物理チャレンジ **2010**

第１チャレンジ

理論問題コンテスト

2010 年 **6** 月 **20** 日（日）

13：30～15：00

理論問題コンテストにチャレンジする前に下記の＜注意事項＞をよく読んでください。
問題は第１問から第５問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。
最後まであきらめず，チャレンジしてください。

＜注意事項＞

1. 開始の合図があるまで，問題冊子（全 22 ページ）を開けてはいけません。
2. 電卓を使用することはできません。携帯電話などを時計として使用することはできません。携帯電話などの電源は切ってください。
3. 参考図書（教科書，参考書，問題集，ノート，専門書）を１冊に限り持ち込むことができます。解答用紙の指定の欄に，持ち込んだ参考図書名を記入してください（参考図書を持ち込まなかった場合は「なし」と書いてください）。
4. 開始の合図の前に，**解答用紙（マークシート用紙）に，第1チャレンジ番号，氏名と持ち込んだ図書を必ず記入（マーク）**してください。
5. 問題ごとに $\boxed{1}$，$\boxed{2}$，. . . $\boxed{36}$，と指定されているので，**必ず，その番号の解答欄にマークしてください**。
6. 終了の合図があるまで，監督者の許可なしに，部屋の外に出ることはできません。
7. 気分が悪くなったとき，トイレに行きたくなったときは，手を挙げて監督者に知らせてください。
8. 他の参加者の迷惑にならないように静粛に解答をすすめてください。迷惑行為があった場合は退出していただきます。
9. 退出の際に問題冊子は持ち帰ってください。

第１問　次の問い（**問１～7**）に答えなさい。

問１　図１のように，水平な台の上に円形に曲げたチューブが置かれている。チューブは円の 3/4 の長さである。ボールを一端から投げ入れると，もう一端から飛び出るボールの軌跡はどのようになるだろうか。最も適当なものを，図中の①～④の中から１つ選びなさい。 $\boxed{1}$

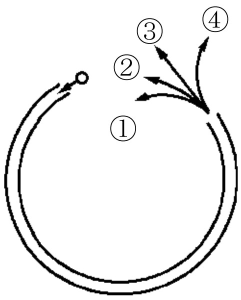


図１

問２　図 2 に示したような 4 つの容器にそれぞれ水が入っており，水の表面は上下になめらかにすべる蓋(ふた)で隙間なく覆(おお)われている。ふたの上におもりを置いたとき，おもりとつり合う力 F_a, F_b, F_c, F_d を小さい順に並べなさい。最も適当なものを，次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし，蓋の質量は無視できるものとし，それぞれの筒の断面積は d の場合を除いて等しいものとする。 $\boxed{2}$

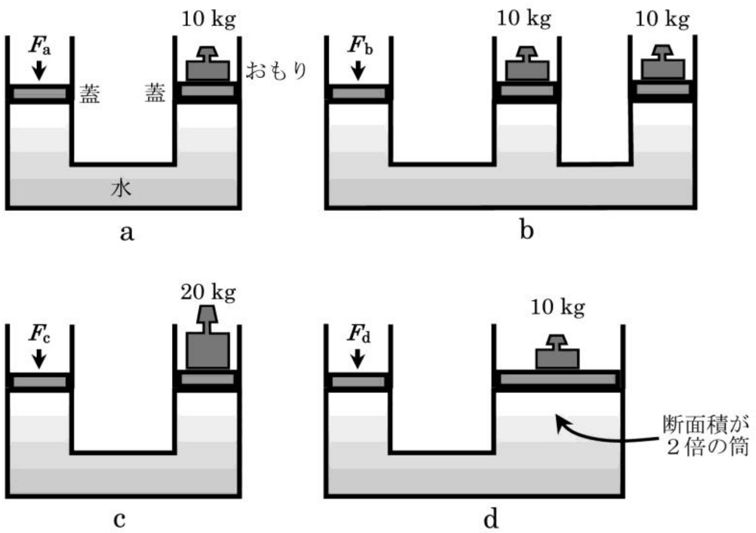


図２

① $F_a = F_b = F_c = F_d$　　② $F_a = F_d < F_b = F_c$　　③ $F_d = F_a = F_b < F_c$

④ $F_d < F_a = F_b < F_c$　　⑤ $F_d < F_a < F_b = F_c$　　⑥ $F_a < F_b = F_c < F_d$

問３　体重 W の生徒が，高さ h の階段を時間 t で駆け上がった。図３の a から d の場合（W, h, t の値は各々の図に示した）について，それぞれの仕事率 P_a，P_b，P_c，P_d を計算し，それらを小さい順に並べなさい。最も適当なものを，下の①～⑥の中から１つ選びなさい。 $\boxed{3}$

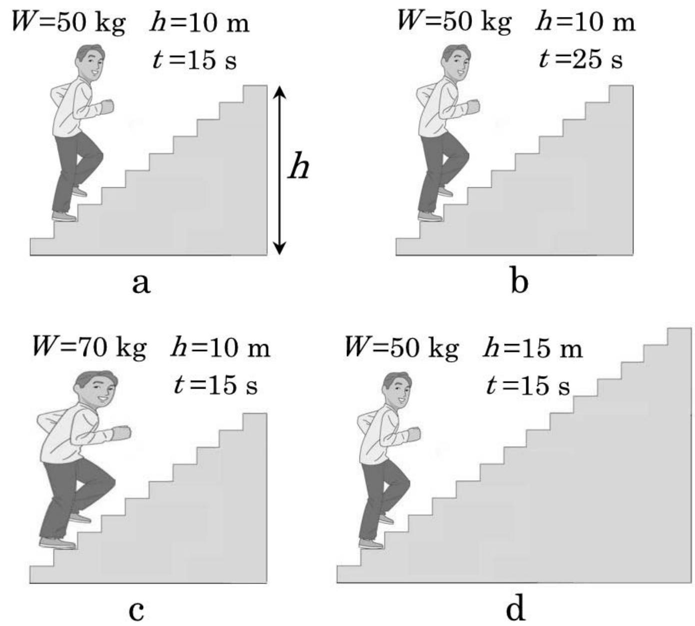


図３

① $P_a<P_b<P_c<P_d$　② $P_d<P_a<P_b<P_c$　③ $P_c<P_d<P_a<P_b$
④ $P_a<P_b<P_d<P_c$　⑤ $P_a<P_c<P_d<P_b$　⑥ $P_b<P_a<P_c<P_d$

