**1** (1) 0.25　(2) 0.01　(3) 1　(4) 64

**【解説】**

(1) $4^{-1}=\frac{1}{4}=0.25$

(2) $10^{-2}=\frac{1}{10^2}=0.01$

(3) 一般に $a^0=1$ である。

(4) 一般に $\frac{1}{a^{-n}}=a^n$ であるので,

$\frac{1}{8^{-2}}=8^2=64$

**2** (1) $x^{34}$　(2) $y^{11}$　(3) $a^{36}$　(4) $a^{12}b^8$

(5) 1　(6) $a^8$

**【解説】**

(1) $x^{15}\times x^{19}=x^{15+19}=x^{34}$

(2) $y^{30}\div y^{19}=y^{30-19}=y^{11}$

(3) $(a^{12})^3=a^{12\times3}=a^{36}$

(4) $(a^3b^2)^4=a^{3\times4}b^{2\times4}=a^{12}b^8$

(5) $x^{-6}\div x^{-2}\times x^4=x^{-6-(-2)+4}=x^0=1$

(6) $ab^{-5}\div(ab)^{-5}\times(a^{-1})^{-2}$

$=ab^{-5}\div a^{-5}b^{-5}\times a^2=a^{1-(-5)+2}b^{-5-(-5)}$

$=a^8b^0=a^8$

**3** (1) $3.0\times10^6$　(2) $2.0\times10^{-2}$

(3) $4.8\times10^{-3}$　(4) $1.3\times10^{-4}$　(5) $3.3\times10^5$

**【解説】**

(1) $600\times5000=30\times10^5$

$=(3.0\times10)\times10^5$

$=3.0\times10^6$

(2) $0.66\times0.03=0.0198=1.98\times10^{-2}$

$\fallingdotseq 2.0\times10^{-2}$

(3) $6.02\times10^{-2}\times80\times10^{-3}$

$=481.6\times10^{-5}$

$=\left(4.816\times10^2\right)\times10^{-5}\fallingdotseq 4.8\times10^{-3}$

(4) $\left(5\times10^{-2}\right)^3=5^3\times10^{-6}=125\times10^{-6}$

$=\left(1.25\times10^2\right)\times10^{-6}\fallingdotseq 1.3\times10^{-4}$

(5) $\frac{1}{3\times10^{-6}}=\frac{1}{3}\times\frac{1}{10^{-6}}=0.333\cdots\times10^6$

$=\left(3.33\cdots\times10^{-1}\right)\times10^6\fallingdotseq 3.3\times10^5$

**4** ① 3　② +3　③ 3　④ −3

⑤ 大きさ　⑥ スカラー　⑦ 向き

⑧ ベクトル

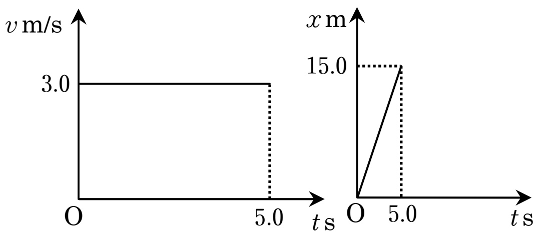
**【解説】**

速さ $=\frac{\text{移動距離 m}}{\text{時間 s}}=\frac{15\,\text{m}}{5\,\text{s}}=3\,\text{m/s}$

速さは大きさのみを表すスカラー量であるので,向きによらず正の値になる。速度は大きさと向きを持つベクトル量であり,直線運動の場合,符号が向き,絶対値が大きさを表す。

**5** (1) ,(2) 下図参照　(3) $x=3.0t$

(1)　(2)




**【解説】**

(1) 等速直線運動であるので,速さ$v$はどの時刻でも3.0 m/sとなる。

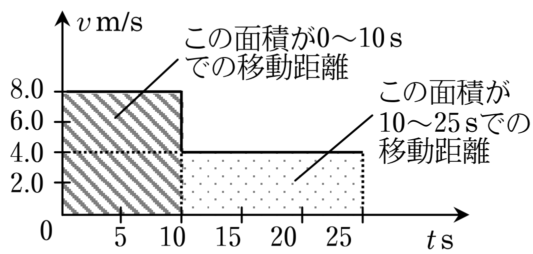
(2) $t=5.0$のとき,移動距離は,

$x=$ 速さ × 時間 $=3.0\times5.0=15.0\,\text{m}$

(3) 移動距離 = 速さ × 時間 であるので,$x=vt$が成り立つ。よって,$x=3.0t$となる。

**6** (1) 80 m　(2) 140 m　(3) 解説参照

**【解説】**



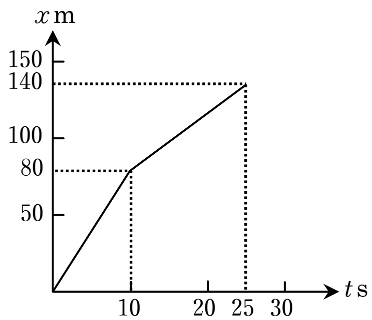

(1) 上図より,$s_1=8.0\times10=80\,\text{m}$

(2) 時刻 10〜25秒の間の移動距離を$s_2$とすると,

上図より,$s_2=4.0\times(25-10)=60\,\text{m}$

よって,$s=s_1+s_2=80+60=140\,\text{m}$

(3) A君の時刻0からの移動距離は(2) より,$t=10$のとき$x=80$, $t=25$のとき$x=140$となるので,グラフは次のようになる。




**7** (1) $v_{\text{AB}}=1.0\,\text{m/s}, v_{\text{BC}}=3.0\,\text{m/s}$

(2) $v_B = 2.0\ \mathrm{m/s}, v_C = 4.0\ \mathrm{m/s}$

【解説】

(1) 平均の速度 $= \frac{後の座標-初めの座標}{後の時刻-初めの時刻}$ より,

$v_{AB} = \frac{2.0-0}{2.0-0} = 1.0\,\mathrm{m/s}$

$v_{BC} = \frac{8.0-2.0}{4.0-2.0} = 3.0\,\mathrm{m/s}$

(2) 瞬間の速さは, 各時刻におけるグラフの接線の傾きから求められる。

B での接線は(1.0, 0), (2.0, 2.0) を通っているので, $v_B = \frac{2.0-0}{2.0-1.0} = 2.0\mathrm{m/s}$

C での接線は(2.0, 0), (4.0, 8.0) を通っているので, $v_C = \frac{8.0-0}{4.0-2.0} = 4.0\,\mathrm{m/s}$

**8** (1) 1.0 m/s　(2) 4.0 m/s

(3) −1.0 m/s　(4) 解説参照

(5) 0.750 m/s　(6) 1.75 m/s

【解説】

時刻 0〜2.0 秒, 時刻 2.0〜4.0 秒, 時刻 4.0〜8.0秒の間は$x-t$グラフの傾きが一定であるので, それぞれの間では速度が一定であることに注意する。

(1) $v_1 = \frac{2.0-0}{2.0-0} = 1.0\,\mathrm{m/s}$

(2) $v_2 = \frac{10.0-2.0}{4.0-2.0} = \frac{8.0}{2.0} = 4.0\,\mathrm{m/s}$

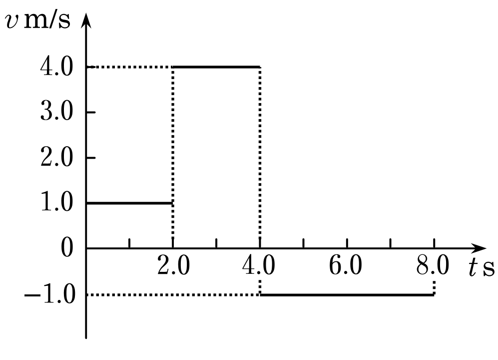
(3) $v_3 = \frac{6.0-10.0}{8.0-4.0} = \frac{-4.0}{4.0} = -1.0\,\mathrm{m/s}$

(4) 時刻 0〜2.0秒の間は速度が一定で, (1)より, $v = 1.0$

時刻 2.0〜4.0秒の間は速度が一定で, (2)より, $v = 4.0$

時刻 4.0〜8.0秒の間は速度が一定で, (3)より, $v = -1.0$

よって, グラフは以下のようになる。




(5) $\bar{v} = \frac{6.0-0}{8.0-0} = 0.750\,\mathrm{m/s}$

(6) 時刻 0〜4.0秒の間の移動距離は10.0 m, 時刻 4.0〜8.0秒の間の移動距離は4.0 m であるので, 総移動距離は14.0 mになる。

よって, $\bar{V} = \frac{14.0}{8.0} = 1.75\,\mathrm{m/s}$

**9** (1) $x$軸の負の向き, 大きさ:に70 m/s

(2) $v_{AB}$:$x$軸の正の向き, 大きさ:20 m/s

$v_{BA}$: $x$ 軸の負の向き, 大きさ:20 m/s

【解説】

(1) A の速度を$v_A = 50\,\mathrm{m/s}$, B の速度を$v_B = -20\,\mathrm{m/s}$とすると, $v_{AB} = v_B - v_A = -20 - 50 = -70\,\mathrm{m/s}$

(2) A の速度を$v_A = 20\mathrm{m/s}$, B の速度を$v_B = 40\,\mathrm{m/s}$ とすると,

$v_{AB} = v_B - v_A = 40 - 20 = 20\,\mathrm{m/s}$

$v_{BA} = v_A - v_B = 20 - 40 = -20\,\mathrm{m/s}$

**10** (1) 向き:西, 大きさ:15 m/s

(2) 向き:西, 大きさ:35 m/s

(3) 向き:東, 大きさ:50 m/s

【解説】

東向きを正とし, A, B, C の速度をそれぞれ, $v_A = 30, v_B = 15, v_C = -20$とする。

(1) $v_{AB} = v_B - v_A = 15 - 30 = -15$

(2) $v_{BC} = v_C - v_B = -20 - 15 = -35$

(3) $v_{CA} = v_A - v_C = 30 - (-20) = 50$

**11** (1) 5.52 km/h　(2) 0.48 km/h

【解説】

0.70m/sは1秒で0.70 m進むので, 1時間で $0.70 \times 60 \times 60 = 2520\,\mathrm{m} = 2.52\,\mathrm{km}$進む。

よって, $0.70\,\mathrm{m/s} = 2.52\,\mathrm{km/h}$となる。

(1) 動く歩道が進む向きを正とすると, 求める合成速度は$2.52 + 3.0 = 5.52\,\mathrm{km/h}$

(2) 動く歩道が進む向きを正とすると, 求める合成速度は$2.52 - 3.0 = -0.48\,\mathrm{km/h}$

よって, この人は地上に対して速さ 0.48 km/hで, 負の向きに進んでいる。

**12** (1) $1.0 \times 10^{-6}$　(2) $2.5 \times 10^{-20}$

(3) $1.4 \times 10^{29}$　(4) $2.7 \times 10^{28}$

【解説】

(1) $2^{15} \div 2^{21} \times 2^6 \times 1000^{-2}$

$= 2^{15-21+6} \times (10^3)^{-2}$

$= 2^0 \times 10^{3\times(-2)} = 1.0 \times 10^{-6}$

(2) $\left(4 \times 10^{19}\right)^{-1} = 4^{-1} \times 10^{-19}$

$= \frac{1}{4} \times 10^{-19}$

$= 0.25 \times 10^{-19} = 2.5 \times 10^{-1} \times 10^{-19}$
$= 2.5 \times 10^{-20}$

