

理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1	～	6	ページ
化 学	7	～	15	ページ
生 物	16	～	29	ページ

物 理

1. ビルのエントランスなどに、表面が滑らかな大理石の床材が用いられていることがある。見た目はとても美しいが、雨が降ると非常に滑りやすく、転倒事故が起こることがある。



図1. 尻もち

https://www.irasutoya.com/2017/12/blog-post_539.html を改変

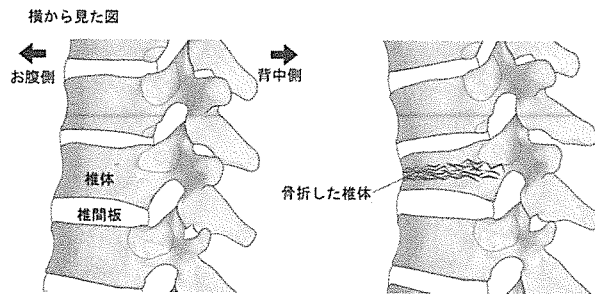


図2. 圧迫骨折

<https://www.med-junseikai.or.jp/tomei/cerebrospinal/about/disease05.html>

足を滑らせ、脚を前に出した状態で尻もちをついた場合(図1)、脊椎(背骨)を圧迫によって骨折することがある(図2)。図3(左)に示す身体を図3(右)のように頭部、胸腹部、下半身に分けた単純な模型を用いて、どの部分が骨折しやすいか(大きな力がかかるか)を考える。

尻もちをつくときは、背筋を伸ばして、背骨が鉛直になるように落ちるものとし、鉛直上向きに z 軸をとる。頭部、胸腹部、下半身の大きさは無視できるものとし、それぞれの質量を m_1 , m_2 , m_3 , 座標を z_1 , z_2 , z_3 とする。頭部と胸腹部および胸腹部と下半身はフックの法則に従う弾性をもつ物質でつながっているものとし、それぞれのばね定数を k_1 , k_2 , 自然長を l_1 , l_2 とする。

頭部、胸腹部、下半身はそれぞれ高さ $h + l_1 + l_2$, $h + l_2$, h から初速0で落下するものとする。落下し始めた時刻を $t = 0$ とする。また、下半身が床に着いたとき、下半身は弾むことなく床

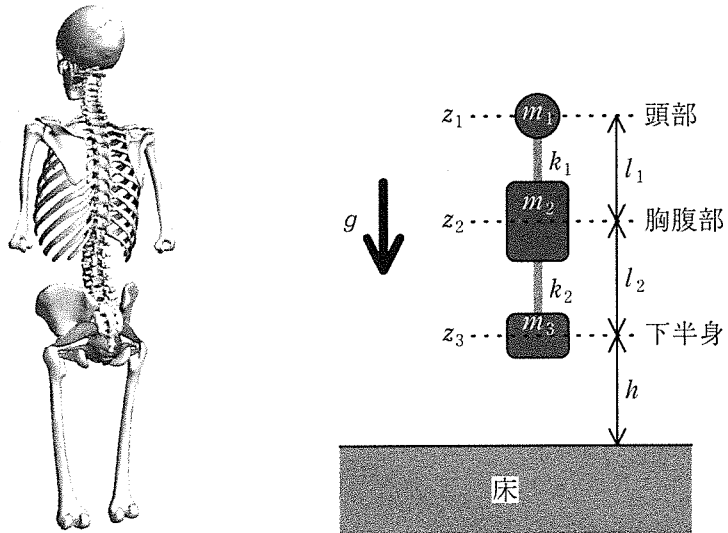


図3. 骨格(左)とモデル(右)

に着いたままになるとする。

重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えなさい。

- 問 1. 頭部, 胸腹部, 下半身それぞれの加速度を a_1, a_2, a_3 として, 運動方程式を書きなさい。
- 問 2. 身体の重心の座標 z_G を z_1, z_2, z_3 を用いて表しなさい。また, 重心の加速度を a_G として, 重心の運動方程式を書きなさい。
- 問 3. 下半身が床に着くまでの時間 t_0 を求めなさい。
- 問 4. $t = t_0$ のときの, 頭部, 胸腹部の速度をそれぞれ g などを用いて表しなさい。
- 問 5. 下半身が床から受けた力積の大きさを求めなさい。ただし, 力を受けている時間は十分短いものとする。