問４　地球から太陽までの距離を求めるときには，視直径という概念を用いると便利である。地球から太陽の視直径とは，図 4 のように，地球からの視点と太陽の直径とを結んだときのなす角度であり，0.5 度である。太陽の半径を 70 万 km として太陽までの距離を見積もりなさい。最も適当なものを，下の①～⑥の中から１つ選びなさい。 $\boxed{4}$

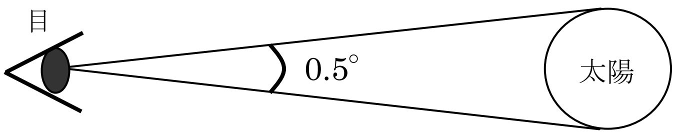


図４

① 8000 万 km　② 1 億 6000 万 km　③ 2 億 4000 万 km
④ 3 億 2000 万 km　⑤ 3 億 8000 万 km　⑥ 4 億 km

問５　ある電車が一つの駅から次の駅まで走るとき，その速さは図 5 のような時間変化をしていた。この 2 つの駅の間の距離はいくらか。最も適当な値を，下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。　$\boxed{5}$

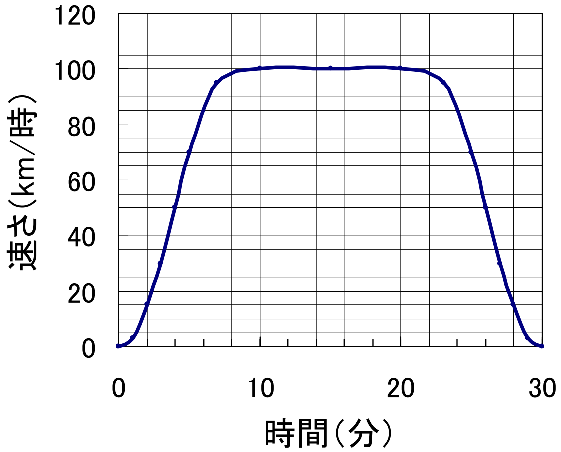


図５

①　17 km　　②　27 km　　③　37 km
④　47 km　　⑤　57 km　　⑥　67 km

問６　バネにはたらく力 f はバネの伸び x に比例し，$f = k\,x$ と表される。これをフックの法則，比例係数 k をバネ定数という。あるバネに質量 0.1 kgのおもりをいくつか吊り下げ，バネの伸び x を測定した結果が図 6 のグラフである。この結果から，このバネのバネ定数 k を求めよ。最も適当な値を，下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし，重力加速度 10 m/s² として計算せよ。　$\boxed{6}$

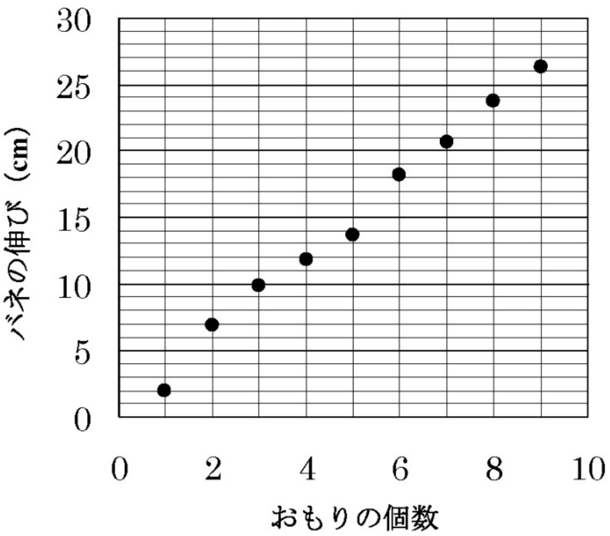


図６

①　2.9 N/m　　②　29 N/m　　③　0.24 N/m
④　24 N/m　　⑤　34 N/m　　⑥　0.34 N/m

問 7　振り子時計は，単振り子の原理を利用した時計であり，振り子の振動回数に比例して針が進む仕組みになっている。重力加速度 g のもとで，長さ l の単振り子の周期 T は,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

である。

ある場所で正しく調整した振り子時計を他の場所に移動させると，重力加速度の値が変わってしまうため，時計が遅れたり進んだりしてしまう。沖縄での重力加速度の値は 9.79 m/s^{2}であり，そこで正しく調整した振り子時計を南極の昭和基地に持っていって使用した。昭和基地での重力加速度の値は 9.83 m/s^{2}である。１日（＝24 時間＝86400 秒）経過したとき，この振り子時計はどれだけの遅れ、または進みが生じているか，最も適当なものを，下の①～⑥の中から１つ選びなさい。なお，必要なら，xが 1 に比べて十分小さいとき次の近似式が成り立つことを用いてよい。

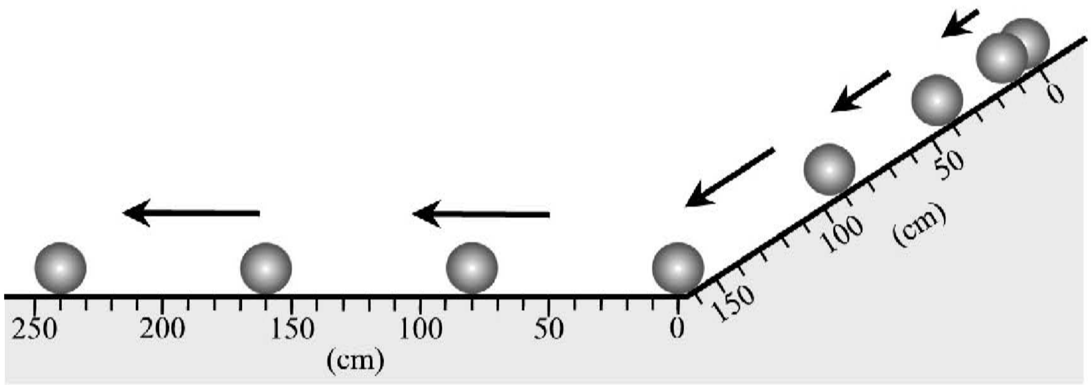
$$\sqrt{1-x} \fallingdotseq 1-\frac{x}{2}$$