(3) $90 \times 10^{-15} \times 150 \div 10^{-40}$
$= 90 \times 150 \times 10^{-15} \div 10^{-40}$
$= 13500 \times 10^{-15+40} = 1.35 \times 10^{4} \times 10^{25}$
$\fallingdotseq 1.4 \times 10^{29}$

(4) $\frac{8\times10^{18}}{3\times10^{-10}} = \frac{8}{3} \times \frac{10^{18}}{10^{-10}}$
$= 2.66\cdots \times \left(10^{18} \div 10^{-10}\right)$
$= 2.66\cdots \times 10^{18-(-10)} \fallingdotseq 2.7 \times 10^{28}$

**13** ① ベクトル　② スカラー　③ スカラー
④ ベクトル　⑤ 相対速度　⑥ $v_B - v_A$

**14** (1) 向き:西, 大きさ:50 m/s
(2) 向き:西, 大きさ:350 m/s

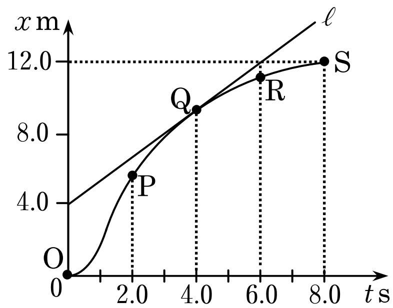
**【解説】**
西から東向きを飛行機の速度の正の向きとする。
(1) A の速度は$v_A = 150$ m/s, B の速度は $v_B = 200$ m/sより, 相対速度は,
$v_{BA} = v_A - v_B = 150 - 200 = -50$ m/s
(2) A の速度は$v_A = -150$ m/s ,
B の速度は$v_B = 200$ m/sより, 相対速度は,
$v_{BA} = v_A - v_B = -150 - 200$
$= -350$ m/s

**15** (1) 7.0 m/s　(2) 1.0 m/s
(3) 下流から上流の向き, 8.0 m/s

**【解説】**
上流から下流の向きをボートの速度の正の向きとする。
(1) 岸に対するAの速度は,
$v_A = 4.0 + 3.0 = 7.0$ m/s
(2) 岸に対するBの速度は,
$v_B = 3.0 - 4.0 = -1.0$ m/s
(3) A に対する B の相対速度は,
$v_{AB} = v_B - v_A = -1.0 - 7.0 = -8.0$ m/s

**16** (1) 1.5 m/s　(2) 1.3 m/s　(3) ア
(4) エ

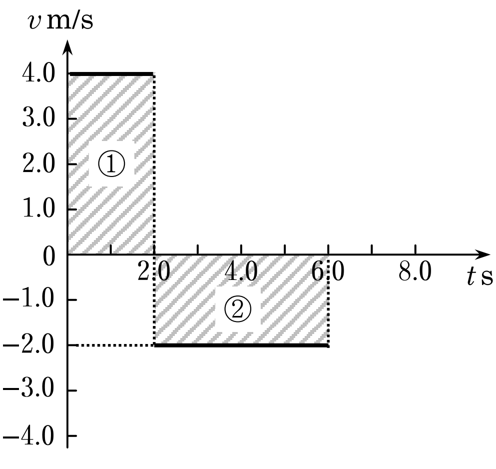
**【解説】**
(1) 時刻0s〜8.0 sの間に12 m移動したので,
$\bar{v} = \frac{12}{8.0} = 1.5$ m/s
(2) 接線 $\ell$ の傾きが時刻4.0 sの瞬間の速度$v$を表すので, $v = \frac{12-4.0}{6.0-0} = 1.33 \fallingdotseq 1.3$ m/s
(3) $x - t$グラフの接線の傾きは瞬間の速度を表し, 傾きが正の場合, 縦線に近づくほど傾きは大きくなる。

(4)



ア〜エの平均の速度は図に示す線分OP, PQ, QR, RSの傾きにそれぞれ対応する。これらの傾きが一番小さいのは$t$の値が6.0 から 8.0まで変化するときである。

**17** (1) 4.0 m/s　(2) −2.0 m/s
(3) 解説参照　(4) 平均の速度:0 m/s
平均の速さ:2.7 m/s

**【解説】**
$x - t$グラフにおいて, 速度はグラフの傾きに対応し, 傾きが一定のとき, 速度は一定である。また, 速度はベクトル量であるので, グラフの傾きが負のときは速度も負になる。
(1) $t = 0$〜2.0でのグラフの傾きが物体の速度を表すので, $\frac{8.0-0}{2.0-0} = 4.0$ m/s
(2) $t = 2.0$〜6.0でのグラフの傾きが物体の速度を表すので, $\frac{0-8.0}{6.0-2.0} = -2.0$ m/s
(3) (1),(2) より, $t = 0$〜2.0 では$v = 4.0$, $t =$ 2.0〜6.0では$v = -2.0$となる。また, 速さが一定のとき, 物体の移動距離＝速さ×時間で求められるので, グラフと求める領域は以下のようになる。



(4) 平均の速度 $= \frac{後の座標-初めの座標}{後の時刻-初めの時刻}$
$= \frac{0-0}{6.0-0} = 0$
平均の速さ $= \frac{総移動距離}{移動にかかった時間} = \frac{8.0+8.0}{6.0} =$
$2.66\cdots \fallingdotseq 2.7$

**18** (1) $y = 2x - 12$ (2) $y = -6x - 11$
(3) $y = -x + 3$ (4) $y = -\frac{1}{2}x - \frac{5}{2}$

【解説】
(1) $y - (-2) = 2(x - 5)$ を$y$について解く。
(2) $y - 7 = -6\{x - (-3)\}$ を$y$について解く。
(3) 傾きは $\frac{4-8}{-1-(-5)} = \frac{-4}{4} = -1$
傾きが$-1$で$(-5, 8)$を通るので,
$y - 8 = -\{x - (-5)\}$ これを$y$について解く。
(4) 傾きは $\frac{-7-(-3)}{9-1} = \frac{-4}{8} = -\frac{1}{2}$
傾きが$-\frac{1}{2}$で$(1, -3)$を通るので,
$y - (-3) = -\frac{1}{2}(x - 1)$ これを$y$について解く。

**19** (1) $3.0\,\mathrm{m/s^2}$ (2) $-0.20\,\mathrm{m/s^2}$

【解説】
(1) $\frac{10.0\,\mathrm{m/s}-4.0\,\mathrm{m/s}}{2.0\,\mathrm{s}} = 3.0\,\mathrm{m/s^2}$
(2) $\frac{0\,\mathrm{m/s}-0.8\,\mathrm{m/s}}{5.0\,\mathrm{s}-1.0\,\mathrm{s}} = \frac{-0.8}{4.0} = -0.8 \div 4.0$
$= -0.2\,\mathrm{m/s^2}$

**20** (1) 等加速度直線運動
(2) $v = 2 + 6t$ $x = 2t + 3t^2$
(3) $32\,\mathrm{m/s}$ (4) $1.3\,\mathrm{s}$

【解説】
(2) 初速度$v_0 = 2$, 加速度$a = 6$を,
公式$v = v_0 + at, x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$に代入して求める。
(3) $v$の式に$t = 5$を代入すると,
$v = 2 + 6 \times 5 = 32\,\mathrm{m/s}$
(4) $x$の式に$x = 8$を代入すると,
$8 = 2t + 3t^2$
式を整理すると, $3t^2 + 2t - 8 = 0$
左辺を因数分解すると,
$(3t - 4)(t + 2) = 0$
$t > 0$であるので, $t = \frac{4}{3} = 1.333\cdots \fallingdotseq 1.3\,\mathrm{s}$

**21** (1) $\frac{1}{2}\,\mathrm{m/s^2}$ (2) $v = \frac{1}{2}t + 3$ (3) $3\,\mathrm{m/s}$
(4) $x = 3t + \frac{1}{4}t^2$

【解説】
(1) $\frac{5-4}{4-2} = \frac{1}{2}\,\mathrm{m/s^2}$
(2) 傾きが $\frac{1}{2}$ で, (2,4) を通るので,
$v - 4 = \frac{1}{2}(t - 2)$
これを$v$について解くと, $v = \frac{1}{2}t + 3$
(3) 初速度は, (2)の式の$t$に 0 を代入して,
$v = 3$ と求められる。
(4) 公式$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$において,
$a = \frac{1}{2}, v_0 = 3$であるので,
$x = 3t + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}t^2 = 3t + \frac{1}{4}t^2$

**22** (1) 解説参照 (2) $v = 3.0t$ (3) $27\,\mathrm{m/s}$
(4) 1.6秒後 (5) $x = \frac{3}{2}t^2$ (6) 4.0秒後

【解説】
(1) 加速度が$3.0\,\mathrm{m/s^2}$で一定であり, 速度は$1.0\,\mathrm{s}$で$3.0\,\mathrm{m/s}$ずつ増加していくので, 次のようになる。

| $t$ s | 0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 |
|---|---|---|---|---|---|
| $v$ m/s | 0 | 3.0 | 6.0 | 9.0 | 12 |

(2) 加速度が3.0であるので, グラフの傾きは3.0となる。また(1)の表より, 初速度が0であるので, 切片が0となる。よって,
$v = 3.0t$となる。
(3) $v = 3.0t$に, $t = 9.0$を代入すると,
$v = 3.0 \times 9.0 = 27$
(4) $v = 3.0t$に, $v = 4.8$を代入すると,
$4.8 = 3.0t$ よって, $t = 1.6$
(5) 公式$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$において,
$a = 3.0, v_0 = 0$であるので,
$x = 0 + \frac{1}{2} \times 3t^2 = \frac{3}{2}t^2$
(6) $x = \frac{3}{2}t^2$に$x = 24$を代入すると,
$24 = \frac{3}{2}t^2$ これを$t$について解くと,
$t = \sqrt{\frac{2}{3} \times 24} = 4.0$

**23** $8\,\mathrm{m}$

【解説】
公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$を用いると,
$8^2 - 4^2 = 2 \times 3 \times s$ これを$s$について解くと,
$\mathrm{s} = 8\,\mathrm{m}$

**24** $20\,\mathrm{m/s}$

【解説】
公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$を用いると,

$v_2^2 - 0^2 = 2 \times 4 \times 50$
これを$v_2$について解くと, $v_2 = 20\,\mathrm{m/s}$

**25** $3.50\,\mathrm{m/s^2}$

**【解説】**
$36.0\,\mathrm{km/h} = \frac{36\times1000\,\mathrm{m}}{60\times60\mathrm{s}} = 10\,\mathrm{m/s}$
$90.0\,\mathrm{km/h} = \frac{90\times1000\,\mathrm{m}}{60\times60\,\mathrm{s}} = 25\,\mathrm{m/s}$
公式 $v_2^2 - v_1^2 = 2as$を用いると,
$25^2 - 10^2 = 2 \times a \times 75$ これを$a$について解くと, $a = 3.50\,\mathrm{m/s^2}$

