用し、太陽の中心の温度を算出せよ。

31.53 どの様な天体が点光源に適しているか。何故か。

31.54 天体の輝きとは何か。

31.55 裸眼と比較して、望遠鏡は観測対象物の倍率において有効性がない。それなのに、何故望遠鏡が星の観測に使用されるのか。

31.56 裸眼の限界で見ることのできる弱い星は等級が 6 である。等級が 1 である星の明るさの何倍この星の明るさは小さいか。

31.57 我々に一番近い星 ケンタウルスの等級と、望遠鏡で観測できる星の等級差は 24 である。これらの星を見かけの光度で比較せよ。

31.58 シリウスの等級は約 -1.6。等級 3.4 の星の光度はシリウスのそれよりどれだけ小さいか。

31.59 等級 m は絶対等級 M とどの様な関係にあり、またパーセク単位で天体までどの様な距離にあるのか。

31.60 太陽と ケンタウルスの絶対等級はそれらの等級より小さいことを何で説明されるのか。

31.61 どの様な星が白色矮星と呼ばれるのか。

31.62 白色歪星の密度とその星における重力加速度について何がいえるか。問題 31.61 の結果を利用せよ。

31.63 白色矮星による放射光中のスペクトル線の分裂は何を示しているのか。

31.64 中性子星とは何か。それらはどの様にして見出され得るのか。

31.65 時間的順次性（ラジオパルサー、X線パルサー、パルステル）で中性子星発見後、中性

子星の更なる放射に関してどのような予想を立てることができるか。

3 1 . 6 6 中性子星の物質の圧倒的部分の密度は核物質の密度 (約 $2.8 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$) に近く、このため、星の核では物質の性質は原子核の物質の性質と殆ど似ている。巨大な原子核のように、中性子星を見なしてはいけけないのは何故か。

3 1 . 6 7 「ブラックホール」の概念に何が入るのか。

3 1 . 6 8 光源や観測者が静止していようと運動していようと、光速度はそれらに依存しない。しかし、静止している観測者が観測する波長 (λ_0) と運動している観測者が観測する波長 (λ) は異なり、それらの差はいわゆるドップラーシフト ($\lambda = \lambda_0 / z$) を与える。対象物の速さが光速度よりだいぶ遅い場合には、式 ($\lambda - \lambda_0$) / $\lambda_0 = z = v / c$ は正しい。ここで、 z はスペクトル線の相対変移、 v は光を放射する対象物の速さである。スペクトルの赤い領域における線の移動 (赤方変位) は $z > 0$ であり、対象物が遠ざかっていることに相当している。ある銀河の赤方変位が 0.001 である。地球の観測者に相対的にこの銀河は接近しているかそれとも遠ざかっているか。水素の青い線 $\lambda_0 = 486.1 \text{ nm}$ に対する変位量を求めよ。観測者の視線方向で、この銀河はどれだけの速さで動いているか。

3 1 . 6 9 太陽の赤道における点の回転速度を求めよ。 $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ の水素の緑色線で、ドップラーシフト量は 0.0036 nm である。

3 1 . 7 0 地球の年周運動において、地球の運動がその星の方向に向かっている星のスペクトル線紫外方向に移動する。 $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ の緑色線の移動量が 0.05 nm のとき、地球の運動速度を求めよ。

3 1 . 7 1 地球は軌道上で回転をし、その星に向かっているとして、星の観測されたスペクトル中の波長を求めよ。星のスペクトル線の研究室内での波長は 486.1 nm である。

3 1 . 7 2 1960年に、放射性銀河 3C 295 のスペクトルの中に、相対的赤方変位が得られた。 0.46 であった。銀河から我々までのおよその距離は 50 億光年。この銀河は我々に近づいているか、それとも遠ざかっているか。視線方向でその速度はいくらか。 $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ の緑の線はどれだけ移動してするか。

3 1 . 7 3 1963年に、クエーザー 3C 273 のスペクトル中の赤方変位の測定において、それが 0.16 であることが確立された。地球との距離を変えている視線方向での速度を求めよ。

3 1 . 7 4 クエーザー 3C 9 で、赤方変位のパラメータは $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = 2$ 。この場合、公式 $z = v / c$ を適用していけないのは何故か。この星の速度を求めよ。(問題 3 1 . 6 8 での脚注を見よ)。

3 1 . 7 5 地球から宇宙船に遣わされたレーザーの赤い線が飛行士には緑色に見えるためには、宇宙船はどれだけの速さで飛行しているか。地球と宇宙船の間の距離は伸びているかそれとも縮んでいるか。赤い線と緑線の波長として各々 620 nm 、 550 nm を採用する。

3 1 . 7 6 1957年10月4日にソ連邦で打ち上げられた世界最初の人工衛星は、地表からの平均高度 $H = 588 \text{ km}$ の軌道を飛行した。軌道上での衛星の運動エネルギーを計算せよ。衛星の質量 $m = 83.6 \text{ kg}$ 、 $R_E = 6400 \text{ km}$ 、 $g_E = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。軌道は円形と見なす。

3 1 . 7 7 世界初の宇宙飛行士ガガーリンは宇宙船「ボストーク 1 号」で、地表からの平均距離 251 km の軌道上を飛行した。軌道を円形と見なし、軌道上での宇宙船の速さ、地球の周回周期を求

めよ。

3 1 . 7 8 地球周回周期が 8 8 . 6 分であるならば、円形軌道上で宇宙船は平均どれだけの速さか。地球半径は 6 4 0 0 k m。

3 1 . 7 9 赤道面上の円形軌道上に、赤道上空の 1 点にいるように、人工衛星を打ち上げる。軌道半径、地表からの高度、軌道速度を求めよ。

3 1 . 8 0 銀河の遠ざかり速度はそれらの間の距離に比例する ($v = H r$ 、ここで H はハッブル定数)。距離 1 0 M パーセク離れている銀河同士が遠ざかっている速さを求めよ。 $H = 7 5 \text{ k m} / (\text{s} \cdot \text{パーセク})$ とする。

付録

A 表

1．基本物理定数

2． \sin と \tan の値(0° から 90°)

3．物質の密度

4．物質の比熱

5．燃料の燃焼比熱

6．

B 数学公式