$\boxed{7}$

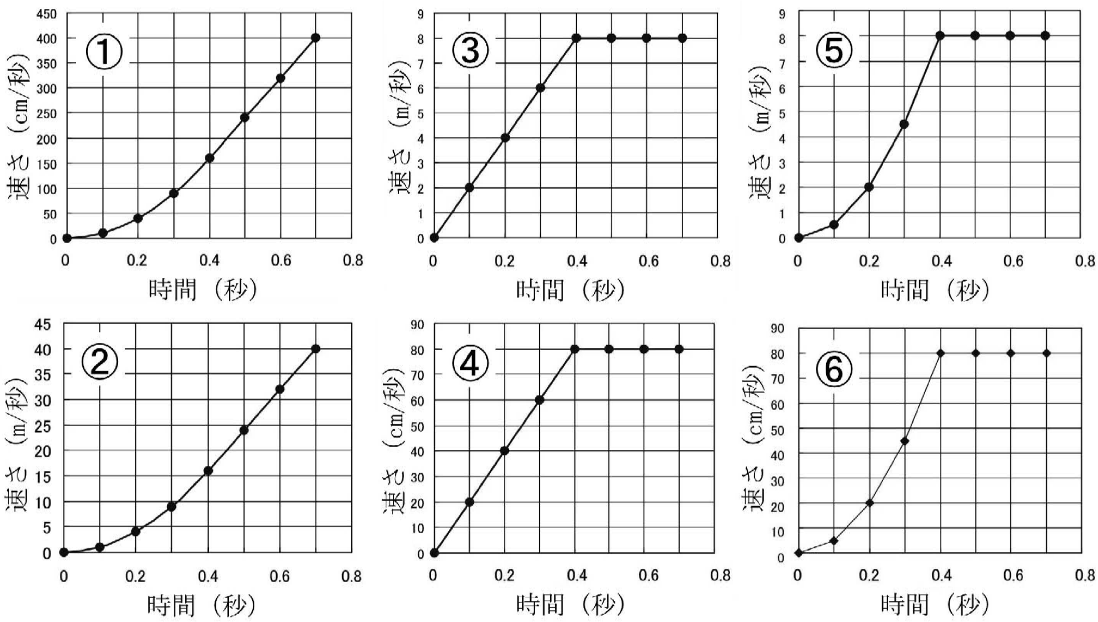
① 1.5 分進んでいる　② 3 分進んでいる　③ 6 分進んでいる
④ 1.5 分遅れている　⑤ 3 分遅れている　⑥ 6 分遅れている

第２問　問Ａ（問１～2)，Ｂ（問３～４)，Ｃ（問５～７）に答えなさい。

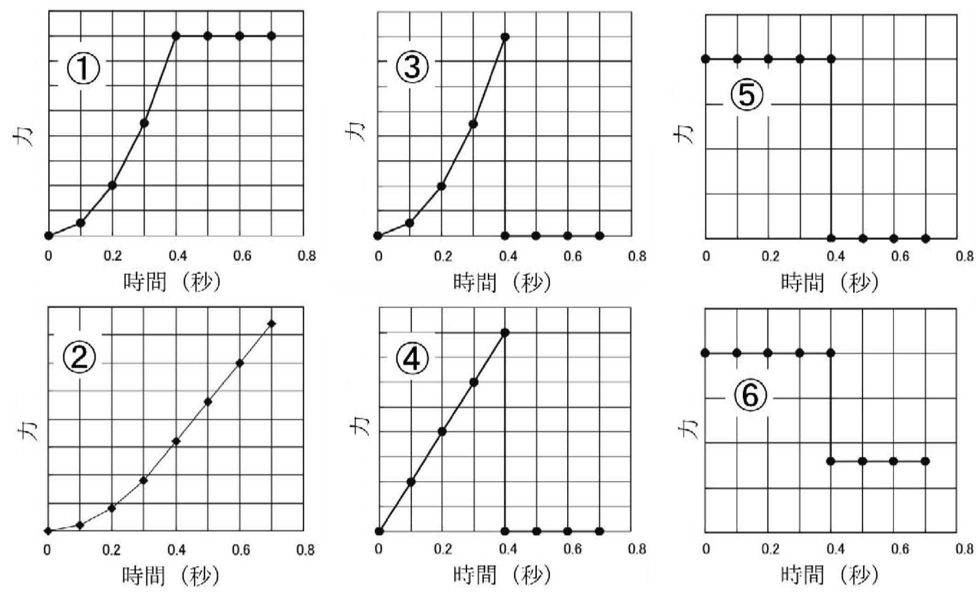
Ａ　ボールが斜面を転がり落ちて水平面に達して進んでいるようすをビデオカメラで撮影し，0.1 秒ごとの位置を記録し，図示した。斜面および水平面には 10 cm間隔で目盛がついている。



問１　ボールの速さの時間変化を表すグラフとして，最も適当なものを，次の①～⑥の中から１つ選びなさい。　**8**



問２　ボールの運動方向にはたらく力の大きさの時間変化を表すグラフとして最も適当なものを，次の①～⑥の中から１つ選びなさい。 $\boxed{9}$



B 現在, 国際的に共通して使われている単位系では, 長さをメートル(m), 質量をキログラム（kg), 時間を秒（s), 電流をアンペア（A）として, 他の単位はこれらの掛け算で表される。例えば, 速さは1秒間に進む距離（m/s）なので,

$$[\text{速さ}] = m^{1} \cdot kg^{0} \cdot s^{-1} \cdot A^{0}$$

と表される。電荷の単位 クーロン（C）は 1 C= 1 A×1 s で定義されるので,

$$[\text{電荷}] = m^{0} \cdot kg^{0} \cdot s^{1} \cdot A^{1}$$

と表される。

問3 バネ定数を同様に書き表した場合, 次の a〜d に入る数字として正しい組み合わせを下の①〜⑥の中から1つ選びなさい。

$\boxed{10}$

$$[\text{バネ定数}] = m^{\boxed{a}} \cdot kg^{\boxed{b}} \cdot s^{\boxed{c}} \cdot A^{\boxed{d}}$$

	a	b	c	d
①	1	1	−1	0
②	0	1	−2	0
③	−1	1	−1	0
④	0	1	−2	−2
⑤	2	1	−1	−1
⑥	0	−1	−2	−1

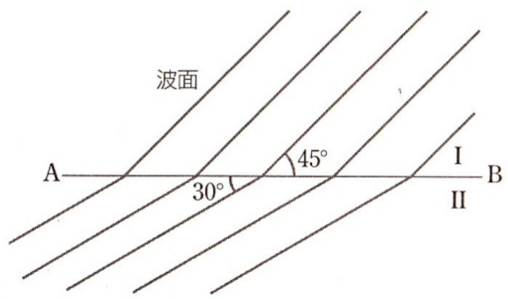
問4 電圧の単位 ボルト（V）を同様に書き表した場合, 次の a〜d に入る数字として最も適当な組み合わせを下の①〜⑥の中から1つ選びなさい。

