

物理チャレンジ 2010 第 1 チャレンジ理論問題

解答・解説，講評

1. 出題のねらい

本年度はマークシートの導入ということで，全問択一式とした。例年通り，教科書，参考書等 1 冊の持ち込みを可とした。

そのうえで，以下の点に留意して作問した。

(1) 平易な問題から，考えさせる問題まで，難易取りそろえる。

(2) 高校物理の範囲を意識しつつも，必ずしもとらわれない。

2. 解答および解説

第 1 問

問 1 ③ 問 2 ④ 問 3 ⑥ 問 4 ② 問 5 ③ 問 6 ⑤ 問 7 ②

問 1 円運動の速度は接線方向。慣性の法則より接線方向に進む。

問 2 パスカルの原理より，同じ深さでの水圧は等しいので， $a = b$ である。 c はその 2 倍， d は $1/2$ になる。力の部分におもりを載せると考えるとよい。

問 3 仕事率 $P = mgh/t$ より， a 330W b 200W c 460W d 490W

問 4 求める地球から太陽までの距離を R とすると， $R \times \tan 0.25^\circ = 70$ 万 km。あるいは，地球を取り巻く半径 R の円周を考え， $2\pi R \times (0.25/360) = 70$ 万 km より。

問 5 速さ \times 時間 = 距離となるので，グラフの描く図形の面積が求める距離になる。おおよそ台形であるが，底辺 22 分，高さ 100km/時の長方形と近似できる。 $100 \times (22/60) = 37$ km。

問 6 グラフを直線に近似すると，おもり 10 個のとき 29cm になるから， $10N = k \times 0.29$ m より， $k = 34$ N/m

問 7 単振り子の周期を比較すると，

$$\frac{T'}{T} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g'}} / 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \sqrt{\frac{g}{g'}} = \sqrt{\frac{9.79}{9.83}} = \sqrt{1 - \frac{0.04}{9.83}} \doteq 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{0.04}{9.83} \quad \text{となるから，}$$

南極では 0.002 倍短くなる。 $86,400\text{s} \times 0.002 = 173\text{s} \doteq 3$ 分進む。

第 2 問

A 問 1 ③ 問 2 ⑤

問 1 0.4 秒まで加速度一定なのでグラフは直線。0.4 秒以降，速さは 8m/s。

問 2 斜面では加速する向きに力がはたらき，平面では運動の向きに力ははたらかない。

B 問 3 ② 問 4 ⑤

問 3 フックの法則 F [N] = k [N/m] x [m]，運動の第 2 法則 m [kg] a [m/s²] = F [N] より，[N/m] = [m \cdot kg/s²] / [m] = [kg/s²]

問4 $P [W] = I [A] V [V]$, $[W] = [J/s] = [Nm/s] = [kgm^2/s^3]$ より,
 $[V] = [W/A] = [m^2kg/s^3 A]$

C 問5③ 問6④ 問7①

問5 波の進行方向は波面に垂直。入射角, 屈折角は面の法線となす角。

問6 屈折の法則より, 屈折率 $n = \sin 45^\circ / \sin 30^\circ \doteq 1.4$

問7 IIの領域では, 波長, 速さともにIIの領域では $1/n$ になる。 $\lambda' = 5.0 / 1.41 = 3.5 \text{cm}$
 $v' = f \lambda' = 0.35 \text{m/s}$

第3問

A 問1② 問2② 問3③

問1 B, CにはAの $1/2$ の電流しか流れないので暗い。

問2 全体の抵抗が図2より小さくなるので明るくなる。

問3 電池の電圧を1とすると, かかる電圧はCに $2/3$, D, Eに $1/2$, B, Cに $1/3$ になる。電圧が大きいと流れる電流も大きい。

B 問4③ 問5③ 問6③ 問7③

問4 電池の起電力を $E [V]$, 内部抵抗を $r [\Omega]$ とすると, 電流が流れているときの電池の両端の電圧 (端子電圧) は, $V = E - rI$ になるので, 電流を流すとテスターの読みは小さくなる。