**26** (1) $-2.0\,\mathrm{m/s^2}$ (2) $-4.0\,\mathrm{m/s}$
(3) 時刻:3.0 s $x$座標: 9.0 m (4) 5.0 m

**【解説】**
(1) 加速度は$v-t$グラフの傾きで表される。よって, 物体の加速度は,
$\frac{-6.0}{3.0} = -2.0\,\mathrm{m/s^2}$
(2) 時刻$t$と速度$v$の関係は, 傾きが$-2.0$, 切片が6.0である直線であるので, $v = -2t + 6$
よって, この式に$t = 5.0$を代入すると,
$v = -2 \times 5.0 + 6 = -4.0$
(3) $0 < t < 3.0$の間は$v > 0$であり, 物体は原点から遠ざかる運動をする。したがって, $t = 3.0\,\mathrm{s}$のとき物体は原点から最も遠ざかる。また, 最も遠ざかる位置は, 原点から3.0 s間に物体が進んだ距離に等しく, それは直線$v = -2t + 6$と$v$軸および$t$軸で囲まれた三角形の面積に等しい。その面積は,
$\frac{1}{2} \times 3.0 \times 6.0 = 9.0$

**【別解】**
時刻$t$での物体の座標は,
公式$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$によって, $x = 6t - t^2$となる。この式に$t = 3.0$を代入すると,
$x = 6 \times 3.0 - (3.0)^2 = 18 - 9 = 9.0\,\mathrm{m}$
(4) $3.0 < t < 5.0$の間は$v < 0$であり, 物体は$x$軸の負の向きに移動する。$3.0 < t < 5.0$での移動距離は, 直線$v = -2t + 6$と$t$軸および直線$t = 5.0$(図の点線)で囲まれた三角形の面積に等しい。
その面積は, $\frac{1}{2} \times 2.0 \times 4.0 = 4.0$となる。
時刻 3.0 sでの物体の座標が(3)より9.0 mで, その後 2 秒間で$x$軸の負の向きに4.0 m移動することになるので, 時刻5.0 sでの座標は$9.0 - 4.0 = 5.0\,\mathrm{m}$となる。

**【別解】**
時刻$t$での物体の座標は,
公式$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$によって, $x = 6t - t^2$となる。この式に$t = 5.0$を代入すると,
$x = 6 \times 5.0 - (5.0)^2 = 30 - 25 = 5.0\,\mathrm{m}$

**27** (1) ①, ③, ② (2) ②, ③, ①

**【解説】**
(1) 加速度はグラフの傾きに対応しているので, 傾きが大きい順に並べる。
(2) 時刻0から$t_1$の間の移動距離は, グラフと, $t$軸, $v$軸, 及び直線$x = t_1$(点線)で囲まれた面積に対応するので, その面積の大きい順に並べる。

**28** (1) $a_1 = 2.0\,\mathrm{m/s^2}$ (2) $a_2 = 2.5\,\mathrm{m/s^2}$
(3) $a_3 = 2.4\,\mathrm{m/s^2}$ (4) $a_4 = -0.5\,\mathrm{m/s^2}$

**【解説】**
(1) 公式$v = v_0 + at$より, $20 = 0 + a \times 10$
よって, $a = 2.0\,\mathrm{m/s^2}$
(2) 公式$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$より,
$3.2\times10^2 = 0 + \frac{1}{2}a\times16^2$ よって,
$a = 2.5\,\mathrm{m/s^2}$
(3) 公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$より,
$6.0^2 - 0^2 = 2a \times 7.5$ よって,
$a = 2.4\,\mathrm{m/s^2}$
(4) $72\,\mathrm{km/h} = \frac{72\times1000}{60\times60}\,\mathrm{m/s} = 20\,\mathrm{m/s}$,
$36\,\mathrm{km/h} = \frac{36\times1000}{60\times60}\,\mathrm{m/s} = 10\,\mathrm{m/s}$
公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$より,
$10^2 - 20^2 = 2a \times 300$
よって, $a = -0.5\,\mathrm{m/s^2}$

**29** (1) $14\,\mathrm{m/s}$ (2) $33\,\mathrm{m}$
(3) $-4.0\,\mathrm{m/s^2}$, 2.0 秒後 (4) $-0.4\,\mathrm{m/s^2}$

**【解説】**
(1) 公式$v = v_0 + at$より,
$v = 8.0 + 2.0 \times 3.0 = 14\,\mathrm{m/s}$
(2) 公式$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$より,
$x = 8.0 \times 3.0 + \frac{1}{2} \times 2.0 \times (3.0)^2 = 33\,\mathrm{m}$
(3) 公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$より,
$6.0^2 - 14.0^2 = 2a \times 20$
$(6 - 14)(6 + 14) = 40a$ よって,
$a = -4.0$
また, 減速し始める時刻を 0 とすると, 時刻 0 から$t$秒後の速度は公式$v = v_0 + at$

より, $v = 14 - 4.0t$　この式に$v = 6.0$を代入すると, $6.0 = 14 - 4.0t$　これを$t$について解くと, $t = 2.0\,\mathrm{s}$

(4)　速度が$8.0\,\mathrm{m/s^2}$で原点を通過後, 3.0秒で最高速度$14\,\mathrm{m/s^2}$に達し, その後2.0秒かけて減速し, 速度が$6.0\,\mathrm{m/s}$になったので,

平均の加速度$=\dfrac{\text{変化後の速度}-\text{変化前の速度}}{\text{速度変化にかかった時間}}$

$=\dfrac{6.0-8.0}{3.0+2.0} = \dfrac{-2.0}{5.0} = -0.4\,\mathrm{m/s^2}$

**30** (1)　解説参照　(2)　400 m　(3)　2100 m

**【解説】**

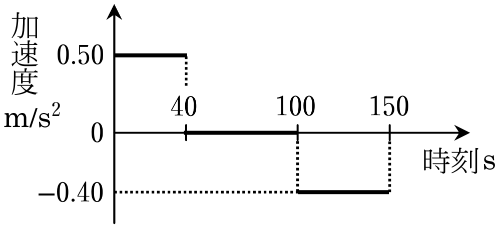
(1)　$v$–$t$ グラフの直線の傾きから加速度を求める。

0〜40 s ： $\dfrac{20}{40} = 0.50\,\mathrm{m/s^2}$

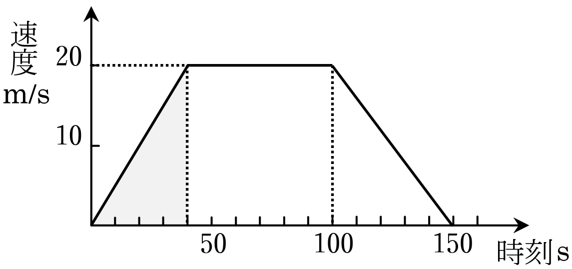
40〜100 s ： $0\,\mathrm{m/s^2}$

100〜150 s ： $\dfrac{0-20}{50} = -0.40\,\mathrm{m/s^2}$

したがって求める図は以下のようになる。



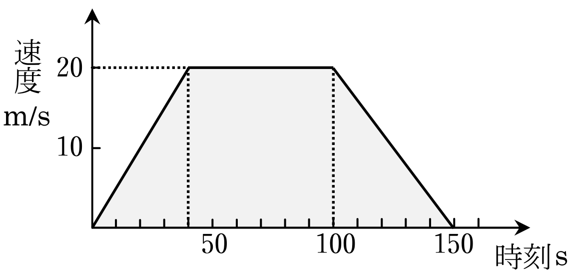

(2)　時刻0〜40秒までの移動距離は図に示す直角三角形の面積に対応する。




よって, この間の移動距離は,

$\frac{1}{2} \times 40 \times 20 = 400\,\mathrm{m}$

(3)　A 駅から B 駅までの移動距離は図に示す台形の面積に対応する。




よって, A 駅, B 駅間の距離は,

$\frac{1}{2} \times (60 + 150) \times 20 = 2100\,\mathrm{m}$

**31** (1)　$v = 6.0 - 2.0t$,　$x = 6.0t - t^2$

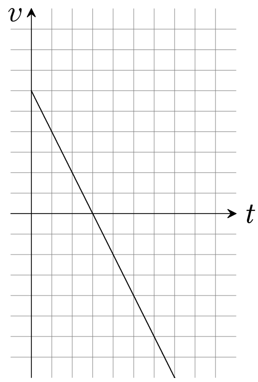
(2)　解説参照　(3)　3.0 s,　9.0 m

(4)　13 m　(5)　1.0 s,　5.0 s

**【解説】**

(1)　初速度は$6.0\,\mathrm{m/s}$, 加速度が$-2.0\,\mathrm{m/s^2}$であるので, 等加速度直線運動の公式をそのまま利用する。

(2)　$v = 6.0 - 2.0t$ の傾きは$-2.0$, 切片は6.0であるので, 右のようになる。




(3)　小球が最も高い位置に達するときの速度は0であるので, $v = 6.0 - 2.0t$　に$v = 0$を代入して$t$について解くと, $t = 3.0\,\mathrm{s}$となる。さらに, $x = 6.0t - t^2$に$t = 3.0\,\mathrm{s}$を代入すると, $x = 9.0\,\mathrm{m}$ となる。

**【別解】**

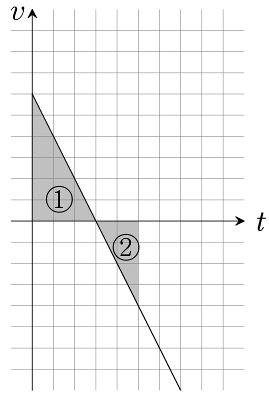
公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$より,

$0^2 - 6.0^2$

$= 2 \times (-2.0) \times s$

これを$s$について解くと,

$s = 9\,\mathrm{m}$




(4)　時刻0〜3.0 sまでの移動距離は図の①の面積, 時刻3.0〜5.0 sまでの移動距離は図の②の面積に対応する。

①の面積$=\frac{1}{2} \times 3.0 \times 6.0 = 9.0$

②の面積$=\frac{1}{2} \times 2.0 \times 4.0 = 4.0$

よって, 総移動距離

$=① + ② = 9.0 + 4.0 = 13\,\mathrm{m}$

(5)　$x = 6.0t - t^2$　に$x = 5.0$を代入すると,　$5.0 = 6.0t - t^2$

式を整理すると, $t^2 - 6.0t + 5.0 = 0$

左辺を因数分解すると,

$(t - 1.0)(t - 5.0) = 0$　よって,

$t = 1.0, 5.0$

**32** (1)　$v = gt$,　$y = \frac{1}{2}gt^2$　(2)　$\sqrt{\frac{2h}{g}}$

(3) $\sqrt{2gh}$

**【解説】**

(2) $y=h$のときの$t$の値を求める。
$h=\frac{1}{2}gt^2$ より, $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$

(3) $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$のときの$v$の値を求める。
$v=gt$に代入して, $v=g\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{2gh}$