問 6. 下半身が床に着いた後の頭部および胸腹部の運動方程式は, 新たな座標を

$$x_1 = z_1 - (a + b)$$

$$x_2 = z_2 - a$$

(a, b は定数)のように定義すると, 頭部, 胸腹部, それぞれの加速度 a_1, a_2 を用いて

$$a_1 = -c(x_1 - x_2)$$

$$a_2 = \frac{k_1}{m_2}x_1 + dx_2$$

と表せる(c, d は定数)。定数 a, b, c, d を求めなさい。

問 7. $t = t_0$ のときの x_1, x_2 をそれぞれ g などを用いて表しなさい。

以下では, $m_1 = m, m_2 = 9m, m_3 = 4m, k_1 = \frac{2}{25}k_2$ とする。

問 8. $t > t_0$ のとき, x_1, x_2 がそれぞれ単振動

$$x_1 = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$x_2 = B \cos(\omega t + \phi)$$

のように表されるとして, これらが任意の時間 $t (t > t_0)$ で問 6 の運動方程式を満たすものとする, ω^2 には 2 つの解が存在する。この 2 つの ω^2 を m, k_2 を用いて表しなさい。

問 9. 前問の 2 つの ω^2 のときの $\frac{A}{B}$ の値をそれぞれ求めなさい。

2. 空気は絶縁体であるが、距離に応じた高い電圧がかかると絶縁が壊れ、電気を通す、すなわち、放電する。この現象は絶縁破壊と呼ばれ、雷が代表例である。

空中に上昇気流が発生すると雲の上方に正電荷がたまり、下方に負電荷がたまる。雲の発達にともない、上層と下層の電位差が拡大して、電場が空気の絶縁の限界値を超えると電子が放出され、空中放電が起こる。また、雲の下層に負電荷が蓄積されると、地面では正の電荷が静電誘導により誘起され、雲の下面と地面の間でも電場が絶縁の限界値を超えると放電が起きる。これがいわゆる落雷である(下図)。



図. 落雷(2018/09/09 11:34 ウェザーニュース)
<https://weathernews.jp/s/topics/201809/050155/>

落雷が発生する瞬間において、雲と地面をそれぞれ平行に対置した無限に広い導体平板と見なし、電場の絶縁の限界値を $3.00 \times 10^6 \text{ V/m}$ 、地上から雲までの高さが 1.00 km であるとして以下の問いに答えなさい。

ただし、空気の誘電率は真空での誘電率 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ とする。

問 1. 雲と地面の間の単位面積当たりの電気容量を求めなさい。

問 2. 地上と雲の下面の間の電位差を求めなさい。

問 3. 地面と雲の間の空間に蓄えられている単位体積あたりの静電エネルギーを求めなさい。

問 4. 直径 $10 \mu\text{m}$ の球形の動物細胞は絶縁体と見なせる厚さ 10 nm 、比誘電率 7.0 の膜(細胞膜)で囲まれている。細胞の内外のイオンの電荷には偏りがあり、膜表面を帯電させるので、この膜はコンデンサーとして機能する。細胞は球形であるが、膜の厚さが細胞の直径に比べ十分薄いため、平行板コンデンサーとして近似できるものとする。細胞内の静止膜電位(細胞が活動していない場合の細胞の外側を基準に取った電位)が -70 mV であるとき、細胞膜の単位体積あたりに蓄えられる静電エネルギーを求め、問 3 の結果と比較しなさい。

3. 電磁波の中で波長が 400 nm から 700 nm の範囲のものを可視光と呼ぶ。可視光は太陽から地球表面に降り注ぐ電磁波に含まれ、地球上の生命は可視光を利用するように進化してきた。生体にとって重要な役割を担っているため、これまで、物理的、生物学的に多くの研究がなされてきた。

ヒトにとって視覚は外界の情報を得るために重要な感覚である。ヒトの感覚のおよそ 70 % が視覚からの情報であるとされている。

図 1 にヒトの眼の構造を示す。眼はほぼ球形であり、直径およそ 2.4 cm である。眼球の、いわゆる黒目の部分の外側には厚さ 0.5 mm ほどの非常に薄い透明な膜でできた角膜があり、光はその角膜を通して眼球内に入射する。眼球の奥の内側は網膜に覆われており、入射した光は水晶体等を経て、光を吸収する網膜上に反転した像を結ぶ。網膜は神経電気パルスを発生し、情報が脳へ運ばれる。網膜が光をどのように吸収するかについては光子の理解が重要である。