$\boxed{11}$

$$[\text{電圧}] = m^{\boxed{a}} \cdot kg^{\boxed{b}} \cdot s^{\boxed{c}} \cdot A^{\boxed{d}}$$

	a	b	c	d
①	2	2	−3	1
②	3	2	−2	1
③	1	1	−2	2
④	2	2	−1	−2
⑤	2	1	−3	−1
⑥	2	−1	−3	−1

C　次の図のように，水面波が，水深が変化している境界面ABで屈折している。図の中の直線は波面を表している。波はⅠからⅡに向かって進んでいる。



問５　入射角と屈折角はいくらか。最も適当な組み合わせを，次の①～④の中から１つ選びなさい。　12

	入射角	屈折角
①	30 度	45 度
②	60 度	45 度
③	45 度	30 度
④	45 度	60 度

問６　Ⅰに対するⅡの屈折率はいくらか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から１つ選びなさい。　13

①　0.58　　②　0.71　　③　1.2　　④　1.4　　⑤　1.72

問７　Ⅰの領域での水面波の振動数は 10 Hz，波長は 5.0 cm であった。Ⅱの領域での水面波の波長と速さはいくらか。最も適当な組み合わせを，次の①～④の中から１つ選びなさい。　14

	波長	速さ
①	3.5 cm	0.35 m/s
②	3.5 cm	0.71 m/s
③	7.1 cm	0.35 m/s
④	7.1 cm	0.71 m/s

第３問　問A（問１～３），B（問４～７），C（問８～11），D（問12～13）に答えなさい。

A　図１のように，電池に豆電球（A，B）を直列につないだ。豆電球の規格は等しく，同じ明るさでともっている。

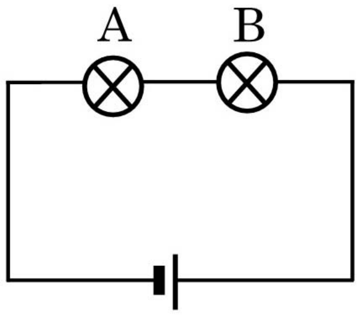


図１

問１　図２のように，豆電球Bに並列に同じ規格の豆電球Cを接続する。豆電球の明るさはどのようになるか。最も適当なものを，次の①～④の中から１つ選びなさい。 15

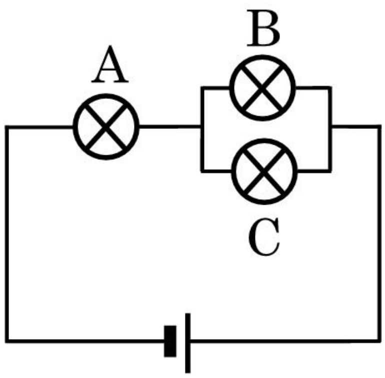


図２

①　Aは，B，Cよりも暗くなる。
②　Aは，B，Cよりも明るくなる。
③　Cをつないでも，A，Bともに最初と明るさは変わらない。
④　Cをつなぐと，A，Bともに暗くなる。

問２　図３のように，図２の回路にさらに，豆電球Aに並列に同じ規格の豆電球Dを接続した。豆電球Bの明るさはどのようになるか。最も適当なものを，次の①～④の中から１つ選びなさい。 16

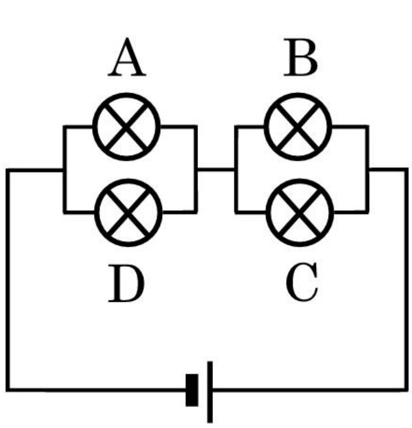


図３

① Bは，図２の時よりも暗くなる。
② Bは，図２の時よりも明るくなる。
③ Bは，Dをつないでも図２の時と明るさは変わらない。
④ Bは，Dをつなぐと図２の時より暗くなり，A～Dの明るさは同じになる。

問３ ５つの同じ規格の電球 A, B, C, D, E を図のように接続して電池につないだ。電球を明るい順に並べたものはどれか。最も適当なものを，下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし，電球の電気抵抗は流れる電流によらず一定であるものとする。

17

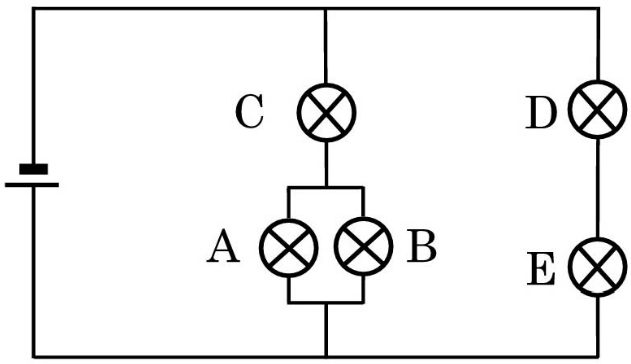


図４

① A＝B＞C＞D＝E	② A＝B＞D＝E＞C	③ C＞D＝E＞A＝B
④ C＞A＝B＞D＝E	⑤ D＝E＞A＝B＞C	⑥ D＝E＞C＞A＝B

B　乾電池は化学的に電圧を生じさせる道具である。このため，電池の中にも抵抗があり，これを内部抵抗という。電池に内部抵抗があることを考慮して以下の問いに答えなさい。