**33** (1) $v=v_0+9.8t,\ y=v_0t+4.9t^2$
(2) 12.2 m/s　(3) 31.8 m/s

**【解説】**

(1) $v=v_0+gt,\ y=v_0t+\frac{1}{2}gt^2$にそれぞれ$g=9.8$を代入

(2) $t=2$のとき, $y=44$となるので, $y=v_0t+4.9t^2$に代入すると, $44=v_0\cdot 2+4.9\cdot 2^2$　これを解くと, $v_0=12.2$ m/s

(3) $v_0=12.2$であるので$v=12.2+9.8t$
よって, $t=2$のとき,
$v=12.2+9.8\times 2=31.8$ m/s

**34** (1) $v=9.8-9.8t, y=9.8t-4.9t^2$
(2) 1.0秒後　(3) 4.9 m　(4) 2.0秒後
(5) $-9.8$ m/s　(6) 4.0秒後

**【解説】**

(1) 鉛直投げ上げ運動の公式$v=v_0-gt$, $y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ を利用する。

(2) 最高点に達するときの小球の速度$v$は0であるので, $0=9.8-9.8t$ よって,
$t=1.0$ s

(3) (2)より, 投げ上げてから1.0 s後に最高点に達するので,
$y=9.8\times 1.0-4.9(1.0)^2=4.9$ m

(4) ビルの屋上の高さは$y=0$であるので,
$0=9.8t-4.9t^2$　因数分解して両辺を入れ換えると,
$4.9t(2-t)=0$　これを解くと, $t>0$であるので, $t=2.0$ s

(5) (4)より, $t=2.0$sでの速度を求めればいいので, $v=9.8-9.8\times 2.0=-9.8$m/s

(6) 地上での$y$座標は $y=-39.2$ であるので,
$-39.2=9.8t-4.9t^2$
移項して因数分解すると,
$4.9t^2-9.8t-39.2=0$
$4.9\left(t^2-2t-8\right)=0$
$4.9(t+2)(t-4)=0$　$t>0$であるので,
$t=4.0$ s

**35** (1) $\sqrt{2gh}$　(2) $\sqrt{v_0^2+2gh}$
(3) $\sqrt{v_0^2-2gh}$

**【解説】**

(1) $v_1^2-0^2=2gh$ より, $v_1=\sqrt{2gh}$

(2) $v_2^2-v_0^2=2gh$ より, $v_2=\sqrt{v_0^2+2gh}$

(3) $v_3^2-v_0^2=2(-g)h$ より,
$v_3=\sqrt{v_0^2-2gh}$

**36** (1) $v=v_0-gt$　(2) $t_1=\frac{v_0}{g}$
(3) $y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$　(4) $t_2=\frac{2v_0}{g}$
(5) $t_2=2t_1$　(6) $y=\frac{v_0^2}{2g}$　(7) $-v_0$
(8) $\frac{3v_0^2}{8g}$

**【解説】**

(1) 鉛直投げ上げ運動の公式をそのまま用いる。

(2) $v=v_0-gt$に$v=0, t=t_1$を代入すると,
$0=v_0-gt_1$　これを$t_1$について解くと,
$t_1=\frac{v_0}{g}$

(3) 鉛直投げ上げ運動の公式をそのまま用いる。

(4) $y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$に$y=0, t=t_2$を代入すると, $0=v_0t_2-\frac{1}{2}gt_2^2$
両辺を2倍して因数分解をすると,
$0=t_2(2v_0-gt_2)$　$t_2\neq 0$より, $t_2=\frac{2v_0}{g}$

(5) $t_1=\frac{v_0}{g}, t_2=\frac{2v_0}{g}$より, $\frac{v_0}{g}$を消去すると,
$t_2=2t_1$

(6) 最高点に達するのは, (2) より, $t=\frac{v_0}{g}$のときなので, これを$y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$に代入すると,
$y=v_0\left(\frac{v_0}{g}\right)-\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0}{g}\right)^2=\frac{v_0^2}{2g}$

**【別解】**

公式$v_2^2-v_1^2=2(-g)\,s$ を利用すると,
$0^2-v_1^2=2(-g)\,s$　これを$s$について解くと,
$s=\frac{v_0^2}{2g}$

(7) 小球が放たれた位置に戻ってくる時刻は, (4) より, $t=\frac{2v_0}{g}$なので, これを$v=v_0-gt$に代入すると,
$v=v_0-g\left(\frac{2v_0}{g}\right)=-v_0$

(8) 公式$v_2^2 - v_1^2 = 2(-g)\,s$ を利用すると，
$\left(\frac{1}{2}v_0\right)^2 - v_0^2 = 2(-g)\,s$　これを$s$について解くと，$s = \frac{3v_0^2}{8g}$

**37** (1) 11秒　(2) $1.1 \times 10^2$ m/s

**【解説】**

(1) 落下してから$t$ s後の落下距離は，
$y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.8t^2$ であるので，$y = 640$とすると，$640 = \frac{1}{2} \times 9.8t^2$　これを$t$について解くと，
$t = \sqrt{\frac{6400}{49}} = \frac{80}{7} \fallingdotseq 11.42 \fallingdotseq 11$ s

(2) 落下してから$t$ s後の速さは$v = gt = 9.8t$ で，$t = 11.42$ のとき地面に到達するので，求める速さは，
$v = 9.8 \times 11.42 = 111.916 \fallingdotseq 1.1 \times 10^2$ m/s

**38** (1) 1.0 s　(2) 20 m/s

**【解説】**

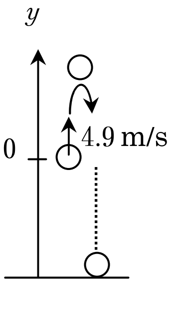
(1) $y$軸を鉛直下向きにとり，鉛直投げ下ろしの公式$y = v_0t + \frac{1}{2}gt^2$を用いる。
$y = 14.7$，$v_0 = 9.8$，$g = 9.8$ を代入すると，
$14.7 = 9.8t + \frac{1}{2} \times 9.8t^2$　式を整理すると，
$4.9t^2 + 9.8y - 14.7 = 0$　両辺を4.9で割ると，
$t^2 + 2y - 3 = 0$　左辺を因数分解すると，
$(t+3)(t-1) = 0$　$t$について解くと，$t > 0$なので，$t = 1.0$

(2) 鉛直投げ下ろしの公式$v = v_0 + gt$に，
$v_0 = 9.8$，$t = 1.0$, $g = 9.8$ を代入すると，
$v = 9.8 + 9.8 \times 1.0 = 19.6 \fallingdotseq 20$ m/s

**【別解】**

鉛直下向きに$y$軸をとり，公式$v_2^2 - v_1^2 = 2gs$を用いる。公式中の$v_1$を投げ下ろすときの初速9.8 m/s，地面に到達する直前の速度を$v_2$とすると，$s$は落下距離14.7 m，$g$は重力加速度の大きさ9.8 m/s$^2$であるので，
$v_2^2 - 9.8^2 = 2 \times 9.8 \times 14.7$
これを$v_2$について解くと，
$v_2 = 19.6$ m/s

**【注意】** この問題の場合，別解のほうが計算が面倒である。どの方法で解けばいいのかは問題をたくさん解いて慣れておくこと。




**39** (1) 59 m　(2) 34 m/s

**【解説】**

(1) 地表から小球を見た場合，地表に対しては4.9 m/sの速さで鉛直上方に投射されたことになる。図のように小球を放った位置を原点として，鉛直上向きに$y$軸をとると，放たれてから$t$ s後の小球の位置は，
$y = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$（$g$は重力加速度の大きさ）と表される。よって，$t = 4.0$のとき，
$y = 4.9 \times 4.0 - \frac{1}{2} \times 9.8 \times 4.0^2 = -58.8$
$\fallingdotseq -59$　となり，小球を放したときの気球の高さは地上59 mである。

(2) 小球を放ってから$t$ s後の小球の速度は，鉛直上向きを正とすると，$v = v_0 - gt$と表される。$t = 4.0$，$v_0 = 4.9$ のとき，
$v = 4.9 - 9.8 \times 4.0 = -34.3 \fallingdotseq -34$ m/s
であるので，小球が地表に到達する直前の速さは，下向きに34 m/s となる。

**40** (1) 2.0秒後　(2) 20 m　(3) 0.8倍

**【解説】**

(1) A が落下を始めてから$t$秒後に着地したとすると，A の落下距離は，$y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.8t^2 = 4.9t^2$と表すことができる。B の落下時間は$t-1$秒であるので，B の落下距離は，
$y = v_0(t-1) + \dfrac{1}{2}g(t-1)^2$
$= 14.7(t-1) + 4.9(t-1)^2$
となる。A と B の落下距離は等しいので，
$4.9t^2 = 14.7(t-1) + 4.9(t-1)^2$
両辺を4.9で割ると，
$t^2 = 3(t-1) + (t-1)^2$
これを$t$について解くと，$t = 2.0$ s

(2) A の落下距離は，
$y = 4.9t^2 = 4.9 \times (2.0)^2 = 19.6\text{ m} \fallingdotseq 20$
また，B の落下距離は，
$y = 14.7(t-1) + 4.9(t-1)^2$
$= 14.7(2.0-1) + 4.9(2.0-1)^2$
$= 19.6\text{ m} \fallingdotseq 20$
$= 19.6\text{ m} \fallingdotseq 20$ で同じ結果となる。

(3) A が放たれてから$t$秒後の速さは，$v_A = 9.8t$，B が放たれてから$t$秒後の速さは，$v_B = 14.7 + 9.8t$ と表すことができる。A は放たれてから2.0秒後に着地し，B は放たれてから$2.0 - 1.0 = 1.0$秒後に着地

するので，それぞれが着地する直前の速さは，
$v_A = 9.8 \times 2.0 = 19.6$ m/s
$v_B = 14.7 + 9.8 \times 1.0 = 24.5$ となる。求める倍数を $x$ とおくと，$v_A = xv_B$ より，
$x = \frac{v_A}{v_B} = \frac{19.6}{24.5} = 0.80$

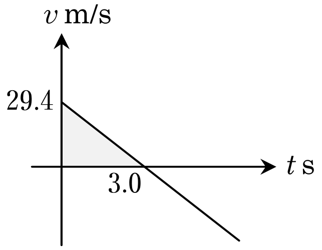
**41** (1) 29 m/s　(2) 44 m

【解説】

(1) 時刻 $t$ での小球の速度は，初速を $v_0$，鉛直上向きを正として，$v = v_0 - 9.8t$ と表すことができる。グラフは $(t, v) = (3.0, 0)$ を通っているので，$0 = v_0 - 9.8 \times 3.0$ が成り立つ。これを $v_0$ について解くと，
$v_0 = 29.4 \fallingdotseq 29$ m/s

(2) $v = 0$ となる時刻が最高点に達する時刻で，この時刻はグラフより $t = 3.0$ である。投げ上げてから $t$ s 後の小球の高さは $y = 29.4t - \frac{1}{2} \times 9.8t^2 = 29.4t - 4.9t^2$ であるので，
$t = 3.0$ を代入すると，
$y = 29.4 \times 3.0 - 4.9(3.0)^2 = 44.1 \fallingdotseq 44$ m

