

# 解答・解説

---

京都物理コンテスト 2012

2012年11月18日

---



# 第1問

小柴昌俊 2002年ノーベル物理学賞

## 問1 ①

式(1)より、 $MV = mv$ と $M > m$ とあるので、これらの関係から、 $V < v$ 、すなわち陽子が遅く、電子が速く飛び出すということが得られます。したがって、最初静止していた中性子が崩壊して一定時間後の陽子と電子の位置としては、初期位置に陽子が近く電子が遠くなります。

つまり、答えは①となります。

## 問2 ④

3体になると、崩壊後の粒子が飛び出す方向によって、電子の速度も変化します。しかし、崩壊前は静止していたことから、運動量の合計が0にならなければいけません。細かい計算は省略しますが、一番電子の運動量が大きくなる、すなわち速度が速くなるのは、電子以外の粒子が電子と反対方向に飛び出しているものとなります。

つまり、答えは④となります。

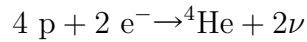
## 問3 ①

音波は、移動する物体から球状に広がります。昔に出た音波ほど広がっていません。したがって、音波の様子から、①、③、④となります。しかし、物体は音速を超えていると問題文にあるので、物体の速度が音速より遅い④や、音速と同じである③は除外されます。その結果、音波が1直線上に集まることになり、その部分が衝撃波となります。

つまり、答えは①となります。

問4 (1)②

式(2)と式(3)を2倍したものと、式(4)を足し合わせて、同じものを消去すると、



が得られます。

つまり、答えは②となります。

(2)④

まず、太陽が放射するエネルギーが全て(5)の反応から生じるという仮定から、太陽が1秒間に放射するエネルギーを反応1回あたりのエネルギーで割れば(5)の反応が1秒に何回起こっているかが分かるので、それに1回の反応で生じるニュートリノの数2をかければ、1秒間に放出されるニュートリノの数が求まります。

$$(3.9 \times 10^{26}) \div (4.3 \times 10^{-12}) \times 2 = 1.8 \times 10^{38}$$

これが全方向に均等に放出されると仮定しているので、地球の位置で太陽の方向に垂直な面  $1\text{cm}^2$  に1秒あたりに降るニュートリノの数は、地球と太陽の間の距離を半径とする球の面積で割れば求まり、

$$1.8 \times 10^{38} \div (4\pi \times (1.5 \times 10^{13})^2) = 6.4 \times 10^{10}$$

となります。

つまり、答えは一番近い④の  $10^{11}$  個となります。

## 第2問

### ヘイケ・カマリンオンネス 1913年ノーベル物理学賞

#### 問1 ② ⑤

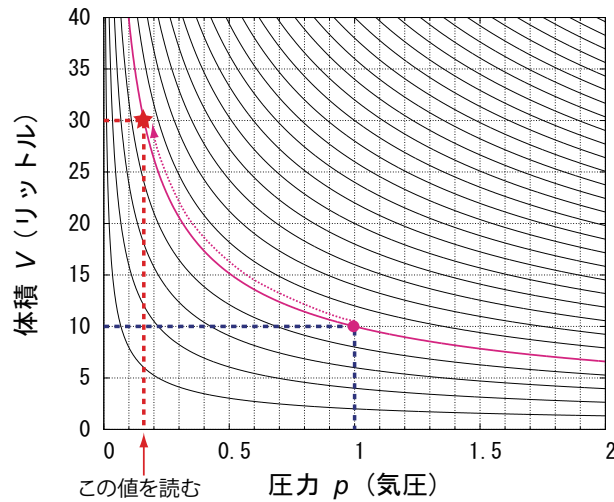
表に示されている値をよく見比べると、気体分子内の原子の数が同じ気体を比べた場合分子量が軽いものほど沸点が低い傾向にあり、分子量が同じくらいの気体を比べた場合単原子分子気体のほうが二原子分子気体よりも沸点が低い傾向にあります。これは、分子量が軽い気体のほうがより大きい速度で動きやすいため、低い温度でも気体の状態にとどまりやすいためです。また、二原子分子気体よりも単原子分子気体のほうが沸点が低い傾向にあるのは、二原子分子気体のほうが分子間に働く力が大きく、液体になりやすいためです。

