2014年度　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　S②

物　　　理

注　意

1. 問題は全部で16ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。（ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。）
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙（その1）はマーク・シートになっている。**HB**の黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ◯ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり╳をつけたりしてはいけない。

　解答記入例（解答が 1 のとき）

1	● ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。╳をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章の空欄(1)~(14)にあてはまる最も適切な式を**解答用紙(その2)**の解答欄に記入せよ。また，問1および問2の解答を**解答用紙(その2)**の解答欄に記入せよ。

図1—1のように，垂直に切り立った崖の上の水平面から大きさの無視できる小球Aを発射し，崖下の水平な底面ではね返らせる場合を考える。小球Aの質量をm，重力加速度をgとする。摩擦や空気抵抗はすべて無視できるものとする。図のようにx軸，y軸をとる。なお，小球の運動は紙面内に限るものとする。

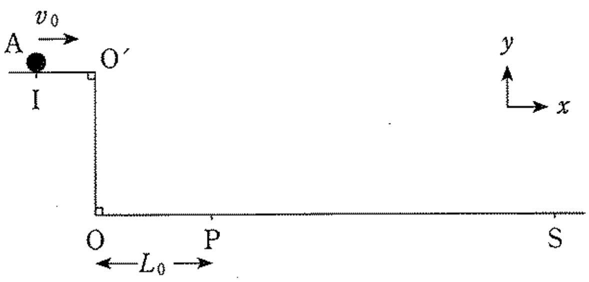

図1—1

小球Aを点Iから水平方向に速さv_0で発射したところ，時刻$t=0$で点O′を通過し，鉛直な崖OO′から落ち始めた。時刻$t=T_0$において，小球Aは点Pにおいて地面とはじめて衝突した。崖の高さは $\boxed{(1)}$ であり，またOP間の距離L_0は，$L_0=T_0\times$ $\boxed{(2)}$ である。地面と衝突する直前の小球Aの速度のx成分，y成分をそれぞれv_x，v_yとすると$v_x=$ $\boxed{(3)}$，$v_y=$ $\boxed{(4)}$ である。小球Aが地面に衝突するまでの間に重力から受けた仕事は$W=$ $\boxed{(5)}$ である。

小球Aは地面で弾性衝突をした。小球Aと地面との摩擦は無視できるので，衝突直後の小球Aの速度は$v'_x=$ $\boxed{(6)}$，$v'_y=$ $\boxed{(7)}$ となる。このとき，小球Aの受けた力積の大きさは $\boxed{(8)}$ である。

問 1　小球Aの運動の軌跡を解答用紙(その2)の図1—3に記入せよ。点Iを出発して点Pを通過し，さらに図1—3の点Sまたはその上を通過するまでの軌跡をすべて描くこと。

次に，図1—2のように，先ほどの崖OO′から距離L_1だけ離れたところに同じ高さの崖RR′がある場合を考える。点Iから小球Aを水平方向に速さv_1で発射すると，時刻$t = 0$で点O′を通過し，地面にN回衝突した後に，点R′にて反対側の崖の上に達し，R′F上を移動した。点R′に到達した時刻を$t = T_1$とすると，$T_1 = T_0 \times$ $\boxed{(9)}$ である。また$L_1 = T_0 \times$ $\boxed{(10)}$ である。

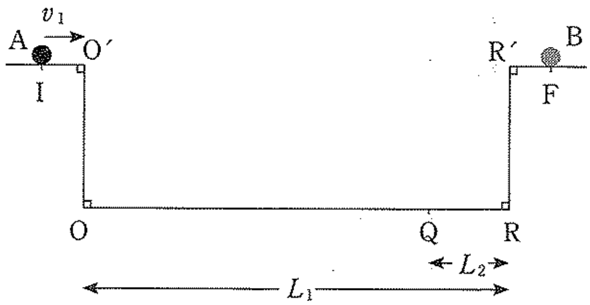

図1—2

小球Aは点Fに達したときに，大きさの無視できる小球Bと弾性衝突をした。小球Bの質量をMとする。ただし$M > m$である。小球Bと衝突した後，小球Aの速さは衝突前の速さの$\frac{2}{3}$倍であった。これより，$\frac{M}{m} =$ $\boxed{(11)}$ であることがわかる。

