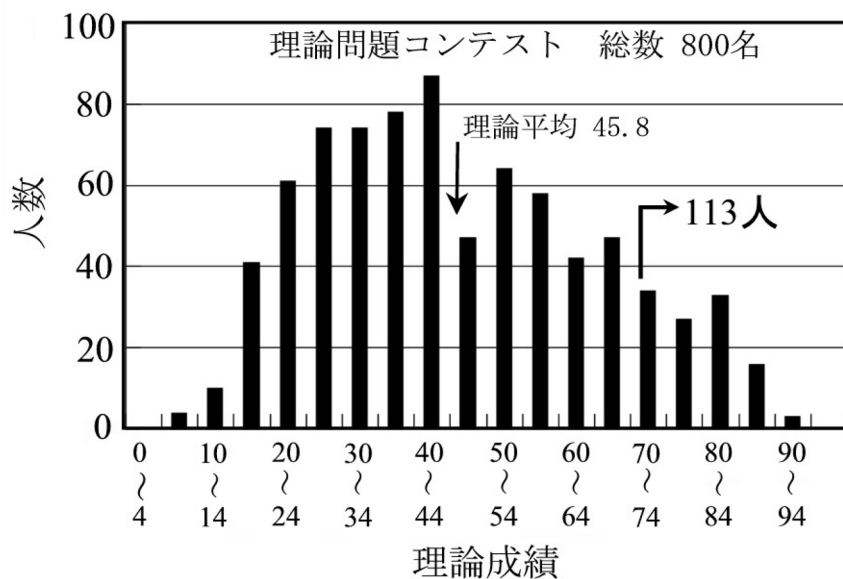


物理チャレンジ 2009 第 1 チャレンジ理論問題コンテスト

I. 成績分布



	合計	第1問	第2問	第3問	第4問	第5問
平均点/配点	45.8/100	6.7/18	14.8/26	13.3/29	5.4/11	5.6/16
最高点	94	18	26	29	11	16

II. 解答・解説

第1問 (18点)

問1 ② 問2 ④ 問3 ⑥ 問4 ② 問5 ① 問6 ④

問1は最終的な速度が等しいので「同じ」と思いこんだ人が多かったようだ。問2は高校生には難しかったか。回転物体はエネルギーをもつため、すべて回転しない方が運動エネルギーが大きく、速くなる。問3 力学的エネルギー保存則より、崖の高さを h とすると、すべての場合に $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$ が成り立つので、等しい。問4 ガリレオの議論を思い浮かべたものも多かったらう。「地球が動いていれば、小物体は取り残されて西に落ちる」「いや、塔の先端も運動していたのだから、一緒に動いて真下に落ちる」のいずれも誤り。地球は球なので、外側にある塔の先端は地表より速く運動している。その差は 0.0073m/s 、落下に要する時間は $\frac{1}{2}gt^2 = 100$ より、 $t = 4.5\text{s}$ 、 $0.0073 \times 4.5 = 0.033\text{m}$ だけ東側に落ちる。問5 水平投射と同じで放物運動である。問6 $x = \frac{1}{2}at^2$ より、加速度は 4m/s^2

第2問 (26点)

〔A〕 問1 ③ 問2 ②

〔B〕 問3 ア 3 (V) イ 3 (V) ウ 6 (V) エ 0.5 (A) オ 1 (A)
カ 1.5 (A) キ 1 (A)

〔C〕 問4 ④ 問5 ④ 問6 ①

〔A〕 問1 0.2秒で4分の1波長進んでいるので、波が1波長進む時間は振動の周期に等しい。

$T=0.2 \times 4=0.8$ 秒。振動数 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{ Hz}$ 問2 変位は0から負に向かう。

〔B〕 問3 合成抵抗など複雑な計算は必要ではなく、以下のように順次答えていける。

ア CB間は電池 E_2 だけの電位差3V イ AC間は電池 E_1 だけの電位差3V ウ AB間はA-C-Bと考えれば、 $E_1 + E_2 = 6 \text{ V}$ エ $E_2 = R_2 I_2$ より、 $I_2 = 0.5 \text{ A}$ オ $E_1 + E_2 = R_1 I_1$ より、 $I_1 = 1 \text{ A}$ カ A→Bに流れる電流 I_1 とC→Bに流れる電流 I_2 の和になる キ R_1 に流れる電流に等しい

〔C〕 問5 重力は常に下向き一定であり、速くなるほど上向きの空気抵抗が大きくなるので下向きの加速度は小さくなり、やがて合力0で等速度運動になる 問6 空気抵抗は物体の形状で変わる。 問7 空気抵抗と重力が等しくなっているときに、空気抵抗が増すので、合力は上向き、加速度の向きも上向きになる。

第3問 (29点)