#### 問2 ①

- ① 上昇気流によって空気の塊が上昇すると、周りの気圧が下がるために空気は膨張します。この膨張はほぼ断熱的に起きます。この膨張に伴って温度が下がることで水分が凝縮して雲を生じるのです。
- ② 氷を入れたガラスの周りに露がつくのは、単純にガラスによって冷やされた水分が凝縮しているためであり、気体の膨張は関係していません。
- ③ ドライアイスに手を近づけた場合に直接接触らなくても冷たく感じるのは、熱の輻射や空気の対流等によって熱が手からドライアイス側に移動しているためであり、気体の膨張とは直接の関係はありません。
- ④ 夏に打ち水をするとひんやりとした感じがするのは、打ち水をした水分が蒸発して気化熱を周囲から奪っているためで、気体の膨張とは直接の関係はありません。

## 問3(1) ②

図のように、(1気圧, 10リットル) の点を通っている曲線を探し、その曲線上で縦軸の値が30リットルになるときの横軸の値を読みとります。すると、約0.16気圧という値が得られます。



## 問3(2) ③

理想気体の満たす状態方程式によると、 $pV/T$  は常に一定値を持つので、

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

という関係が得られます。この式に、 $p_1 = 1$  気圧、 $V_1 = 10$  リットル、 $T_1 = 293$  ケルビン、 $p_2 = 0.16$  気圧、 $V_2 = 30$  リットルを代入すると、

$$T_2 = \frac{0.16 \times 30}{1 \times 10} \times 293 \div 140 \text{ ケルビン}$$

が得られます。

## 問4 ②

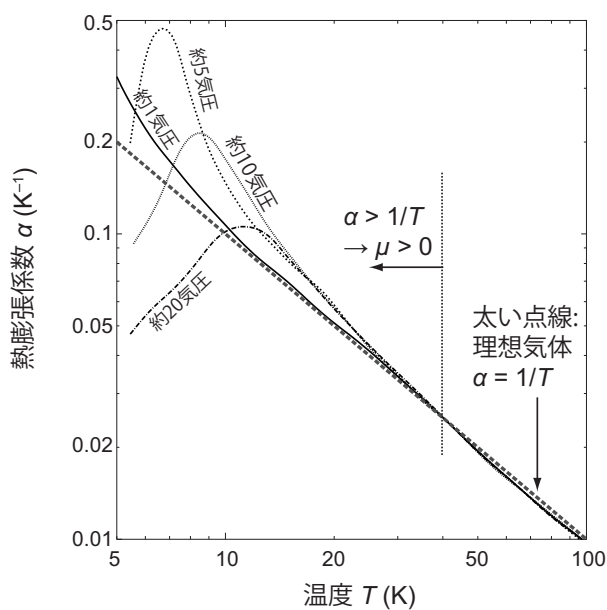
ジュール-トムソン効果の式

$$\Delta T = \mu \Delta p$$

によると、ジュール-トムソン係数  $\mu$  が正であれば、圧力を下げる ( $\Delta p < 0$ ) ようなジュール-トムソン効果によって温度を下げるすることができます。さらに、

$$\mu = \frac{V}{C_p}(\alpha T - 1)$$

という関係を用いると、 $\alpha T$  が1より大きい場合、即ち  $\alpha > 1/T$  の場合にジュール-トムソン係数が負になることが分かります。ここでヘリウム の  $\alpha$  の温度依存性のグラフを見ると、40ケルビン以下では  $\alpha$  の曲線が  $1/T$  の直線のわずかに上側に来ていることが分かります。つまり、40ケルビン以下ではジュール-トムソン係数が負であると言えます。いいかえると、圧力を下げるジュール-トムソン効果によってヘリウム気体の温度を下げるには、気体の温度を予め40ケルビン以下にしておく必要があるのです。