その後，小球Aは点R′を通過し，地面とN'回衝突してからそのまま元の崖OO′の上に達し，点Iに戻ったものとする。点R′を通過した時刻をt'とし，その後はじめて地面と衝突した点を点Qとする。このときの時刻を$t' + T_2$とすると，$T_2 = T_0 \times$ $\boxed{(12)}$ である。また，QR間の距離をL_2とすると，$L_2 = T_0 \times$ $\boxed{(13)}$ である。また，L_1とL_2の比より，$N' = N \times$ $\boxed{(14)}$ であることがわかる。

問 2　小球と地面との衝突回数 $N + N'$ を最も少なくなるように点 I に戻すことを考える。この場合の N および v_1 を求めよ。ここでは，N および N' が正の整数であることに注意せよ。v_1 は L_1 および T_0 を用いてあらわせ。

<余　　　白>

2 以下の空欄(1)〜(16)に最もよくあてはまる語句または式をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙（その１）**の対応する解答欄にマークせよ。空欄（４ａ）と（４ｂ）については，その組み合わせを答えよ。

図２―１のような，一辺の長さがLの正方形の形をした変形しないコイルABCDEFを考える。出力端子A，Fの間のすきまはLに比べてじゅうぶんに狭く，また導線の太さは無視できるものとする。コイルはCDおよびEBの中点でx軸と垂直に交わっていて，x軸を回転軸として一定の角速度ωで回転している。時刻$t=0$で，コイルはxy平面上にあり，このときのコイルの回転角を$\theta=0$とする。ここで，θの向きは図２―１のように決める。なお，図２―１における点線で描かれた正方形は$t=0$におけるコイルを示す。このコイルは，y軸の正の方向を向いた一様な大きさB_0の磁束密度の磁場中におかれている。

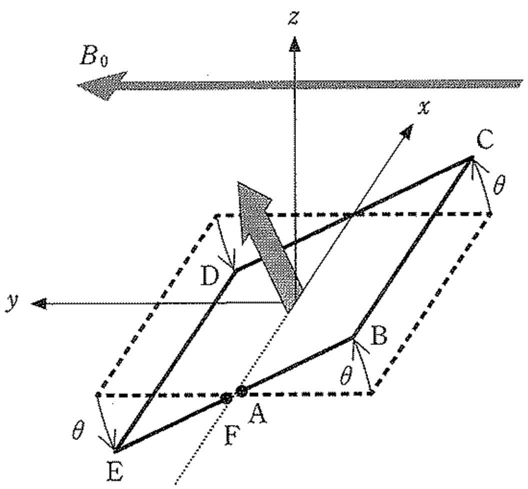

図２－１

このコイルABCDEFの面積はL^2であり，コイルの回転角$\theta=\omega t$を用いると，時刻tにコイルを貫く総磁束は$\Phi(t)=$ $\boxed{\quad(1)\quad}$ となる。ただし，図２―１の大きな矢印の方向に貫く磁束の向きを正とする。