〔A〕 問1 ③ 問2 ① 問3 ⑤

〔B〕 問4 ④ 問5 ③

〔C〕 問6 もとの長さを L_0 、温度変化を Δt とすると、長さの変化 ΔL は、

$\Delta L = L_0 \times \alpha \Delta t$ で表されるので、

$$\Delta L = 25 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times (50 - 0) = 0.015 \text{ (m)} = 1.5 \text{ (cm)}$$

問7 ④

問8 A 図3-5では、左側の黄銅がよけいにのびているために右に曲がっていると考えられるので、膨張率の小さい鉄が右側であることがわかる。

〔A〕 よく知られた手回し発電機についてだが、簡単なようで、難問だったと思われる。上位者に

も誤答が多かった。問1 言い方を変えると、直流モーターはそのまま直流発電機になる 問2 ②とした誤りが多かった。確かに、電流が逆向きになるので、何となく反対向きに回転するような気がする。しかし、充電するとき、回転方向と逆向きに力を受ける。放電するときには逆向きに電流が流れるので、力も逆向き、すなわちそれまで回転していた向きに受ける。ぜひ、一度実験してもらいたい。問3 手回し発電機には回転しながら逆向き起電力が発生していたので、止めるとそれがなくなり、電流は大きくなる。

〔B〕 問4 宇宙ステーションやスペースシャトルなど有人宇宙船は、地表から250~400kmの軌道にある。地球半径6,400kmに比べれば、ずっと小さい。地球の引力は1割程度しか減少しないが、「①地表からはるか遠くにあるため」を選んだ参加者が多かった。船内が「無重力」に感じられるのは、中にいる乗員が宇宙船と一緒に、重力にしたがって運動しているからである。「万有引力と遠心力がつり合っているから」という表現も正しいが、一般的には楕円運動や放物運動、自由落下でも同じ現象が起きる。問5 実際の宇宙飛行士はほぼそれに近い方法で「体重」(体の質量)を測って健康管理を行っている。

〔C〕 問6 表に示されている値は1度あたりに膨張する「率」なので、元の長さをかけなければならない。問7 小学校の理科教材でもある。金属環を加熱すると穴も大きくなる。問8 A, Bどちらか、ということだが意外と誤りが多かった。

第4問 (11点)

問1 ア $\frac{1}{2}mv^2$

イ ①式より $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$, 一方 $m = \frac{M}{N_A}$ であるから,

$$v = \sqrt{\frac{3N_A k_B T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 6.0 \times 10^{23} \times 1.4 \times 10^{-23} \times 300}{0.018}} = \sqrt{42 \times 10^4}$$

$$= \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times \sqrt{7} \times 10^2 = 6.2 \times 10^2 \text{ (m/s)}$$

問2 求める最高点を h とすると、力学的エネルギー保存則より,

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh, \quad h = \frac{v^2}{2g} = \frac{42 \times 10^4}{2 \times 10} = 2.1 \times 10^4 \text{ (m)}$$

問1 「自由度」という難しい言葉が使われているが、運動エネルギーはどう表されるか、と聞いているだけ。「単原子分子でない」と自由度は3でないのでは? という質問があったが、2原子・多原子分子では回転の自由度が加わるだけで、並進運動の自由度は空間3次元の3である。したがって、 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$ は成り立っている。問2 地表からあまり離れないので、重力一定として力学的エネルギー保存則を用いる。等加速度直線運動の公式を用いても答えは出る。このことから、重力で気体分子が地球にとらわれていることがわかる。

第5問 (16点)

問1 運動量保存則より, $Mv - \frac{hf}{c} = 0, \therefore v = \frac{hf}{Mc}$

問2 運動エネルギー $K = \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}M\left(\frac{hf}{Mc}\right)^2 = \frac{(hf)^2}{2Mc^2}$

問3 $E = hf_0$ に対する, K の比を求める。

$$\frac{K}{E} = \frac{(hf)^2 / 2Mc^2}{hf_0} \cong \frac{hf}{2Mc^2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4 \times 10^6} = \frac{1}{8 \times 10^6}$$

問4 ④式より,

$$f = \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} f_0 \cong \sqrt{\{1+(v/c)\}} f_0 = \left(1 + \frac{v}{c}\right) f_0$$

求める割合, $\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f - f_0}{f_0} = \frac{(v/c)f_0}{f_0} = \frac{v}{c} = \frac{gH}{c^2}$

高校の教科書で取り上げられる内容からかけ離れているようだが、答を求めるためのカギはすべて文中に書かれている。知識でなく思考を問うのが、物理チャレンジ・オリンピックの考え方。問1 光子も運動量をもつため、原子核が反跳する。その説明と式が与えられている。問2 問1の結果を運動エネルギーの式に代入するだけである。問3 近似に不慣れだった参加者もいたと思われる。「およそ何分の1減少するか」で、 f_0 と f の差が100万分の1以下なので、比を求める上で分母の違いにとらわれることはない。問4 有名な実験、「光子の質量（重力による影響の意味）」の結果が求められる。