## 第3問

### アルバート・マイケルソン 1907年ノーベル物理学賞

#### 問1 (1)③

あなたが板をはずし光を発してから、友達の持つ鏡で反射された光があなたのところに戻ってくるまでの時間間隔を知覚できるには少なくとも0.1秒で光が往復してくる距離がある必要があります。両者の距離として必要な距離は、光の通ってきた距離の半分であることに注意すると、

$$30 \text{ 万 km} \times 0.1 \text{ 秒} \div 2 = 1 \text{ 万 } 5 \text{ 千 km}$$

ということになります。

つまり、答えは③ということになります。

#### (2)①、④

光の速さを測定できるようにするためには、(1)程度以上の距離スケールを用いて観測できるようにする。または、より短い時間間隔を測定できるようにすればよいということになります。

つまり、当てはまるものはすべて選ぶということに注意すると、答えは①と④ということになります。

#### 問2 ア ②

歯車が1回転に要する時間は、1秒間に12回転するとき初めて鏡から反射する光が観測できなくなったときのことを考えているので、 $\frac{1}{12}$ 秒となります。そして、歯車の歯の数は720個であるため、歯の無い部分も合わせると $720 \times 2$ 個ということになります。したがって、ある歯が隣の歯の位置まで移動する時間の半分の時間 $t$ は、

$$t = \frac{1}{12} \div (720 \times 2)$$

となります。

つまり、答えは②ということになります。



イ 310000km

アの時間の間に光は  $2 \times 9$  km 進むので、

$$2 \times 9 \times \frac{720 \times 12 \times 2}{1} = 311040 \text{ km}$$

となります。

つまり、答えは上から3桁目を四捨五入して、310000km となります。

### 問3 (1)①

問題文における図5の波とその波と同じ振幅、波長である波の2つの波の重なりであることに注意します。強め合っているのは、山と山が重なって、2倍の振幅になっているものなので、Iということになります。弱め合っているのは、山と谷が重なって、打ち消し合っているものなので、IIIということになります。

つまり、答えは①ということになります。

### (2)②

$d_1$ ,  $d_2$  の距離の差の中に半波長が入っていれば、題意を満たします。また、問題文より、 $d_1 > d_2$  となります。

よって、

$$d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$$

ということになります。

つまり、答えは②ということになります。

### 問4 ⑤

ウ

$t_1$  を考えます。川の流れに垂直に往復する方向の船の速度  $c_1$  は下図より、速度合成の考え方から、三平方の定理<sup>1)</sup>より、 $c_1 = \sqrt{c^2 - v^2}$  となります。したがって、

$$t_1 = \frac{2d_1}{c_1} = \frac{2d_1}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

となります。

<sup>1)</sup> 直角三角形 ABC の直角をはさむ2辺の長さを  $a$ 、 $b$ 、斜辺の長さを  $c$  とすると、 $c^2 = a^2 + b^2$  が成り立つ。

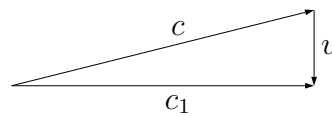


図 1: 船の速度合成

$t_2$  を考えます。往路の船の速度は、 $c-v$ 、復路の船の速度は、 $c+v$ ということになります。したがって、

$$t_2 = \frac{d_1}{c-v} + \frac{d_1}{c+v} = \frac{2cd_1}{c^2-v^2}$$

ということになります。

ここで、 $t_1$  と  $t_2$  の比較をするために、 $t_2 - t_1$  を考えてみます。すると、

$$t_2 - t_1 = \frac{2cd_1}{c^2-v^2} - \frac{2d_1}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{2d_1}{\sqrt{c^2-v^2}} \left( \frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}} - 1 \right)$$

また、 $c > v$  より、 $c > \sqrt{c^2-v^2} > 0$  から、

$$\frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}} - 1 > 0$$

となります。したがって、 $t_2 > t_1$  となります。これは、 $t_1$  は  $t_2$  に比べて、小さいということになります。つまり、答えは川の流れに垂直に往復する時間  $t_1$  は、川の流れに沿って往復する時間  $t_2$  に比べて、短くなるということになり、④、⑤、⑥が当てはまることとなります。