(1)の解答群

① $LB_0\sin\omega t$　② $LB_0\cos\omega t$　③ $-LB_0\sin\omega t$

④ $-LB_0\cos\omega t$　⑤ $L^2B_0\sin\omega t$　⑥ $L^2B_0\cos\omega t$

⑦ $-L^2B_0\sin\omega t$　⑧ $-L^2B_0\cos\omega t$　⑨ L^2B_0

⓪ 0

このコイルにAからFの向きに生じる起電力について考えてみよう。電磁誘導の法則によると，起電力 $V(t)$ は $\Phi(t)$ を用いて

$$V(t)=-\frac{\Delta\Phi(t)}{\Delta t} \tag{1}$$

となる。ここで Δt は微少な時間間隔で，$\Delta\Phi$ はその間の Φ の変化である。

磁場中を回転するコイルに生じる起電力について，別の考え方で導出してみよう。まず準備として，図2―2のように，常に x 軸方向を向いた長さ L の一本の導線GHが，y 軸の正の方向を向いた一様な大きさ B_0 の磁束密度の磁場中におかれている場合を考える。導線の太さは無視できるものとする。導線GHが z 軸の正の方向に速さ v_z で動いているときの，導線内の自由電子に働くローレンツ力を考えてみる。導線内の自由電子は電荷 $-e<0$ を持ち，また導線GHに対して最初は静止していたとする。

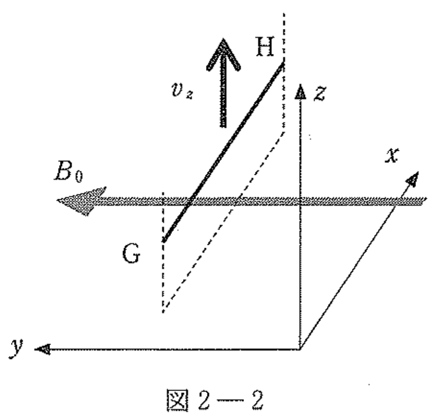

図2―2

このとき，磁場が y 軸の正の方向を向いていることから，1つの自由電子に働

くローレンツ力は $\boxed{\quad(2)\quad}$ の方向を向き，その大きさは$F=$ $\boxed{\quad(3)\quad}$ である。このようなローレンツ力によって，導線GH内の自由電子は移動し，導線内に電子密度の過剰・不足が生じる。このため，G端側は $\boxed{(4\,\mathrm{a})}$ に，H端側は $\boxed{(4\,\mathrm{b})}$ に帯電する。これによって導体内に電場が生じ，GH間に電位差が生じる。自由電子は，この電場による力とローレンツ力が釣り合ったときに移動が止まる。釣り合いの状態では電場は向きが $\boxed{\quad(5)\quad}$ の方向で大きさが$E=$ $\boxed{\quad(6)\quad}$ となる。これよりGH間には大きさ$V=$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ の電位差が生じる。これが起電力の起源である。この起電力の大きさに単位電荷をかけた量は，この単位電荷をGからHまで動かしたときにローレンツ力がする仕事の大きさに等しい。

一方で，導線GHがx軸方向に動くときには，自由電子に働くローレンツ力は $\boxed{\quad(8)\quad}$ を向くため，力の導線方向の成分は0となる。このため，起電力は生じない。また，導線GHがy軸方向に動くときには，ローレンツ力そのものが働かないため，起電力は生じない。したがって，導線GHを斜め方向に速度$(v_x,\ v_y,\ v_z)$で平行移動させたときの導線に生じる起電力の大きさも$V=$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ で表される。