【別解】




図の直角三角形の面積が最高点に達するまでの距離に相当するので，
$\frac{1}{2} \times 3.0 \times 29.4 = 44.1 \fallingdotseq 44$ m

**42** (1) 4.0 s, 42 m
(2) 速さ:9.2 m/s, 向き:(鉛直)下向き
(3) 39 m/s

【解説】

(1) A が放たれてから $t$ 秒後の落下距離は，
$y = \frac{1}{2} \times 9.8t^2 = 4.9t^2$ で，
B が放たれてから $t$ 秒後の上昇距離は，
$y = 30t - \frac{1}{2} \times 9.8t^2 = 30t - 4.9t^2$
衝突するとき，これらの距離の和が 120 m であるので，
$4.9t^2 + (30t - 4.9t^2) = 120$ これを $t$ について解くと，$t = 4.0$ s　これにより，B の上昇距離は，
$y = 30 \times 4.0 - 4.9 \times (4.0)^2 = 41.6 \fallingdotseq 42$ m

(2) B が放たれてから $t$ 秒後の B の速度は，
$v_B = 30 - 9.8t$（鉛直上向きが正）であるので，$v_B = 30 - 9.8 \times 4.0 = -9.2$ m/s

(3) A が放たれてから $t$ 秒後の A の速さは，
$v_A = 9.8t$ であるので，
$v_A = 9.8 \times 4.0 = 39.2 \fallingdotseq 39$ m/s

**43** (1) $\sqrt{\frac{2h}{g}}$　(2) $t_1 = \sqrt{\frac{h}{g}}$，
$t_2 = (\sqrt{2} - 1)\sqrt{\frac{h}{g}}$　(3) 0.41 倍

【解説】

(1) 自由落下運動の公式 $y = \frac{1}{2}gt^2$ を用いる。
$h$ m 落下するのに要する時間が $T$ s であるので，$h = \frac{1}{2}gT^2$
これを $T$ について解くと，$T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ s

(2) $y = \frac{h}{2}$ のとき，$t = t_1$ であるので，
$\frac{h}{2} = \frac{1}{2}gt_1^2$
これを $t_1$ について解くと，$t_1 = \sqrt{\frac{h}{g}}$ …①
$t_2 = T - t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} - \sqrt{\frac{h}{g}}$
$= (\sqrt{2} - 1)\sqrt{\frac{h}{g}}$ s …②

(3) ①,②より $t_2 = (\sqrt{2} - 1)t_1$ であるので，$t_2$ は $t_1$ の $(\sqrt{2} - 1)$ 倍である。
$\sqrt{2} - 1 = 1.414 - 1 = 0.414 \fallingdotseq 0.41$
よって，求める答えは0.41倍

**44** $v - t$ グラフ:⑤　$y - t$ グラフ:③
$a - t$ グラフ:②

【解説】

鉛直投げ上げの公式は，速度:$v = v_0 - gt$，位置:$y = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ であり，速度 $v$ は傾き $-g$ の一次関数であるので，$v - t$ グラフは右下がりの直線になる。また，位置 $y$ は $t$ の2次関数なので放物線であり，投げ上げられた直後は $y > 0$ となるので，$y - t$ グラフは③になる。また，この運動は等加速度直線運動であり，加速度は時間によらず $a = -g$ で一定。よって，②が適切である。

**45**

$\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$　$\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$　$\tan 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}}$
$\sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$　$\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$　$\tan 45^\circ = 1$

$\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$　$\cos 60° = \frac{1}{2}$　$\tan 60° = \sqrt{3}$

**46** (1) $AC = 5$

(2) $\sin A = \frac{3}{5}, \cos A = \frac{4}{5},$
$\tan A = \frac{3}{4}, \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{3}{4},$
$\sin C = \frac{4}{5}, \cos C = \frac{3}{5}, \tan C = \frac{4}{3}, \frac{\sin C}{\cos C} = \frac{4}{3}$

(3) $\tan A = \frac{\sin A}{\cos A}, \tan C = \frac{\sin C}{\cos C}$

(4) $\sin A = 0.6,\quad \sin C = 0.8$

(5) $\angle A = 37°, \angle C = 53°$

**【解説】**

(1) 三平方の定理より, $3^2 + 4^2 = AC^2$
よって, $AC = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$

(3) $\frac{3}{5} = 3 \div 5 = 0.6$　$\frac{4}{5} = 4 \div 5 = 0.8$

(4) 三角関数表より,
$\sin 36° = 0.5878, \sin 37° = 0.6018$ で $0.6$ に近い方は $\sin 37°$ である。よって, $\angle A \fallingdotseq 37°$。
$\sin 53° = 0.7986, \sin 54° = 0.8090$ で $0.8$ に近い方は $\sin 53°$ である。よって, $\angle C \fallingdotseq 53°$。

**47** (1) $AB{:}20\cos\theta, BC{:}20\sin\theta$

(2) $AB = 19.32, BC = 5.18$

**【解説】**

(1) $AB =$ 斜辺 $\times \cos A$　$BC =$ 斜辺 $\times \sin A$

(2) $AB = 20\cos 15° = 20 \times 0.9659$
$= 19.318 \fallingdotseq 19.32$
$BC = 20\sin 15° = 20 \times 0.2588 = 5.176$
$\fallingdotseq 5.18$

**48** ベクトル量:加速度, 速度, 力
スカラー量:体積, 速さ, 質量

**49** (1) $|\overrightarrow{OA}| = \sqrt{26}, |\overrightarrow{OB}| = 5$

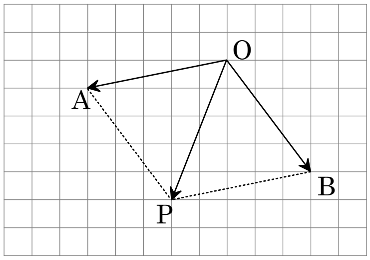
(2) 解説参照　(3) $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}$

(4) $\sqrt{29}$

**【解説】**

(1) ベクトルの大きさは矢印の長さに対応し, その長さは三平方の定理より, 次のように求めることができる。
$|\overrightarrow{OA}| = \sqrt{5^2 + 1^2} = \sqrt{26}$
$|\overrightarrow{OB}| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$

(2) 合成ベクトル $\overrightarrow{OP}$ は次のようになる。




(4) (2)で求めた作図より, 次のように求めることができる。$|\overrightarrow{OP}| = \sqrt{2^2 + 5^2} = \sqrt{29}$

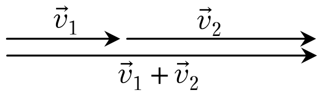
**50** (1) 右, 12　(2) 左, 10　(3) 右, 8
(4) 右, 2　(5) 左, 2　(6) 左, 8　(7) なし, 0

**【解説】**

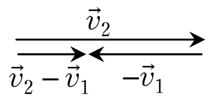
(1) $4\vec{v}_1$ の大きさは $\vec{v}_1$ の 4 倍で, 向きは $\vec{v}_1$ と等しい。

(2) $-2\vec{v}_2$ の大きさは $\vec{v}_2$ の 2 倍で, 向きは $\vec{v}_2$ と逆。

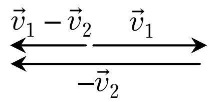
(3) 下図より, $\vec{v}_1 + \vec{v}_2$ の大きさは $3 + 5 = 8$



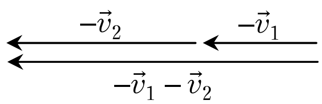

(4) 下図より, $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ の大きさは $5 - 2 = 3$




(5) 下図より, $\vec{v}_1 - \vec{v}_2$ の大きさは $5 - 2 = 3$




(6) 下図より, $-\vec{v}_1 - \vec{v}_2$ の大きさは $3 + 5 = 8$




(7) $6\vec{v}_2 - 10\vec{v}_1 - 3\vec{v}_2 + 5\vec{v}_1 = 3\vec{v}_2 - 5\vec{v}_1$
$3\vec{v}_2$ は右向きで大きさ15, $-5\vec{v}_1$ は左向きで大きさ15であるので, これらの和は $\vec{0}$ となる。

**51** (1) 解説参照　(2) $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$

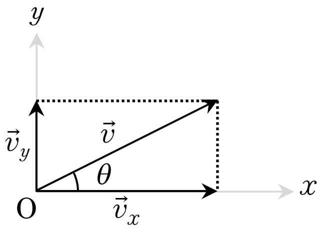
(3) $|\vec{v}_x| = |\vec{v}|\cos\theta, |\vec{v}_y| = |\vec{v}|\sin\theta$

(4) $\tan\theta = \frac{|\vec{v}_y|}{|\vec{v}_x|}$

**【解説】**

(1),(2) 1つのベクトルを 2 つのベクトルの和にすることをベクトルの分解という。したが

って，$\vec{v}=\vec{v}_x+\vec{v}_y$となるように$\vec{v}_x, \vec{v}_y$を作図すると，下のようになる。




**52** (1) ① $\vec{a}=(3,\ -1)$　② $\vec{b}=(-3, 4)$

③ $\vec{c}=(4, 2)$　④ $\vec{d}=(-3,\ -2)$

(2) ① $|\vec{a}|=\sqrt{10}$　② $|\vec{b}|=5$

③ $|\vec{c}|=2\sqrt{5}$　④ $|\vec{d}|=\sqrt{13}$

(3) ① $3\vec{a}=\begin{pmatrix}9\\-3\end{pmatrix}$　② $-\vec{b}=\begin{pmatrix}3\\-4\end{pmatrix}$

③ $\vec{a}+\vec{b}=\begin{pmatrix}0\\3\end{pmatrix}$　④ $\vec{c}-2\vec{b}=\begin{pmatrix}10\\-6\end{pmatrix}$

(4) ① $|3\vec{a}|=3\sqrt{10}$　② $|-\vec{b}|=5$

③ $|\vec{a}+\vec{b}|=3$　④ $|\vec{c}-2\vec{b}|=2\sqrt{34}$

【解説】

(2) ① $|\vec{a}|=\sqrt{3^2+(-1)^2}=\sqrt{10}$

② $|\vec{b}|=\sqrt{(-3)^2+4^2}=\sqrt{25}=5$

③ $|\vec{c}|=\sqrt{4^2+2^2}=\sqrt{20}=2\sqrt{5}$

④ $|\vec{d}|=\sqrt{(-3)^2+(-2)^2}=\sqrt{13}$

(3) ① $3\vec{a}=3\begin{pmatrix}3\\-1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}9\\-3\end{pmatrix}$

② $-\vec{b}=-\begin{pmatrix}-3\\4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}3\\-4\end{pmatrix}$

③ $\vec{a}+\vec{b}=\begin{pmatrix}3\\-1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}-3\\4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\3\end{pmatrix}$

④ $\vec{c}-2\vec{b}=\begin{pmatrix}4\\2\end{pmatrix}-2\begin{pmatrix}-3\\4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}10\\-6\end{pmatrix}$

(4) ① $3\vec{a}=\begin{pmatrix}9\\-3\end{pmatrix}=3\begin{pmatrix}3\\-1\end{pmatrix}$より，