問４　テスター（電圧計）を電池の両端に接触して，電池の電圧を測定した。この状態のまま，電池の両端に豆電球をつなぎ点灯させた。テスターの電圧の読みはどうなるか。最も適当なものを，次の①～③の中から１つ選びなさい。 18

①　変わらない　　②　大きくなる　　③　小さくなる。

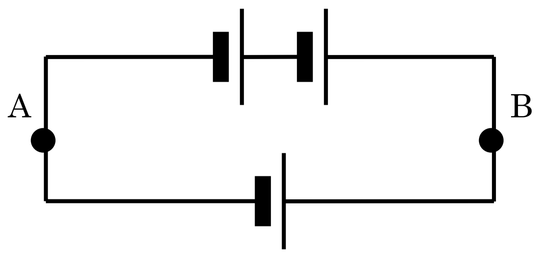
問５　問 4 の状態で，さらに豆電球をもう１個並列につないで点灯させた。テスターの電圧の読みはどうなるか。最も適当なものを，次の①～③の中から 1 つ選びなさい。 19

①　変わらない　　②　大きくなる　　③　小さくなる。

問６　問 4 の状態から，今度は２つの豆電球を直列につないで点灯させた。テスターの電圧の読みはどうなるか。最も適当なものを，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。 20

①　電圧の読みは問４の時と変わらない。
②　電圧の読みは問５の時と変わらない。
③　電圧の読みは問５の時と比べて大きくなる。
④　電圧の読みは問５の時と比べて小さくなる。

問７　次の図のように，起電力 1.5 Ｖの乾電池 2 本を直列につなぎ，さらにもう 1 本を並列につないだ。Ａ，Ｂ間の電圧を測定すると何Ｖになるか。最も適当なものを，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし，起電力や内部抵抗の大きさは等しいとする。 21



①　3.0Ｖ　　②　2.25Ｖ　　③　2.0Ｖ　　④　1.5Ｖ

C　図１のように，凸レンズをつかって光源の像をスクリーン上に映し出した。凸レンズの焦点距離を f，凸レンズと光源の距離を a，凸レンズとスクリーンの距離を b とすると，$f < a < b$ であった。

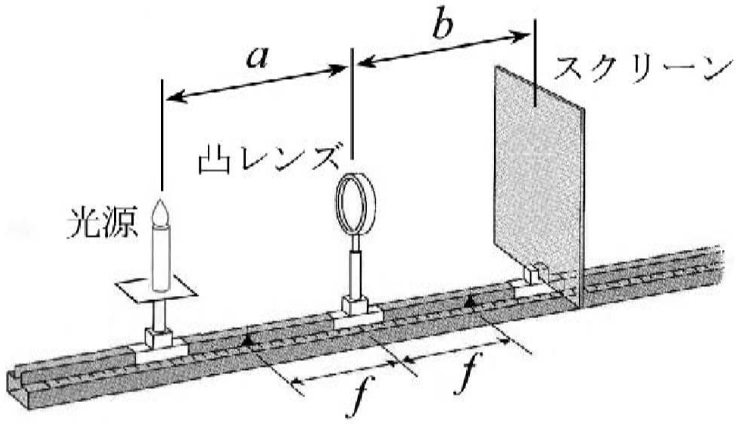


図１

問８　このとき，スクリーンにはどのような像が映っているか。最も適当なものを，次の①～④の中から１つ選びなさい。 22

① 倒立して，実物よりも大きな像　② 正立して，実物よりも大きな像
③ 倒立して，実物より小さな像　④ 正立して，実物より小さな像

問９　次に，光源を凸レンズから少し遠ざけた。その状態で，スクリーン上に像を得るにはどうしたらよいか。最も適当なものを，次の①～⑥の中から１つ選びなさい。 23

① スクリーンも凸レンズから遠ざける。その結果，像は問８より大きくなる。
② スクリーンも凸レンズから遠ざける。その結果，像は問８より小さくなる。
③ スクリーンは凸レンズに近づける。その結果，像は問８より大きくなる。
④ スクリーンは凸レンズに近づける。その結果，像は問８より小さくなる。
⑤ スクリーンは移動させないでよい。像は問８より大きくなる。
⑥ スクリーンは移動させないでよい。像は問８より小さくなる。

問 10　問 8 の状態で, 図 2 に示すように, 凸レンズの上半分を黒紙でおおった。このとき, スクリーン上にはどのような像が写っているか。最も適当なものを, 次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。 $\boxed{24}$

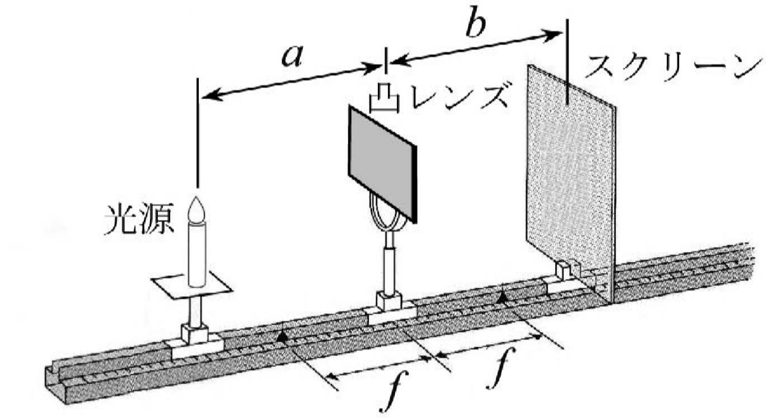


図 2

① まったく何も写らない。
② 問 8 と同じ像だが, やや暗い像。
③ 問 8 の像のうち, 上半分のみが映る。
④ 問 8 の像のうち, 下半分のみが映る。
⑤ 問 8 の像と同じ形だが, やや小さい像。
⑥ 問 8 の像と同じ形だが, やや大きい像。

問 11　図３のように，問８の状態でスクリーンの位置からさらに a の距離にもう１つの凸レンズを置いた。つまり，２つの凸レンズの間の距離を $a+b$ にした。そして，第２の凸レンズとスクリーンの距離を b にすると，スクリーン上に像が得られた。このとき，どのような像が見えるか。最も適当なものを，次の①〜⑥の中から１つ選びなさい。ただし，２つの凸レンズの焦点距離は等しいとする。