(2)，(5)の解答群

① x軸正　② x軸負　③ y軸正　④ y軸負
⑤ z軸正　⑥ z軸負　⑦ 座標原点

(3)，(6)，(7)の解答群

① ev_z　② eB_0　③ eL　④ v_zB_0　⑤ v_zL
⑥ B_0L　⑦ ev_zB_0　⑧ ev_zL　⑨ eB_0L　⓪ v_zB_0L

(4 a)，(4 b)の組み合わせの解答群

① (4 a)　正　(4 b)　正　② (4 a)　正　(4 b)　負
③ (4 a)　負　(4 b)　正　④ (4 a)　負　(4 b)　負

(8)の解答群

① x 軸方向　② y 軸方向　③ z 軸方向　④ xy 面内
⑤ yz 面内　⑥ zx 面内　⑦ 座標原点の方向

それでは，図2―1の回転するコイルに生じる起電力について考えてみよう。まず，導線BC内の自由電子に働くローレンツ力を考える。時刻 t における導線BCの z 軸方向の移動速度は $v_z =$ $\boxed{(9)}$ であり，したがってこのときのローレンツ力の導線内BからCに向かう方向の成分は $\boxed{(10)}$ である。先ほどの議論より，このローレンツ力によって起電力が生じる。BC間の電位差の大きさは $\boxed{(11)}$ である。また，導線DE内の自由電子に働くローレンツ力についても同様に考えると，DE間の電位差の大きさは $\boxed{(12)}$ となる。

(9)の解答群

① $\dfrac{L}{2}\cos\omega t$　② $\dfrac{L}{2}\sin\omega t$　③ $\dfrac{L}{2}\omega\cos\omega t$
④ $\dfrac{L}{2}\omega\sin\omega t$　⑤ $\dfrac{L}{2}\omega\tan\omega t$　⑥ $-\dfrac{L}{2}\omega\cos\omega t$
⑦ $-L\omega\sin\omega t$　⑧ $L\omega\cos\omega t$　⑨ $-L\omega\tan\omega t$
⓪ $L\omega\sin\omega t$

(10)，(15)の解答群

① $eB_0L\sin\omega t$　② $eB_0L\cos\omega t$　③ $eB_0\dfrac{L}{2}\sin\omega t$
④ $eB_0\dfrac{L}{2}\cos\omega t$　⑤ $eB_0L\omega\sin\omega t$　⑥ $eB_0L\omega\cos\omega t$
⑦ $eB_0\dfrac{L}{2}\omega\sin\omega t$　⑧ $eB_0\dfrac{L}{2}\omega\cos\omega t$　⑨ eB_0L
⓪ 0

(11), (12)の解答群

① $B_0L^2\omega\cos\omega t$ ② $B_0L^2\omega\sin\omega t$ ③ $B_0\dfrac{L^2}{2}\omega\cos\omega t$

④ $B_0\dfrac{L^2}{2}\omega\sin\omega t$ ⑤ $B_0L^2\cos\omega t$ ⑥ $B_0L^2\sin\omega t$

⑦ $B_0\dfrac{L^2}{2}\cos\omega t$ ⑧ $B_0\dfrac{L^2}{2}\sin\omega t$ ⑨ B_0L^2

⓪ 0

次に，導線 AB の部分の起電力を同様に考えてみる。回転する導線 AB 上の自由電子の速度の向きは，必ず $\boxed{(13)}$ にあり，ローレンツ力は磁束密度の向きと速度の向きの両方に垂直なので必ず $\boxed{(14)}$ を向く。このような考え方により，この導線 AB 上の自由電子を導線の方向に動かそうとする力は $\boxed{(15)}$ となり，この部分のローレンツ力による起電力は 0 となる。同様にして，ローレンツ力によって CD 間および EF 間に生じる起電力も 0 である。

(13), (14)の解答群

① x 軸方向 ② y 軸方向 ③ z 軸方向 ④ xy 面内

⑤ yz 面内 ⑥ zx 面内 ⑦ 座標原点の方向

一周の回路 ABCDEF に働く起電力はこれらの和として求めることができる。端子 AF 間を閉じたときに電流が ABCDEF の向きに流れるときに起電力が正であるとして，それぞれの区間における起電力の向きに注意して和をとると $V(t)=\boxed{(16)}$ となる。

この結果は，電磁誘導の法則から導かれる起電力の式(1)と一致するはずである。実際，微分の考えかたを使えば式(1)から求めた起電力も $V(t)=\boxed{(16)}$ となり，両者が一致することを確認できる。

(16)の解答群

① $-2B_0L^2\omega\cos\omega t$　② $2B_0L^2\omega\cos\omega t$　③ $-B_0L^2\cos\omega t$