$|3\vec{a}|=3\sqrt{3^2+(-1)^2}=3\sqrt{10}$

② $-\vec{b}=\begin{pmatrix}3\\-4\end{pmatrix}$より，

$|-\vec{b}|=\sqrt{3^2+(-4)^2}=5$

③ $\vec{a}+\vec{b}=\begin{pmatrix}0\\3\end{pmatrix}=3\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$　より，

$|\vec{a}+\vec{b}|=3\sqrt{0^2+1^2}=3$

④ $\vec{c}-2\vec{b}=\begin{pmatrix}10\\-6\end{pmatrix}=2\begin{pmatrix}5\\-3\end{pmatrix}$より，

$|\vec{c}-2\vec{b}|=2\sqrt{5^2+(-3)^2}=2\sqrt{34}$

**53** $\vec{v}_1=\begin{pmatrix}-3\cos\theta_1\\3\sin\theta_1\end{pmatrix}, \vec{v}_2=\begin{pmatrix}-4\cos\theta_2\\-4\sin\theta_2\end{pmatrix}$

【解説】

各ベクトルの向きから，$\vec{v}_1$の$x$成分は負，$y$成分は正であり，$\vec{v}_2$は$x$成分，$y$成分ともに負であることに注意する。

**54** (1) $f_x=2\,\mathrm{N}$，$f_y=-2\sqrt{3}\,\mathrm{N}$　(2) エ

(3) $a_x=1\,\mathrm{m/s^2}, a_y=-\sqrt{3}\,\mathrm{m/s^2}$

(4) $f=4\,\mathrm{N}, a=2\,\mathrm{m/s^2}$

【解説】

(1) $\vec{f}_1=\begin{pmatrix}9\\0\end{pmatrix}, \vec{f}_2=\begin{pmatrix}12\cos60^\circ\\-12\sin60^\circ\end{pmatrix}$

$=\begin{pmatrix}12\times\frac{1}{2}\\-12\times\frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix}$

$=\begin{pmatrix}6\\-6\sqrt{3}\end{pmatrix}$，$\vec{f}_3=\begin{pmatrix}0\\4\sqrt{3}\end{pmatrix}, \vec{f}_4=\begin{pmatrix}-13\\0\end{pmatrix}$

であるので，$\vec{f}_1+\vec{f}_2+\vec{f}_3+\vec{f}_4$

$=\begin{pmatrix}9\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}6\\-6\sqrt{3}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\4\sqrt{3}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}-13\\0\end{pmatrix}$

$=\begin{pmatrix}2\\-2\sqrt{3}\end{pmatrix}$

よって，$f_x=2\,\mathrm{N}$，$f_y=-2\sqrt{3}\,\mathrm{N}$

(2) $\vec{f}_1+\vec{f}_2+\vec{f}_3+\vec{f}_4=\begin{pmatrix}2\\-2\sqrt{3}\end{pmatrix}$であることから，合力の向きは右下となる。

(3) 生じる加速度を$\vec{a}$とすると，運動方程式は次のようになる。

$2\vec{a}=\vec{f}_1+\vec{f}_2+\vec{f}_3+\vec{f}_4=\begin{pmatrix}2\\-2\sqrt{3}\end{pmatrix}$

$\vec{a}$について解くと，

$\vec{a}=\frac{1}{2}\begin{pmatrix}2\\-2\sqrt{3}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\-\sqrt{3}\end{pmatrix}$

よって，$a_x=1\,\mathrm{m/s^2}, a_y=-\sqrt{3}\,\mathrm{m/s^2}$

(4) $f=|\vec{f}_1+\vec{f}_2+\vec{f}_3+\vec{f}_4|$

$=\sqrt{2^2+\left(-2\sqrt{3}\right)^2}=4\,\mathrm{N}$

$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\sqrt{1^2+(-\sqrt{3})^2}$

$=2\,\mathrm{m/s^2}$

**55** $F_1=\sqrt{3}-1, F_2=\frac{3\sqrt{2}-\sqrt{6}}{2}$

【解説】

力のつり合いの式は次のようになる。

$x$軸方向:$-F_1\cos30^\circ+F_2\cos45^\circ=0$ …①

$y$軸方向:$F_1\sin30^\circ+F_2\sin45^\circ-1.0=0$ …②

①より，$-\frac{\sqrt{3}}{2}F_1+\frac{1}{\sqrt{2}}F_2=0$ …③

②より，$\frac{1}{2}F_1+\frac{1}{\sqrt{2}}F_2=1.0$ …④

④－③ より，$\frac{1+\sqrt{3}}{2}F_1=1.0$

これを$F_1$について解くと，

$F_1 = \frac{2}{\sqrt{3}+1} = \frac{2(\sqrt{3}-1)}{(\sqrt{3}+1)(\sqrt{3}-1)}$

$= \frac{2(\sqrt{3}-1)}{2} = \sqrt{3} - 1$ …⑤

③を$F_2$について解くと, $F_2 = \frac{\sqrt{6}}{2}F_1$

これに⑤を代入すると,

$F_2 = \frac{\sqrt{6}}{2}(\sqrt{3} - 1) = \frac{3\sqrt{2}-\sqrt{6}}{2}$

**56** $a = 6.9\,\mathrm{m/s^2}$, $F = 3.0\,\mathrm{N}$

**【解説】**

加速度を成分で表すと, $(a, 0)$ となるので, $y$ 軸方向の力はつり合っている。よって, 次のような式を立てることができる。

$x$軸方向の運動方程式:

$0.50a = 4.0\cos 30°$ …①

$y$軸方向のつり合い:

$F + 4.0\sin 30° - 5.0 = 0$ …②

①より, $0.50a = 4.0 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2\sqrt{3}$

これを$a$について解くと,

$a = 4\sqrt{3} \fallingdotseq 6.92 \fallingdotseq 6.9\,\mathrm{m/s^2}$

②より,

$F + 4.0 \times \frac{1}{2} - 5.0 = F + 2.0 - 5.0 = 0$

これを$F$について解くと, $F = 3.0\,\mathrm{N}$

**57** (1) , (2) 解説参照

(3) $\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} -2 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{F}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \end{pmatrix}, \vec{F}_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$

(4) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \begin{pmatrix} -2 \\ 0 \end{pmatrix}$,

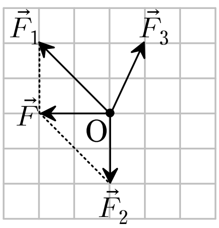
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \end{pmatrix}$,

$|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = 2\,\mathrm{N}, |\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3| = \sqrt{5}\,\mathrm{N}$

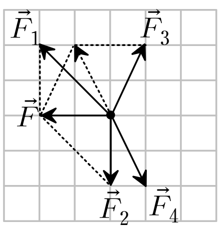
(5) $\vec{F}_4 = \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \end{pmatrix}$　(6) $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

**【解説】**

(1) $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ となるように$\vec{F}$を作図すると右のようになる。




(2) $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ を合成した力は$\vec{F}$と$\vec{F}_3$を合成した力(図の点線の矢印)に等しい。この力とつりあう力が$\vec{F}_4$であるので, $\vec{F}_4$は右のようになる。




(4) $|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = \sqrt{(-2)^2 + 0^2} = 2$,

$|\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3| = \sqrt{(-1)^2 + 2^2} = \sqrt{5}$

(6) 複数の力がつり合うとき, その力の和は必ず$\vec{0}$となる。

**58** (1) $9.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{N}$　(2) $9.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{N}$

**【解説】**

(1) 物体にはたらいている力の大きさを$F$とすると, 物体についての鉛直方向の運動方程式は, 鉛直下向きを正として, $1.0 \times 10^{-6} \times 9.8 = F$ となる。

よって, $F = 9.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{N}$

(2) 抵抗力の大きさを$F'$とすると, 等速直線運動をしているときの加速度は$\vec{0}$であるので, 物体についての鉛直方向の運動方程式は, 鉛直下向きを正として,

$1.0 \times 10^{-6} \times 0 = F - F'$　となる。

よって, $F' = F = 9.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{N}$

**59** $F_1 = 0.86\,\mathrm{N}$, $F_2 = 0.14\,\mathrm{N}$

**【解説】**

小球は等速直線運動をしているので, 小球の加速度は$\vec{0}$である。よって, $x$軸方向, $y$軸方向の力のつり合いにより,

$x$軸方向のつり合い:

$0.20\cos 45° - F_2 = 0$ …①

$y$軸方向のつり合い:

$F_1 + 0.20\sin 45° - 1.0 = 0$ …②

①より,

$F_2 = 0.20\cos 45° = 0.20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.10 \times 1.41$

$\fallingdotseq 0.141 \fallingdotseq 0.14$

②より,

$F_1 = 1.0 - 0.20\sin 45° = 1.0 - 0.20 \times \frac{\sqrt{2}}{2}$

$= 1.0 - 0.10 \times 1.41 = 0.859 \fallingdotseq 0.86$

**60** (1) $\vec{f}_1 = \begin{pmatrix} -f_1\sin\alpha \\ f_1\cos\alpha \end{pmatrix}, \vec{f}_2 = \begin{pmatrix} -f_2\sin\beta \\ -f_2\cos\beta \end{pmatrix}$,

$\vec{f}_3 = \begin{pmatrix} f_3\sin\gamma \\ -f_3\cos\gamma \end{pmatrix}$

(2) $\vec{a} = \begin{pmatrix} \frac{-f_1\sin\alpha - f_2\sin\beta + f_3\sin\gamma}{m} \\ \frac{f_1\cos\alpha - f_2\cos\beta - f_3\cos\gamma}{m} \end{pmatrix}$

**【解説】**

(2) 運動方程式は次のようになる。

$m\vec{a} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \vec{f}_3$　で, (1)の結果を代入すると,

$m\vec{a}$

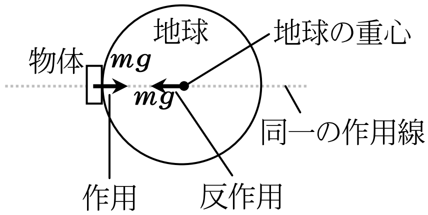
$$=\begin{pmatrix}-f_1\sin\alpha\\ f_1\cos\alpha\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}-f_2\sin\beta\\ -f_2\cos\beta\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}f_3\sin\gamma\\ -f_3\cos\gamma\end{pmatrix}$$
$$=\begin{pmatrix}-f_1\sin\alpha-f_2\sin\beta+f_3\sin\gamma\\ f_1\cos\alpha-f_2\cos\beta-f_3\cos\gamma\end{pmatrix}$$
よって，
$$\vec{a}=\frac{1}{m}\begin{pmatrix}-f_1\sin\alpha-f_2\sin\beta+f_3\sin\gamma\\ f_1\cos\alpha-f_2\cos\beta-f_3\cos\gamma\end{pmatrix}$$
$$\vec{a}=\begin{pmatrix}\frac{-f_1\sin\alpha-f_2\sin\beta+f_3\sin\gamma}{m}\\ \frac{f_1\cos\alpha-f_2\cos\beta-f_3\cos\gamma}{m}\end{pmatrix}$$