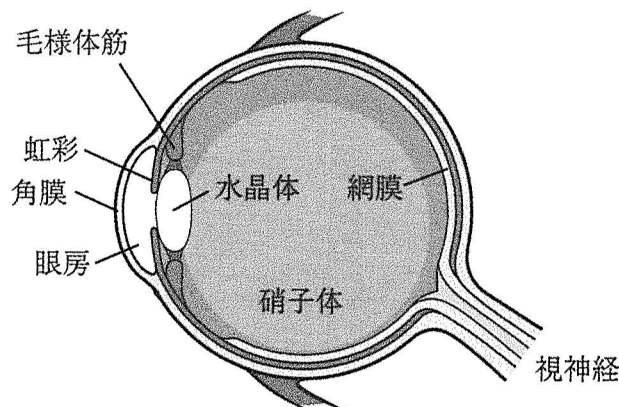


図 1. ヒトの眼の構造(断面)

廣岡秀明, 崔東学, 古川裕之, 吉村玲子, 山本洋著:
医療系の基礎としての物理(学術図書出版社)p. 181 を改変

光が空気中(真空とみなしてよい)から屈折率 n の物質内に入射する状況について以下の問いに答えなさい。

真空中の光速, 真空の誘電率はそれぞれ $c_0 = 3.00 \times 10^8$ m/s, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m とし, プランク定数を h とする。

問 1. 真空中の光速 c_0 および真空の誘電率 ϵ_0 の値を用いて, 真空の透磁率 μ_0 の値を求めなさい。

問 2. 真空中で波長 λ_0 の光の光子の振動数 ν_0 および運動量 p_0 を求めなさい。

問 3. 物質中の光速 c は、真空中の光速 c_0 の真空の誘電率 ϵ_0 および透磁率 μ_0 を用いた表式において、 ϵ_0 、 μ_0 をそれぞれ物質の誘電率 ϵ および透磁率 μ に置き換えた式で表される。

その物質の屈折率 n を c 、 c_0 を用いて表しなさい。また、屈折率 n をその物質の比誘電率 ϵ_r 、比透磁率 μ_r を用いて表しなさい。

問 4. 真空中で波長 λ_0 の光の、屈折率 n の物質中での波長 λ 、振動数 ν および光子の運動量 p をそれぞれ、 n 、 λ_0 、 ν_0 、 p_0 を用いて表しなさい。

問 5. 真空中で波長 λ_0 の光が屈折率 n の物質の平坦な境界面に垂直に入射するとき、光子のエネルギー保存則、運動量保存則についてそれぞれ式などを用いて説明しなさい。

問 6. 近視のヒトが水の中で目を開け、裸眼で景色を見たとき、近視の状態は軽減されるか、悪化するか、簡潔に説明しなさい。ただし、正視とは目に入った光が網膜上で、近視では網膜の前で、遠視では網膜の後ろで焦点を結ぶ状態をいう。また、眼の各部位および空気、水の屈折率は表に示すとおりである。

表. 眼の各部位および空気、水の屈折率

物質	屈折率
角膜	1.38
眼房水	1.34
水晶体	1.41
硝子体	1.34
空気	1.00
水	1.33

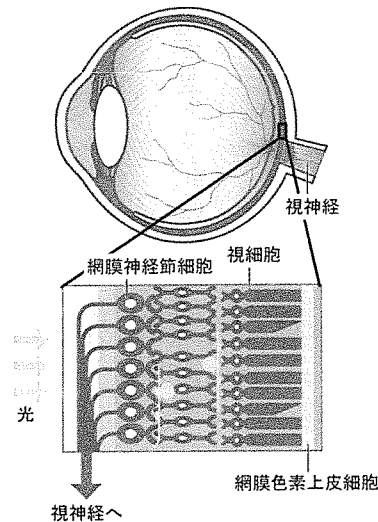


図 2. 網膜の構造

<https://www.santen.co.jp/ja/healthcare/eye/library/glaucoma/nattoku/about-gla/vision/> を改変

光子が図 2 に示すような光感受性のある細胞(視細胞)に吸収されることにより、視覚の引き金になる信号が生じる。ヒトの眼は暗闇に慣れていれば、ろうそくの明かりを 20 km 離れたところから見る事ができるほど、光に対して敏感である。1 光子によって光感受性細胞の興奮を引き起こすことができることが実験により示されている。

問 7. ある物体を空気中で見る場合と水中で見る場合で色はどのように見えるか考察しなさい。ただし、水による光の吸収が問題にならない状況を考えるものとする。