④ $B_0L^2\cos\omega t$　⑤ $-2B_0L^2\omega\sin\omega t$　⑥ $2B_0L^2\omega\sin\omega t$

⑦ $-B_0L^2\omega\cos\omega t$　⑧ $B_0L^2\omega\sin\omega t$　⑨ B_0L^2

⓪ 0

<余　　白>

<余　　　白>

3 以下の文章を読み，空欄⒄～㉔にはもっとも適切な解答をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙(その１)**の該当する記号をマークせよ。設問(A)については**解答用紙(その３)**の所定の欄に解答せよ。また，空欄(ア)，(イ)にあてはまる最も適切な式を**解答用紙(その３)**の解答欄に記入せよ。

ホイヘンスは図３―１のように，ある時刻tでの波面上の無数の点波源(図中の黒点)から速さvで進む円形の波面の波が出ていると考え，これを素元波と名づけた。さらに，時刻$t+\Delta t$(ただし$\Delta t > 0$)における波面は，時刻tでの波面から出た半径 ⒄ の素元波に共通に接する直線または曲線(包絡線)によって与えられると考えた。この考え方はホイヘンスの原理として知られている。以下ではxy平面上を伝わる波を考える。

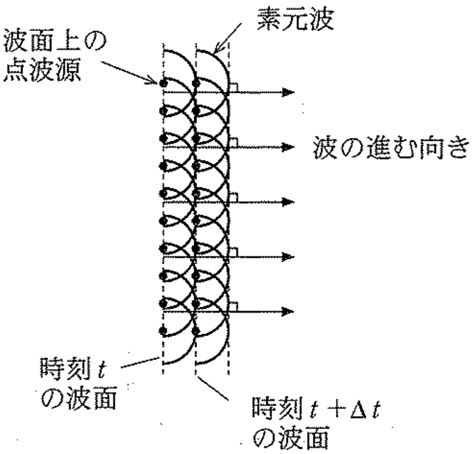

図３―１

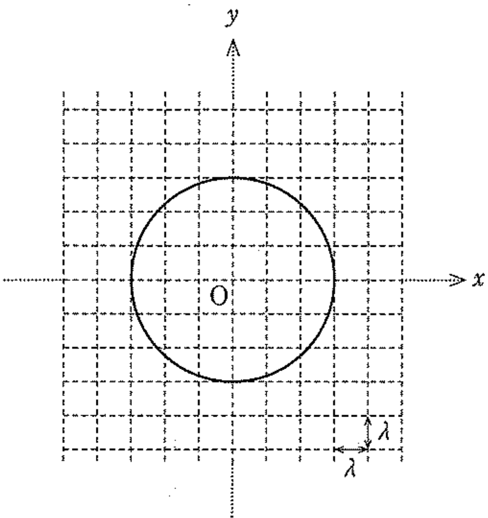

図３―２

(A) 図３―２のように，時刻tにおける波面が原点Ｏから発した円である場合，時刻$t+\Delta t$において考えられる波面を**解答用紙(その３)**の図３―５に描け。ただしΔtは波の一周期に相当する時間とする。複数の素元波もあわせて描くこと。なお，図の点線の間隔は波長λに一致する。

図3―3(a)のように，非常に細い2本のスリットS_1およびS_2と，点Qでx軸と垂直に交わるスクリーンがある。波長λの光がS_1およびS_2を通過してから，スクリーン上に作る模様を観測する。

スリットS_1およびS_2とx軸との距離はともに$\dfrac{d}{2}$で，2本のスリットとスクリーンとの距離ℓは波長λやスリット間の距離dに対して十分に大きく，またスリット間の距離dは波長λの数倍の大きさである。