**61** 大きさ･向き･作用点

**62** 接触力:ア，ウ，カ，キ，ク　遠隔力:イ，エ，オ

**63** ① 反作用　② 作用線　③ 逆
④ 物体が地球を引く力(物体が地球に及ぼす力)　⑤ 重心(中心)

**【解説】**
④ ,⑤地球上の物体にはたらく重力の反作用は，図のように物体が地球を引く力であり，その作用点は地球の重心になる。




**64** (1) 速さ$v_0$ m/sで等速直線運動を続ける
(2) 慣性の法則

**【解説】**
物体に力が作用していないとき，静止している物体はひとりでに動き出すことはなく，運動している物体は等速直線運動を続ける。これを慣性の法則という。

**65** ① 60　② $5.9\times10^2$　③ 60　④ 10
⑤ 98　⑥ 1.6

**【解説】**
① 質量 1kg の物体には 1kgw (1kg 重) の力が鉛直下向きにはたらく
② $60\,\mathrm{kg}\times9.8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}=588\,\mathrm{N}\fallingdotseq590\,\mathrm{N}$
$=5.9\times10^2\,\mathrm{N}$
③ 質量は，物体を構成する原子の種類とその数によって決まる量で，物体が地表にあろうと月面上にあろうと変わらない。
④ $60\,\mathrm{kgw}\times\frac{1}{6}=10\,\mathrm{kgw}$
⑤ $588\,\mathrm{N}\times\frac{1}{6}=98\,\mathrm{N}$
⑥ 生じる重力加速度の大きさを$g'$とすると，落下しているときの運動方程式は，鉛直下向きを正とすると，
$60g'=98$　よって，
$g'\fallingdotseq1.633\cdots\fallingdotseq1.6\,\mathrm{m/s^2}$

**66** ① $m_\mathrm{A}g$　② $N_1-m_\mathrm{A}g$　③ $m_\mathrm{B}g$
④ 作用･反作用　⑤ $N_2-N_1-m_\mathrm{B}g$
⑥ $m_\mathrm{A}g$　⑦ $(m_\mathrm{A}+m_\mathrm{B})\,g$

**【解説】**
運動方程式を立てるときは，次のように必ず1つの物体に注目して立てる。
$(1\text{ つの物体の質量})\times(\overrightarrow{\text{生じる加速度}})$
$=(\overrightarrow{\text{はたらく力の合計}})$
よって，はたらく力を書き入れる場合は，図に示すように物体ごとに分けて書き入れたほうがよい。


**67** (1) 力:摩擦力，向き:水平左向き，
大きさ:2N　(2) 0N

**【解説】**
(1) 物体は加速していないので，力のつり合いにより，水平左向きに2Nの力がはたらいていなければいけない。この力は水平面から受ける摩擦力である。静止しているときにはたらく摩擦力を特に静止摩擦力といい，答えは静止摩擦力と答えてもよい。
(2) 物体に加える力はつり合っているので，この場合摩擦力ははたらかない。

**68** (1) 重力，向き:鉛直下向き，大きさ:$mg$
(2) 垂直抗力，向き:鉛直上向き，$mg$
(3) 摩擦力，向き:水平左向き，大きさ:$F$
(4) 抗力

**【解説】**
(1)～(3) 物体にはたらく垂直抗力の大きさを$N$，摩擦力の大きさを$R$とすると，力のつり合いにより，次の式が成り立つ。
鉛直方向:$N-mg=0$

水平方向:$F-R=0$
よって, $N=mg, F=R$
(4) $\overrightarrow{\text{抗力}}=\overrightarrow{\text{摩擦力}}+\overrightarrow{\text{垂直抗力}}$ は暗記しておくこと。

**69** (1) $Ma=T$　(2) $ma=mg-T$
(3) $a=\frac{mg}{M+m}$ , $T=\frac{Mmg}{M+m}$　(4) $\frac{mg}{M+m}t$
(5) $\sqrt{\frac{2hmg}{M+m}}$

【解説】
(1) 台車にはたらく重力の水平成分は0であるので, 台車にはたらく力の水平成分は糸の張力だけである。
(2) 糸の両端にはたらく張力の大きさは等しいので, おもりには正の向きに$mg$ Nの重力, 負の向きに$T$ Nの張力がはたらく。
(3) $Ma=T$ …①　$ma=mg-T$ …②
①＋②より, $(M+m)a=mg$　よって,
$a=\frac{mg}{M+m}$
これを①に代入すると, $T=\frac{Mmg}{M+m}$
(4) 台車は等加速度直線運動をし, 初速度は$v_0=0$であるので,
$v=v_0+at=0+\frac{mg}{M+m}t=\frac{mg}{M+m}t$
(5) 公式 $v_2^2-v_1^2=2as$ を用いると,
$V^2-0^2=2\times\frac{mg}{M+m}\times h=\frac{2hmg}{M+m}$
よって, $V=\sqrt{\frac{2hmg}{M+m}}$

**70** (1) 壁がばねを引く力, 糸がばねを引く力
(2) 糸がおもりを引く力, 重力　(3) 4.9 N
(4) 35 N/m
(5) 図1:39 cm, 図2:39 cm

【解説】
(1) ばねと接触しているのは, 壁と糸であり, ばねにはたらく接触力は,「壁がばねを引く力」と「糸がばねを引く力」である。「…を引く力」を「…に及ぼす力」のように表現してもよい。ばねには重力もはたらくが, 問題文に「軽い」とあるので, 小さく無視できる。
(2) おもりと接触しているのはおもりだけであるので, おもりにはたらく接触力は,「ばねがおもりを引く力」である。また, おもりには遠隔力の「重力」がはたらく。
(3) 糸の張力の大きさを$T$とすると, おもりについての力のつり合いにより, $T-0.5\times 9.8=0$　よって, $T=4.9$ N
ここで壁がばねを引く力の大きさを$S$とすると, ばねにはたらく水平方向の力のつり合いにより, $T-S=0$
よって, $S=T=4.9$ N　作用・反作用の法則により, ばねが壁を引く力も4.9 Nとなる。
(4) 自然長からのばねの伸びは, (39－25) cm = 14 cm = 0.14 mである。ばね定数を$k$とすると, フックの法則より, $k\times 0.14=4.9$
よって, $k=\frac{4.9}{0.14}=35$ N/m
(5) 図1, 図2のいずれの場合も, 1つのばねには右向きに4.9 N, 左向きに4.9 Nの力がはたらいてつり合っている。よって, ばねの伸びは最初の状態と変わらない。

**71** 運動の第一法則：慣性の法則
運動の第二法則：運動の法則
運動の第三法則：作用反作用の法則

**72** (1) 遠隔力:(地球から受ける) 重力　接触力:水平面から受ける垂直抗力, 台車Bから受ける力
(2) 遠隔力:(地球から受ける)重力　接触力:水平面から受ける垂直抗力, 台車Aから受ける力
(3) 台車Aが台車Bから受ける力, 台車Bが台車Aから受ける力
(4) 1.2 $\mathrm{m/s^2}$　(5) 1.8 N　(6) 5.4 m
(7) 速さ3.6 m/s で等速直線運動をし続ける, 慣性の法則

【解説】
(3) 台車が水平面から受ける力の反作用は, 水平面が台車から受ける力。また, 台車にはたらく重力の反作用は, 地球が台車から受ける力である。
(4) 2つの台車には等しい大きさの加速度が生じる。その加速度の大きさを$a$, AがBから受ける力, 及びBがAから受ける力の大きさを$T$とすると, 水平方向の運動方程式は, 右向きを正として, 次のようになる。
台車A:$1.0\times a=3.0-T$ …①
台車B:$1.5\times a=T$ …②
①＋②より, $2.5a=3.0$ よって,
$a=\frac{3.0}{2.5}=1.2\ \mathrm{m/s^2}$
(5) $a=1.2$ を② に代入すると,
$T=1.5\times 1.2=1.8$ N

(6) 台車 A が動き出してから$t$ s後の台車 A の移動距離$x$ mは,
$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 1.2t^2 = 0.6t^2$
よって,
$t = 3.0$ sのとき, $x = 0.6 \times (3.0)^2 = 5.4$ m

(7) 台車 A が動き出してから$t$ s後の台車 A の速さ$v$ m/sは, $v = v_0 + at = 1.2t$
よって,
$t = 3.0$ sのとき, $v = 1.2 \times 3.0 = 3.6$ m/s
台車は水平面から摩擦を受けておらず, 台車にはたらく重力の水平成分は 0 であるので, 台車が動き出してから3.0 s以降, 台車には水平方向の力がはたらかない。このことから慣性の法則によって, 2 つの台車は速さ3.6 m/s で等速直線運動を続ける。

**73** (1) 4.9 kg (2) 0.5 kg
(3) 図 1:$5.0 \times 10^{-2}$ m 図 2:$2.5 \times 10^{-2}$ m

**【解説】**

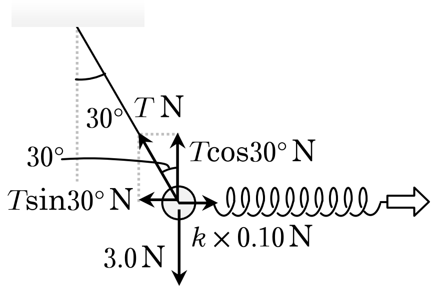
(1) 質量1 kgの物体には地球上で1 kg 重の重力がはたらくと定義されている。よって, 4.9 kgの物体には4.9 kg 重の重力がはたらく。

(2) 物体の重さ(重量)は, 物体にはたらく重力の大きさである。求める物体の質量を$m$, 重力加速度の大きさを$g$とすると,
$mg = 4.9$ よって,
$m = \frac{4.9}{g} = \frac{4.9}{9.8} = 0.5$ kg

(3) ばね定数を$k$ N/m, 自然長からの伸びを$x$mとすると, フックの法則によって, ばねが物体に及ぼす力は $kx$ Nと表すことができる。
図 1 の場合, 片方のおもりについての力のつり合いにより, $kx - 0.50 = 0$これを解くと,
$x = \frac{0.50}{k} = \frac{0.50}{10} = 5.0 \times 10^{-2}$ m
図 2 の場合, おもりと質量が無視できる金具を全体として 1 つの物体と見なすと, この物体にはたらく接触力は, 左のばねが上向きに引く力と, 右のばねが上向きに引く力の 2 つであり, 遠隔力は下向きにはたらく重力である。
よって, その一体と見なした物体についての力のつり合いにより,
$kx + kx - 0.50 = 0$ となる。
これを解くと,
$x = \frac{0.50}{2k} = \frac{0.50}{2 \times 10} = 2.5 \times 10^{-2}$ m

**74** (1) 3.5 N (2) 17 N/m (3) 1.7 N

**【解説】**




(1) 糸の張力を$T$, ばね定数を$k$とすると, 図より, おもりについての水平方向と鉛直方向の力のつり合いの式は次のようになる。
水平方向:$k \times 0.10 - T\sin 30° = 0$ …①
鉛直方向:$T\cos 30° - 3.0 = 0$ …②
②より,
$T = \frac{3.0}{\cos 30°} = 3.0 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = 2\sqrt{3} \fallingdotseq 3.46$
$\fallingdotseq 3.5$ N