問5 豆電球を並列にしたことで, 上式の I が増加するので, さらに小さくなる。

問6 豆電球を直列にしたことで, 上式の I が減少するので, 大きくなる。

問7 電池の内部抵抗を r とすると, $1.5 \times 2 - 1.5 = 3rI$ となる。求めたい電圧は,
 $V = 1.5 \times 2 - 2rI = 3.0 - 1.0 = 2.0 \text{V}$ となり, 内部抵抗の値と関係なく求められる。電池の一つに電流が逆向きに流れてしまうので, 実際にこのようにつなぐことはよくない。

C 問8① 問9④ 問10② 問11④

問8 凸レンズは倒立実像を作る。像の倍率は b/a になるので $a < b$ より, 大きな像となる。

問9 レンズの公式 $1/a + 1/b = 1/f$ より, 焦点距離 f は決まっているので, a を大きくしたら, b を小さくしなければならない。倍率は小さくなる。

問10 光源を出た光はレンズ全体を通して像を結ぶので, 像の形が変わることはない。光量が減るだけである。

問11 第1のレンズの作る実像を光源とする, 像が第2のレンズによってスクリーンに作られる。倒立像の倒立像なので正立し, さらに大きくなっている。

D 問12⑥ 問13④

問12 三平方の定理より, $a^2 = b^2 + OE^2$ が成り立つ。これより, $OE = \sqrt{a^2 - b^2}$

問13 $\frac{4b \times OE}{S} = \frac{4b \times OE}{\pi ab} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{OE}{a} = \frac{4}{\pi} \times 0.017$ より, $\frac{4}{\pi} \times 0.017 = \frac{n_s - n_w}{365}$

$n_s - n_w = 7.9$ 日 となる。年によって違いがあるが、実際にカレンダーで数えても、7日
くらいの差がある。

第4問

問1 ③ 問2 ② 問3 ④ 問4 ① 問5 ④

問1 定義より、1 eVは、 $W=qV=1.60 \times 10^{-19} \text{J}$ 。1 MeV $=1.60 \times 10^{-13} \text{J}$ より、
 $1 \text{J}=6.3 \times 10^{12} \text{MeV}$

問2 グラフの直線部分を延長すると、縦軸との切片はおよそ 9.6 になる。

問3 質量数Aが 100 増えると、0.8 MeV減るので、直線の傾きは -8.0×10^{-3}

問4 α 崩壊したあとの結合エネルギーの和が大きいならば、より安定になるために α 崩
壊が起きる。

問5 臨界値では問4の不等式が等号になるときであるから、 $B_Y + 25.0 = B_X$ 。

$B/A = 9.6 - 8.0 \times 10^{-3} \times A$ の関係が得られているので、

原子核全体の結合エネルギーは $B = (9.6 - 8.0 \times 10^{-3} \times A) \times A$ であることを用いて、

$$\{9.6 - 8.0 \times 10^{-3} \times (A_c - 4)\} \times (A_c - 4) + 25.0 = (9.6 - 8.0 \times 10^{-3} A_c) \times A_c$$

これより、 $A_c \doteq 211$

鉛より大きな原子核は不安定で、実際に α 崩壊を起こすことが知られている。

第5問

問1 ② 問2 ④ 問3 ② 問4 ①

問1 角が非常に小さいので、三角形の高さが一定ならば頂角と底辺の長さは比例すると
言ってよい。逆に底辺の長さが一定なら、高さや頂角は反比例する。 $1/3.26 \doteq 1.3$

問2 一定の厚さの球殻の中に距離の 2 乗に比例する数の恒星が存在するので、光度が 2
乗に反比例しても、その球殻からの光の強さは距離と関係なく一定になる。足しあげれば
非常に明るくなるはずであるが、実際に夜空は暗い。事実と矛盾するので、この議論は「オ
ルバースのパラドックス」と呼ばれる。