$\boxed{25}$

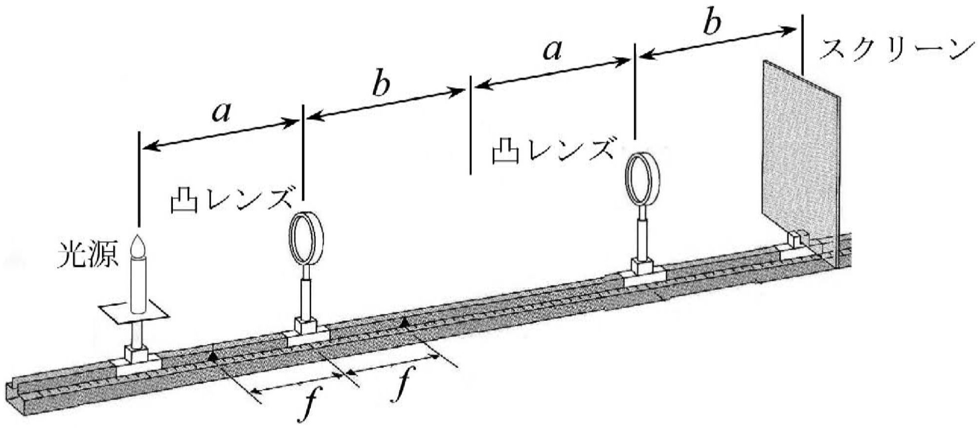
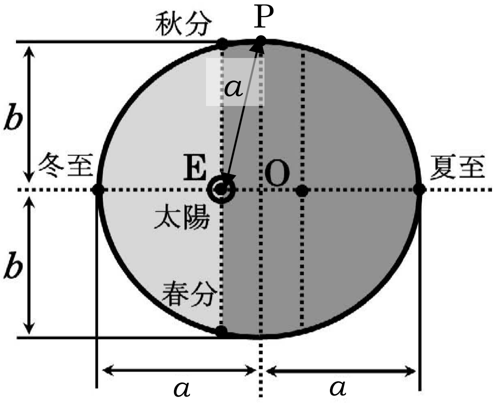


図３

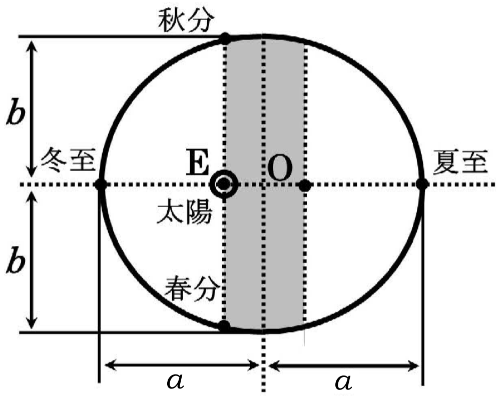
① 問８の場合と同じ大きさで，倒立した像
② 問８の場合と同じ大きさで，正立した像
③ 問８の場合より大きな像で，倒立した像
④ 問８の場合より大きな像で，正立した像
⑤ 問８の場合より小さな像で，倒立した像
⑥ 問８の場合より小さな像で，正立した像

D　ケプラーの第 1 法則は，「惑星は太陽を 1 焦点とする楕円軌道を描く」である。地球も楕円軌道を描いているため，春分 → 夏至 → 秋分の日数n_sとし，秋分 → 冬至 → 春分の日数をn_wとすると，n_sとn_wは異なっている。この差（n_s-n_w）を次の順にしたがって求めよう。

次の図のような地球の軌道を考える。楕円の長軸を $2a$，短軸を $2b$ とする。楕円の短軸の頂点を P とし，太陽の位置（焦点）を E とすれば，PE＝a である。地球が太陽に最も近づく点（近日点）は冬至に近く，最も離れる点（遠日点）は夏至に近い。そこで冬至，夏至のときを楕円の長軸上と見なしている。



A



B

問 12　楕円の中心 O から太陽の位置 E（焦点）までの距離 OE を，a と b を用いて表しなさい。最も適当なものを，次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。

$\boxed{26}$

①　$a+b$　　②　$a-b$　　③　a^2+b^2

④　a^2-b^2　　⑤　$\sqrt{a^2+b^2}$　　⑥　$\sqrt{a^2-b^2}$

ケプラーの第 2 法則は，「惑星の面積速度は一定である」である。面積速度とは，惑星と太陽を結ぶ線分が一定時間に掃く図形の面積のことである。

地球と太陽を結ぶ線分が 1 年間（＝365 日）に掃く図形の面積は、楕円全体の面積（$S=\pi ab$ で求められる）にあたる。n_wの間に掃くのは図Aの太陽の位置Eより左側の領域（薄い影）の面積，n_sの間に掃くのは図Aの太陽の位置Eより右側の領域（濃い影）の面積に対応する。すると，（n_s-n_w）は 2 つの領域の面積の差，すなわち，図Bの影部の面積に対応する。この影部の面積を $2b\times2\mathrm{OE}$ の長方形の面積として近似的に求めると，

$$\frac{4b\times\mathrm{OE}}{S}=\frac{n_S-n_W}{365}$$

が成り立つ。地球軌道の測定データによると，

$$\frac{\mathrm{OE}}{a} \fallingdotseq 0.017$$

である。

問 13　（$n_{\mathrm{s}} - n_{\mathrm{w}}$）はいくらか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 $\boxed{27}$

①　2 日　②　4 日　③　6 日　④　8 日　⑤　10 日

第４問　次の文を読んで，問い（問１～5）に答えなさい。

原子や原子核のようなミクロな現象では, エネルギーの単位はエレクトロンボルト（記号は eV）を用いることが多い。1eV は，電子を 1V の電圧で加速したときの運動エネルギーである。

問１　1Jは何MeVか。電子の電荷を 1.60×10^{-19} Cとして計算しなさい。最も適当なものを，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし，1 MeV＝10^6 eVである。　$\boxed{28}$