**エ**

しかし、実験の結果は  $t_1$  と  $t_2$  は同じであるということでした。したがって、エーテルの風によって、光の速さは変化しないということが言えます。言い換えると、エーテルの風は観測されなかったということになります。

つまり、答えは②、⑤が当てはまることとなります。

したがって、**ア**、**イ** 両方に当てはまる⑤が答えとなります。

このマイケルソンの実験によって、エーテルの風は観測されませんでした。そして、エーテルは本当に存在するものなのかということが疑問視されました。ローレンツはエーテルは存在するもので、エーテルの風と同様の効果を距離の短縮によって証明しようとしていました。しかし、距離の相対性の観点から示すことができませんでした。そこで、アインシュタインは発想を変え、光の速さが不変であるという事実から理論を組み立てることにしました。これが相対性理論の出発点です。この理論の中ではエーテルの存在が必要なくなり、エーテルは存在しないという考え方が現在の考えとなっています。

# 第4問

サウル・パールムッター他 2011年ノーベル物理学賞

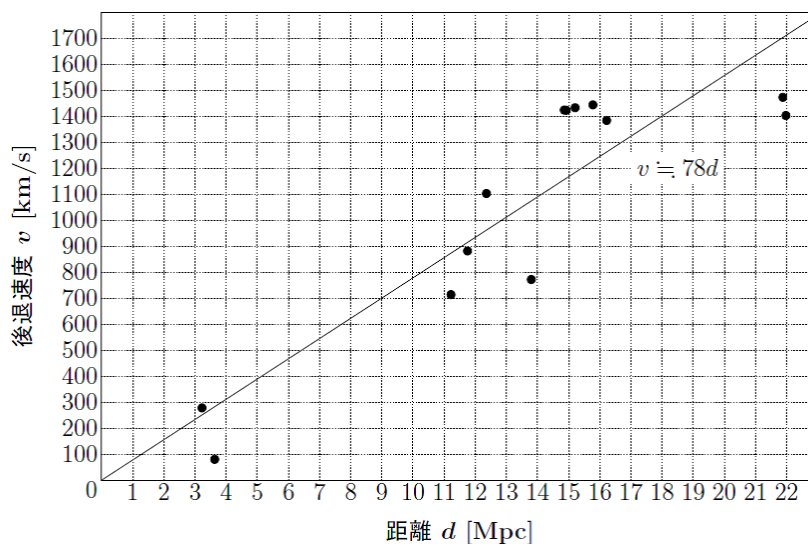
問1 ③

宇宙膨張によってすべての天体間の距離は伸びます。宇宙膨張の様子は、風船の他にブドウパンを焼くと膨らむことにも例えられます。また、天体間の距離関係を説明する場合は、ゴムひもにも例えられることが多いです。

つまり、答えは③となります。

問2 ②

グラフの点に  $v = Hd$  の近似直線をひくと次のようになります。



グラフにひいた近似直線は、その傾きがおよそ78になります。直線の傾きがハッブル定数となるので、一番近いものは  $H = 80 \text{ km/s}\cdot\text{Mpc}$  となります。

つまり、答えは③となります。ちなみに、現在のハッブル定数は  $72 \text{ km/s}\cdot\text{Mpc}$  とされています。

## 問3 ⑨

赤方偏移量  $Z$  に  $\lambda'$  を代入すると、

$$Z = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} - 1$$

となります。ハッブル定数  $H$  や光の速さ  $c$  は不変と考えているので、上式から赤方偏移量  $Z$  が大きくなると後退速度  $v$  も大きくなることが分かります。さらに、上式にハッブルの法則  $v = Hd$  を代入すると、