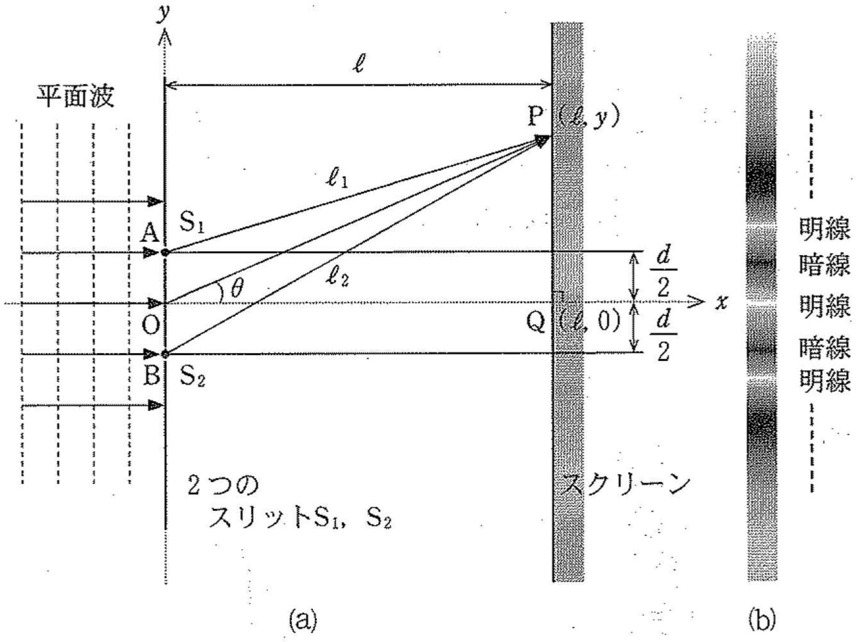

図3―3

スリットを通過した単色平面波のxy平面上での回折と干渉を考察するために，図3―3(a)のようにスリットS_1の中央の点AおよびスリットS_2の中央の点Bにそれぞれ1つずつある点波源と，おのおのの点波源から出る素元波を考える。

x軸からの距離がyであるスクリーン上の点P(ただし$|y|$はℓに対して十分に小さい)と点Aを結ぶ直線APの長さがℓ_1，点Pと点Bを結ぶ直線BPの長さがℓ_2で与えられる場合，$m = 0$，± 1，± 2，…(ただし$m \geqq 0$は$y > 0$のとき，$m < 0$は$y < 0$のときにとるものとする)と波長λを用いて，$\ell_2 - \ell_1 =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ が成り立つときに光は点Pで強め合い，$\ell_2 - \ell_1 =$ $\boxed{\text{(イ)}}$ が成り立つときには光は点Pで弱め合う。

ここで，原点Oと点Pを結ぶ直線OPとx軸のなす角をθとする。原点のあたりを拡大した図3—4のように，本問題では直線AP及び直線BPは直線OPとほぼ平行なので，$\ell_2 - \ell_1$はθを用いて $\boxed{(18)}$ と表される。さらに，$|y|$はℓに対して十分に小さいのでOP≒OQと表され，OPとOQはPQよりも非常に長いことを考慮すると，$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta =$ $\boxed{(19)}$ となる。これらのことから$\ell_2 - \ell_1 \fallingdotseq$ $\boxed{(20)}$ が得られる。

以上のことから，式 $\boxed{(21)}$ を満たす場合，点Pでは光が強め合い，式 $\boxed{(22)}$ を満たす場合，点Pでは光は弱め合う。実際には光の強弱は，図3—3(b)に示してあるようにスクリーン上に干渉縞，すなわち明線と暗線として観測される。よって，これらの式を用いると，点Q上の$m = 0$の明線とその隣りの$m = +1$，あるいは$m = -1$の明線との間隔は $\boxed{(23)}$ で与えられる。また，点Q上の明線に隣接する2つの暗線の間の距離は $\boxed{(24)}$ と一致する。