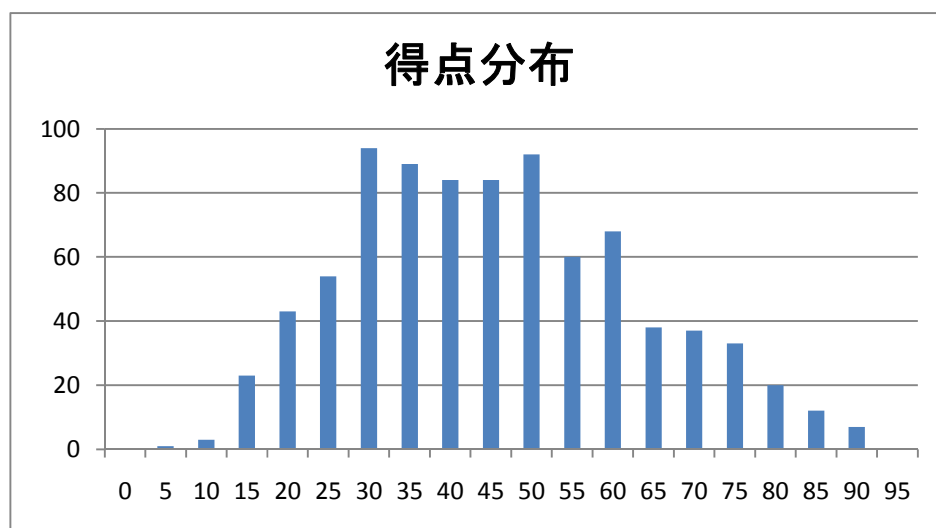
問3 $1 \text{Mpc} = 3.26 \times 10^6$ 光年であるから、光速でも 3.26×10^6 年かかる。その 600 倍である
から、 $3.26 \times 10^6 \times 600 \doteq 20$ 億年が得られる。

問4 地球の年齢が 46 億年であるから、問3の値を宇宙の年齢とすることはできない。
ハッブル定数が一定なら、近いときに遅く、離れるほど速くなるので膨張は加速している
ことになる。膨張速度が一定ならば、ハッブル定数が減少していることになる。

ビッグバンから 38 万年後に光と物質が分離し、そのときの光が遠方からやってくるのが
観測できる。これを宇宙背景放射と呼ぶが、この宇宙背景放射の精密な観測から宇宙の膨
張速度が推定されている。

3. 採点結果

問題	第1問	第2問	第3問	第4問	第5問	合計
配点	21	21	37	13	8	100
平均点	11.1	10.1	19.2	5.1	2.3	47.7
正解率	0.528	0.479	0.479	0.376	0.281	43.8%



理論コンテスト受験人数は 842 人。配点、平均点、正解率は上記の通りである。最高点は 94 点（3 名），最低点は 9 点であった。

もっとも正解率の高い問題は，第 1 問の間 3 86.7%，階段を上る仕事率。最も正解率の低い問題は第 3 問 B の間 4 10.6%，内部抵抗をもつ乾電池 3 個を接続した回路の電位差であった。

計算問題よりも，概念的な問題に弱い傾向にあるのは，受験訓練をした大学生や一般の高校生と同じ傾向にある。

正答よりも選択率の高い誤答をもった問題が，10 問あった。

たとえば第 3 問の間 2。豆電球の接続で小学生レベルの問題であったが，「電池は定電流電源である」または，「豆電球は自身が直列か並列かだけで明るさが決まる」という刷り込みが，のちの学習を重ねても払拭されない様子が見られた。

第 4 問，第 5 問は高校生の学習していない題材（原子核，宇宙）で学年によらない思考力を問うた。問題文中に与えられている概念が受け容れられない受験者がいたと思われる。

第 4 問の間 4 は，結合エネルギーが「エネルギーの低下分」という説明があるにもかかわらず，「エネルギーが大きい」という逆のイメージに引きずられた誤答が多かった。

第 5 問の間 1 は「遠方ほど年周視差が小さくなる」ことが理解できないものが過半数であった。