①　1.6×10^{13} MeV　　②　1.6×10^{-13} MeV　　③　6.3×10^{12} MeV　　④　6.3×10^{-12} MeV

Z 個の陽子（1 個の質量 m_p ）と N 個の中性子（1 個の質量 m_n ）からなる質量数 $A=Z+N$ の原子核の質量を M とすると，M は，陽子と中性子の質量の総和より小さい。その差，　$\Delta m = Zm_\mathrm{p} + Nm_\mathrm{n} - M$ を質量欠損という。質量欠損が生じる理由は結合状態の方がエネルギーが低く，安定なためである。そのエネルギーの低下分を原子核の結合エネルギーと呼ぶ。結合エネルギー B は，真空中の光速を c として，

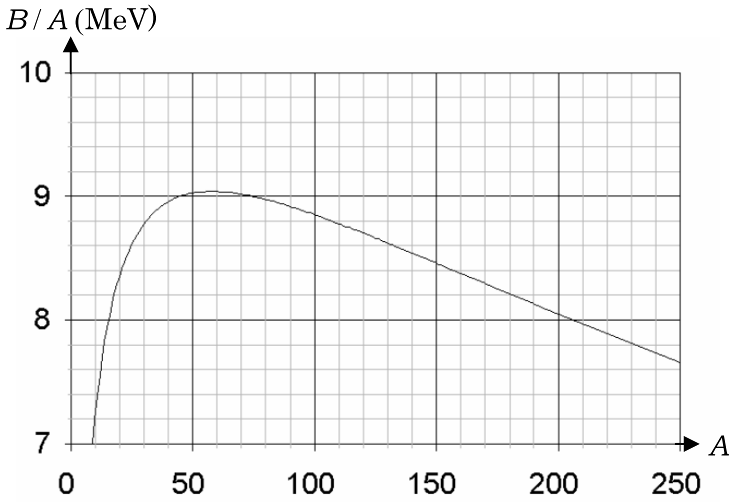
$$B = \Delta mc^2 = Zm_\mathrm{p}c^2 + Nm_\mathrm{n}c^2 - Mc^2$$

と表される。

次ページのグラフは，核子（陽子あるいは中性子）１個あたりの結合エネルギー B/A を，原子核の質量数 A に対してプロットしたものである。質量数がある程度大きくなっていくと，核子のうち陽子同士の電気的な反発力が増えてくるので，B/A は小さくなっていく。$A=100$ より大きい範囲では直線と見なせるので，B/A の値は，

$$\frac{B}{A} = \boxed{\text{(a)}} - \boxed{\text{(b)}} \times A \text{〔MeV〕}$$

と近似できる。



問２　(a) に入る最も適当な数値を，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

$\boxed{29}$

①　10.0　　②　9.6　　③　9.0　　④　8.5　　⑤　8.0

問３　(b) に入る最も適当な数値を，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

$\boxed{30}$

①　8.0　　②　8.0×10^{-1}　　③　8.0×10^{-2}　　④　8.0×10^{-3}　　⑤　8.0×10^{-4}

問４　α 崩壊とは，放射性の原子核から質量数 4 のヘリウム原子核 $^{4}\mathrm{He}$ が放出される過程である。質量数 A の原子核 X は $^{A}\mathrm{X}$ と表され，原子核 $^{A}\mathrm{X}$ の α 崩壊は，

$$^{A}\mathrm{X} \ \rightarrow \ ^{A-4}\mathrm{Y} + {}^{4}\mathrm{He}$$

と表される。原子核 $^{A}\mathrm{X}$，$^{A-4}\mathrm{Y}$，$^{4}\mathrm{He}$ の結合エネルギーをそれぞれ $B_{\mathrm{X}}, B_{\mathrm{Y}}, B_{\alpha}$ と書くと，静止した原子核 $^{A}\mathrm{X}$ が α 崩壊を起こすための結合エネルギーに対する条件は，どのように表されるか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。

$\boxed{31}$

①　$B_{\mathrm{Y}} + B_{\alpha} > B_{\mathrm{X}}$　　②　$B_{\mathrm{X}} > B_{\mathrm{Y}} + B_{\alpha}$　　③　$B_{\mathrm{X}} + B_{\alpha} > B_{\mathrm{Y}}$

④　$B_{\mathrm{Y}} > B_{X} + B_{\alpha}$　　⑤　$B_{\mathrm{X}} + B_{\mathrm{Y}} > B_{\alpha}$

問５　原子核の質量数がある臨界値 A_{c} より大きな原子核は，結合エネルギーは小さいので α 崩壊してしまう。臨界値 A_{c} を求めよ。次の①～⑥の中から最も適当なものを 1 つ選びなさい。ただし，α 粒子の結合エネルギーは，$B_{\alpha} = 25.0\,\mathrm{MeV}$ である。

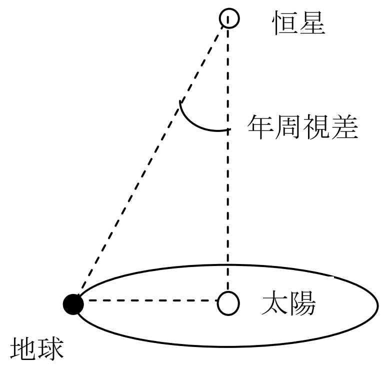
$\boxed{32}$

①　153　　②　179　　③　198　　④　211　　⑤　226　　⑥　235

第５問　次の文を読んで，問い（**問 1～問 4**）に答えなさい。

われわれの住んでいる地球は，広大な宇宙の中のほんの小さな天体に過ぎない。古くからわれわれ人類は，宇宙の神秘に思いをはせてきた。この宇宙について考えてみよう。

夜空に輝く星はいくつかの惑星を除くと太陽系外の恒星である。恒星は非常に遠方にあり，地球から見てほとんど動いては見えない。恒星までの距離が測られたのは，1838 年にベッセルがはくちょう座 61 番星の年周視差を測定したことによる。年周視差とは，地球の公転運動による見かけ上の位置変化で，地球の公転半径を底辺とする三角形の頂角の角度で表される。年周視差が 1 秒（1 度の 1/3600 の角度）になる距離は，1pc（パーセク）と呼ばれ， 3.26 光年（$=3.08\times10^{16}$m）にあたる。つまり，光が 3.26 年かかって到達する距離である。もっとも地球に近い恒星であるケンタウルス座 α 星でも年周視差は 0.76 秒である。



1989 年に打ち上げられたヒッパルコス衛星による測定は，大気による揺らぎがないため非常に正確で，半径 1000pc 以内の恒星約 12 万個の年周視差が測定されている。