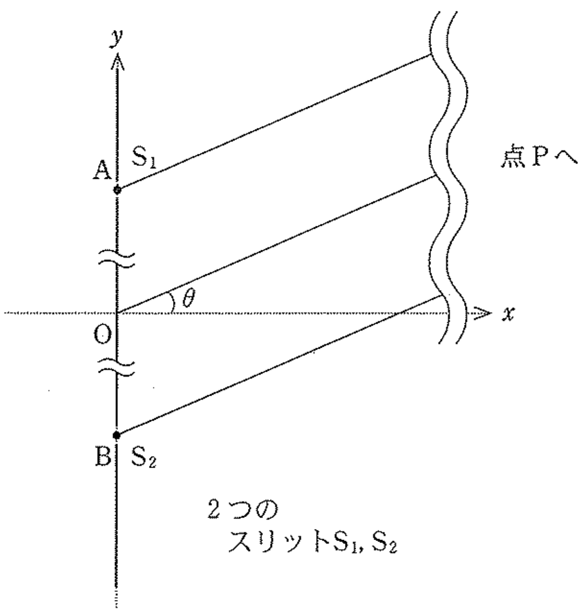

図3—4

空欄(17)の解答群

① 0　② $\frac{1}{3}v\Delta t$　③ $\frac{1}{2}v\Delta t$

④ $v\Delta t$　⑤ $2v\Delta t$　⑥ $\frac{1}{3}v(t+\Delta t)$

⑦ $\frac{1}{2}v(t+\Delta t)$　⑧ $v(t+\Delta t)$　⑨ $2v(t+\Delta t)$

⓪ $v(t+2\Delta t)$

空欄(18)の解答群

① $\frac{1}{2}d\sin\theta$　② $\frac{1}{2}d\cos\theta$　③ $\frac{1}{2}d\tan\theta$　④ $d\sin\theta$

⑤ $d\cos\theta$　⑥ $d\tan\theta$　⑦ $2d\sin\theta$　⑧ $2d\cos\theta$

⑨ $2d\tan\theta$　⓪ $3d\sin\theta$

空欄(19), (20)の解答群

① $\frac{\ell}{2y}$　② $\frac{\ell}{y}$　③ $\frac{2\ell}{y}$　④ $\frac{y}{2\ell}$　⑤ $\frac{y}{\ell}$

⑥ $\frac{\ell d}{2y}$　⑦ $\frac{\ell d}{y}$　⑧ $\frac{2\ell d}{y}$　⑨ $\frac{yd}{2\ell}$　⓪ $\frac{yd}{\ell}$

空欄(21), (22)の解答群

① $y=m\frac{d\ell}{\lambda}$　② $y=(m+\frac{1}{2})\frac{d\ell}{\lambda}$　③ $y=m\frac{d\lambda}{\ell}$

④ $y=(m+\frac{1}{2})\frac{d\lambda}{\ell}$　⑤ $y=m\frac{\ell\lambda}{d}$　⑥ $y=(m+\frac{1}{2})\frac{\ell\lambda}{d}$

⑦ $y=m\lambda$　⑧ $y=(m+\frac{1}{2})\lambda$　⑨ $y=m\frac{d^2}{\ell\lambda^2}$

⓪ $y=(m+\frac{1}{2})\frac{d^2}{\ell\lambda^2}$

空欄(23), (24)の解答群

① $\frac{\ell}{d\lambda}$　② $\frac{d\lambda}{\ell}$　③ $\frac{d}{\ell\lambda}$　④ $\frac{\lambda}{d\ell}$　⑤ $\frac{\ell\lambda}{d}$

⑥ $2\frac{\ell}{d\lambda}$　⑦ $2\frac{d\lambda}{\ell}$　⑧ $\frac{1}{2}\frac{d}{\ell\lambda}$　⑨ $\frac{1}{2}\frac{\lambda}{d\ell}$　⓪ $\frac{1}{2}\frac{\ell\lambda}{d}$