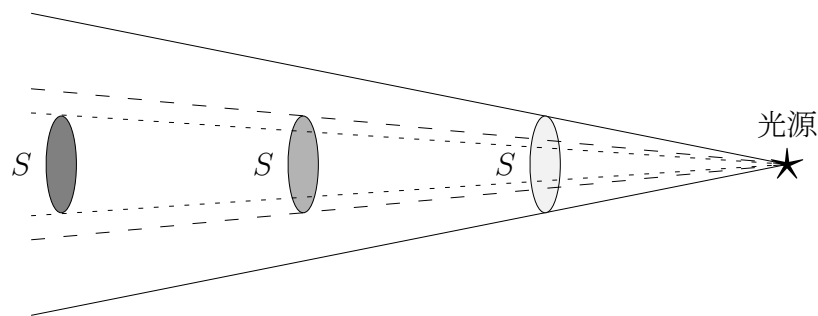
$$Z = \sqrt{\frac{1 + \frac{Hd}{c}}{1 - \frac{Hd}{c}}} - 1$$

となります。こちらもハッブル定数  $H$  や光の速さ  $c$  は不変と考えているので、赤方偏移量  $Z$  と  $d$  が大きくなるも大きくなることが分かります。

つまり、答えは⑨となります。

## 問4 ①

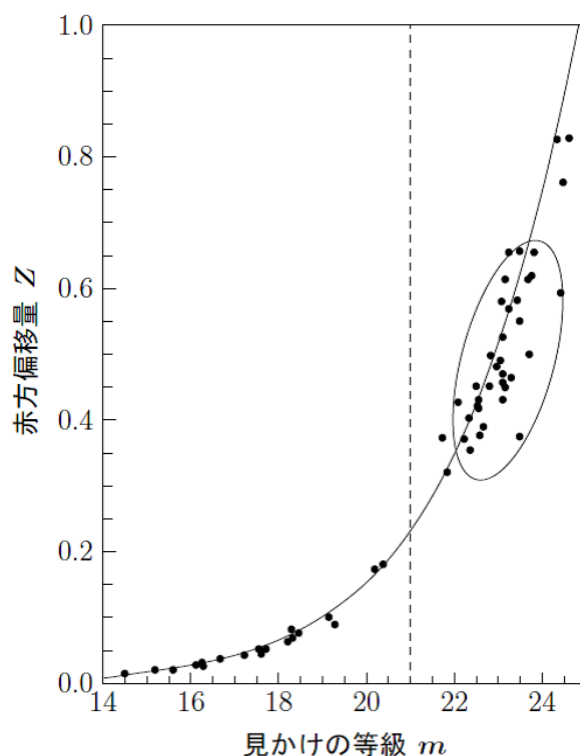
見かけの等級  $m$  から地球から天体までの距離  $d$  を推定することができます。明るさは、光源からの距離が遠くなるにつれて暗くなります。これは、光が均一に周りに広がっていくため同じ面積（下図では面積  $S$ ）の中に届く光の量が少なくなるからです。



したがって、 $m$  が大きくなると  $d$  も大きくなります。また、問3では赤方偏移量  $Z$  が大きくなると後退速度  $v$  も大きくなると思えました。これは同時に、赤方偏移量  $Z$  が小さくなると後退速度  $v$  も小さくなるということも意味しています。ハッブルが発見した法則  $v = Hd$  より、ハッブル定数は

$$H = \frac{v}{d}$$

となります。



そして、上のグラフの楕円で囲ったところでは、赤方偏移量  $Z$  は予想される曲線よりも小さくなっている傾向があることが読み取れます。つまり、過去において天体の後退速度は小さくなり、上式より過去においてハッブル定数  $H$  が小さくなっていると考えられます。したがって、過去から現在にかけてハッブル定数は大きくなっており、宇宙は加速膨張していると考えられます。

つまり、答えは①となります。

本問では加速膨張しているという事実に絞って出題しましたが、さらに遠くの天体を観測すると理論曲線よりも明るくなっているという観測結果が得られます。これは、最近減速膨張から加速膨張に転じたことを意味しています。



京都物理コンテスト2012 解答・解説  
京都物理グランプリ2012 運営委員会