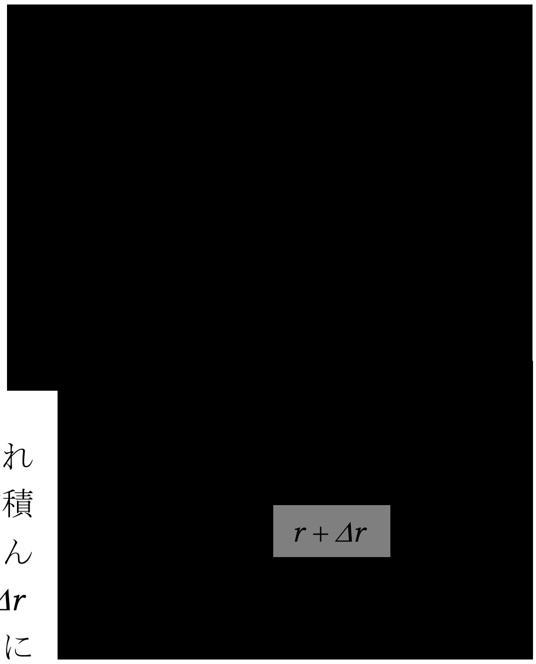
問１　ケンタウルス座 α 星までの距離は何 pc か。次の①～④の中から最も適当なものを選びなさい。　33

①　**0.76 pc**　　②　**1.3 pc**　　③　**2.5 pc**　　④　**4.3 pc**

ところが，太陽系の属する銀河系は，直径 10 万光年もある渦で，年周視差の測定で距離のわかる恒星は銀河系の中でも，太陽系の近くのほんの一部に過ぎない。

さらに遠方の天体までの距離は，脈動変光星の一種，セファイド変光星の観測を用いる。セファイド変光星の変光周期と絶対光度には比例関係があるため，変光周期とみかけの光度から，距離が決められる。現在， 20 Mpc（メガパーセク，パーセクの 100 万倍）程度までこの方法で測ることができる。

さて，恒星は無限の彼方まで存在するのであろうか。19 世紀の天文学者，オルバースは次のような議論を唱えた。



点光源から出る光の強さを考えよう。点光源から出る光が，距離rにある，一辺の長さaの正方形を通過するとしよう。その正方形を通過した光が距離$2r$に達するとき，一辺の長さ$2a$の正方形になっている。

太陽系から距離rとΔrの間にある恒星の数を考える。半径rの球の表面積は$4\pi r^2$であるから，Δrがrに比べて小さければ，半径rと$r+\Delta r$にはさまれる球殻の体積は，$4\pi r^2\Delta r$と考えてよい。宇宙に恒星がまんべんなく存在し，密度が一定ならば，厚さΔrの球殻に存在する恒星の数は距離rの 2 乗に比例することになる。

問２　これらのことを考えると，オルバースはどのような主張をしたと言えるか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 $\boxed{34}$

① 宇宙は無限に広く恒星の数も無限だが，恒星の明るさは距離に反比例して暗くなるので，見えなくなっていく。

② 宇宙は無限に広く恒星の数も無限だが，恒星の明るさは距離の 2 乗に反比例して暗くなるので，見えなくなっていく。

③ 恒星の明るさは距離に反比例して暗くなるが，一定の距離の間に存在する恒星の数が距離の 2 乗に比例するため，夜空が無限に明るくなるはずである。

④ 恒星の明るさは距離の 2 乗に反比例して暗くなるが，一定の距離の間に存在する恒星の数が距離の 2 乗に比例するため，夜空が非常に明るくなるはずである。

⑤ 宇宙は無限に広く，遠くなるほどより明るい恒星の数が増えるので，夜空が無限に明るくなるはずである。

1910 年代に遠方の銀河の赤方偏移が発見された。赤方偏移とは，光のスペクトルが本来よりも赤い方，つまり長波長側にずれて観測されることである。ドップラー効果を考えれば，遠ざかる光源から出る光は赤方偏移を生じることになる。1929 年，ハッブルは，われわれの銀河の外にある他の銀河の中にあるセ

ファイド変光星を観測し，銀河の後退速度と距離に比例関係があることを示した。これは，ハッブルの法則として知られる。

ハッブルの法則を式で表すと，

$$v = H \cdot r$$

となる。ここで，

v : 銀河の後退速度〔km/s〕，　r : 銀河までの距離〔Mpc〕，

H : ハッブル定数〔km/s/Mpc〕

ハッブルの求めた H の値は 500km/s/Mpc であった。遠い銀河ほど速く遠ざかるということは，宇宙全体が膨張していることになる。宇宙にある時点の始まり（ビッグバン, 大爆発の意）があり, 1 点から拡がって来ているというのが, いわゆるビッグバン理論である。

問３　ハッブルの求めた H の値をもとにすると，1Mpc 離れた銀河は 500km/s（光速の 1/600）で遠ざかっていることになる。その速度がビッグバン以降一定だったとすると，その銀河は銀河系と同じ 1 点から，何年かけて現在の位置に至ったと考えられるか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 $\boxed{35}$

① 6 億年　② 20 億年　③ 70 億年　④ 140 億年　⑤ 200 億年

問４　ビッグバン以来のハッブル定数の値と宇宙の膨張速度について考えるとどうなるか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。 $\boxed{36}$

① ハッブル定数が一定だったとすると，膨張速度は加速してきたことになり，膨張速度が一定だったとすると，ハッブル定数は減少してきたことになる。
② ハッブル定数が一定だったとすると，膨張速度は減速してきたことになり，膨張速度が一定だったとすると，ハッブル定数は減少してきたことになる。
③ ハッブル定数が一定だったとすると，膨張速度は一定だったことになり，膨張速度が一定だったとすると，ハッブル定数は一定だったことになる。
④ ハッブル定数が一定だったとすると，膨張速度は加速してきたことになり，膨張速度が一定だったとすると，ハッブル定数は増加してきたことになる。
⑤ ハッブル定数が一定だったとすると，膨張速度は減速してきたことになり，膨張速度が一定だったとすると，ハッブル定数は増加してきたことになる。

最新の観測データによると現在のハッブル定数は 70km/s/Mpc である。また，現在の宇宙理論によるとハッブル定数は一定でなく，また膨張速度も一定でないといわれている。