(2) ①を$k$について解き, $T = 2\sqrt{3}$を代入すると, $k = \frac{2\sqrt{3} \times \sin 30°}{0.10} = \frac{2\sqrt{3} \times \frac{1}{2}}{0.10} = 10\sqrt{3}$
$\fallingdotseq 17.3 \fallingdotseq 17$ N/m

(3) $k \times 0.10 = 10\sqrt{3} \times 0.10 = \sqrt{3} \fallingdotseq 1.73$
$\fallingdotseq 1.7$ N

**75** (1) 4.9 N (2) 5.5 N (3) 4.3 N
(4) 0 N

**【解説】**

はたらく糸の張力を$T$として, おもりについての鉛直方向の運動方程式(鉛直下向きを正とする) を立てる。等速度運動の場合の加速度は 0 であることに注意する。

(1) $0.50 \times 0 = 0.50 \times 9.8 - T$
これを解くと, $T = 4.9$ N

(2) $0.50 \times (-1.2) = 0.50 \times 9.8 - T$
これを解くと, $T = 5.5$N

(3) $0.50 \times 1.2 = 0.50 \times 9.8 - T$
これを解くと, $T = 4.3$ N

(4) $0.50 \times 9.8 = 0.50 \times 9.8 - T$
これを解くと, $T = 0$ N

**76** 加速度の大きさ:$\frac{M-m}{M+m}g$ m/s$^2$
張力の大きさ:$\frac{2Mm}{M+m}g$ N

**【解説】**

2 つのおもりの加速度の大きさを$a$, 糸の張力

を$T$とすると，$M$ kgのおもりについては鉛直下向き，$m$ kgのおもりについては鉛直上向きを正として，運動方程式を立てると，

$M$ kgのおもり:$Ma = Mg - T$ …①

$m$ kgのおもり:$ma = T - mg$ …②

①，②を，$a$，$T$を未知数とする連立方程式と見なして解くと，$a = \frac{M-m}{M+m}g$，$T = \frac{2Mm}{M+m}g$

**77** 加速度:$\frac{F-(M+m)g}{M+m}$ 垂直抗力:$\frac{mF}{M+m}$

【解説】

物体がエレベーターから受けている垂直抗力の大きさを$N$とすると，その反作用として，エレベーターには鉛直下向きに$N$ Nの力がはたらく。加速度を$a$ m/s$^2$として，エレベーターとおもりの鉛直方向の運動方程式は，上向きを正として，次のようになる。

エレベーター:$Ma = F - N - Mg$ …①

物体:$ma = N - mg$ …②

①＋②より，$(M+m)a = F - (M+m)g$

よって，$a = \frac{F-(M+m)g}{M+m}$

②を$N$について解き，これを代入すると，

$N = m(a+g) = m\left(\frac{F-Mg-mg}{M+m} + g\right)$

$= m\left(\frac{F-Mg-mg}{M+m} + \frac{Mg+mg}{M+m}\right) = \frac{mF}{M+m}$

**78** (1) ① 慣性 ② 静止
③ 等速直線運動 ④ 運動
⑤ 比例 ⑥ 反比例 ⑦ 作用·反作用
⑧ 作用線 ⑨ 大きさ

(2) 大きさ·向き·作用点

**79** (1) ウ (2) $\frac{f_0}{mg}$ (3) $\frac{F_0}{mg}$ (4) $\frac{F-F_0}{m}$

【解説】

(1) 物体が動き出す直前にはたらく摩擦力が$f_0$ Nの最大静止摩擦力であり，動き出した後にはたらく動摩擦力の大きさは，一般に最大静止摩擦力よりも小さくなる。

(2) 物体にはたらく垂直抗力の大きさを$N$とすると，鉛直方向の力のつり合いにより，

$mg - N = 0$ …①

一方，静止摩擦係数を$\mu_0$とすると，

$f_0 = \mu_0 N$ …②

①，② より，$N$を消去して$\mu_0$について解くと，$\mu_0 = \frac{f_0}{mg}$

(3) 求める動摩擦係数を$\mu'$とする。等速直線運動をしているとき，物体の加速度の大きさは0で，右向きに$F_0$ Nの糸の張力，左向きに$\mu' N$ Nの動摩擦力がはたらいているので，このときの水平方向（右向きを正とする）の運動方程式は，

$m \times 0 = F_0 - \mu' N$ …③

①，③ より，$N$を消去して$\mu'$について解くと，$\mu' = \frac{F_0}{mg}$

(4) $F$ Nの力が右向きにはたらいているときに生じる加速度の大きさを$a$ m/s$^2$とすると，このとき大きさ$F_0$ Nの動摩擦力が左向きにはたらいているので，水平方向（右向きを正とする）の運動方程式は，

$ma = F - F_0$ よって，$a = \frac{F-F_0}{m}$

**80** (1) 2.5 m/s$^2$ (2) 0.26

【解説】

(1) 物体に生じる加速度の水平成分（右向きを正とする）を$a$ m/s$^2$とすると，公式 $v_2^2 - v_1^2 = 2as$ より，

$0^2 - 2.0^2 = 2 \times a \times 0.8$ よって，

$a = -\frac{2.0^2}{2 \times 0.8} = -2.5$ つまり，2.5 m/s$^2$で減速したことになる。

(2) 求める動摩擦係数を$\mu'$，物体にはたらく垂直抗力を$N$ Nとすると，物体がすべっているときの水平方向の運動方程式（右向きを正とする）は，

$0.5 \times (-2.5) = -\mu' N$ よって，

$\mu' = \frac{0.5 \times 2.5}{N}$ …①

また，物体の加速度の鉛直成分は0であるので，鉛直方向の力のつり合いより，

$N - 0.5 \times 9.8 = 0$

よって，$N = 0.5 \times 9.8$ …②

②を①に代入すると，

$\mu' = \frac{0.5 \times 2.5}{0.5 \times 9.8} = 0.255 \fallingdotseq 0.26$

**81** (1) $mg\cos\theta$

(2) 斜面に沿った上向き 大きさ:$mg\sin\theta$

(3) 0 N (4) 斜面に沿った下向き

(5) 斜面に沿った下向き
大きさ:$\mu_0 mg\cos\theta$ N

(6) $F - \mu_0 mg\cos\theta - mg\sin\theta = 0$

(7) $mg(\mu_0\cos\theta + \sin\theta)$

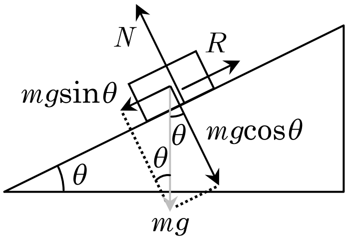
(8) $mg(\mu_0\cos\theta - \sin\theta)$

(9) $\mu_0 = \tan\alpha$，摩擦角

【解説】

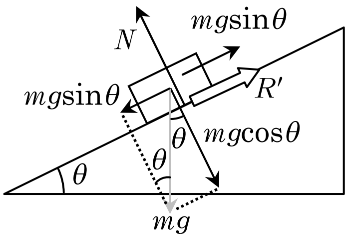
(1)，(2) 物体が静止しているときに物体にはたらく垂直抗力の大きさを$N$，静止摩擦力

の大きさを$R$とすると，物体には次の図に示すような力がはたらく。静止摩擦力の向きは，物体が動こうとする向きを妨げる向きであるので，斜面に沿った上向きであることに注意する。




よって，斜面と垂直な向きと平行な向きの力のつり合いの式は次のようになる。
斜面と垂直な向き：$N - mg\cos\theta = 0$
斜面と平行な向き：$R - mg\sin\theta = 0$
それぞれ$N$, $R$について解くと，
$N = mg\cos\theta$, $R = mg\sin\theta$

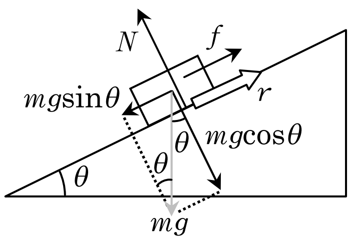
(3)　このとき，斜面に沿った上向きに大きさ$R'$の静止摩擦力がはたらいていると仮定すると，物体には次の図に示すような力がはたらく。




物体はこの場合も静止しているので，斜面と平行な方向のつり合いの式は，
$R' + mg\sin\theta - mg\sin\theta = 0$
となる。よって，$R' = 0$，つまり，静止摩擦力ははたらかない。

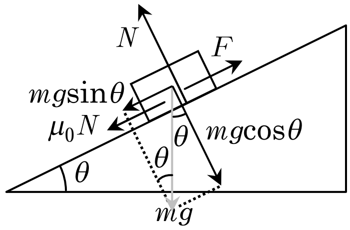
(4)　(3)の結果より，加える力の大きさを$mg\sin\theta$よりも大きくすると，物体を斜面方向に動かす作用は，斜面に沿った上向きのほうが下向きよりも大きくなる。よって，静止摩擦力はそれを妨げる向き，つまり斜面に沿った下向きにはたらく。

**【別解】**




図のように斜面に沿った上向きに加える力を$f (> mg\sin\theta)$とし，このとき斜面に沿った上向きに大きさ$r$の静止摩擦力がはたらいていると仮定すると，斜面と平行な向きのつり合いの式は次のようになる。
$r + f - mg\sin\theta = 0$　よって，
$r = mg\sin\theta - f < 0$
となるので，静止摩擦力は斜面に沿った下向きになるといえる。

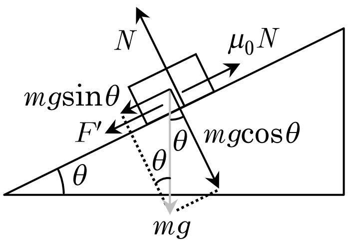
(5)　静止摩擦力は物体が動き出すのを妨げる向きであるので，動き出す直前にはたらく静止摩擦力は最大となって，斜面に沿った下向きにはたらき，その最大の静止摩擦力の大きさは$\mu_0 N$と表すことができる。(1)より，$N = mg\cos\theta$であるので，
$\mu_0 N = \mu_0 mg\cos\theta$　となる。




(6)　斜面に沿った上向きを正とすると，斜面と平行な向きの力のつり合いの式は次のようになる。
$F - \mu_0 N - mg\sin\theta = 0$
$N = mg\cos\theta$　より，
$F - \mu_0 mg\cos\theta - mg\sin\theta = 0$

(7)　加える力の大きさが(6)の$F$を超えれば物体は動き出す。(6)の式を$F$について解くと，$N = mg\cos\theta$より，
$F = \mu_0 N + mg\sin\theta$
$= \mu_0 mg\cos\theta + mg\sin\theta$
$= mg(\mu_0\cos\theta + \sin\theta)$

(8)　物体が動き出す直前の物体に加えた力の大きさを$F'$とすると，この力がはたらくとき，静止摩擦力は斜面上向きにはたらき，大きさが最大となる。よってこのとき物体には図に示すような力がはたらく。



このときの斜面と平行な向きの力のつり合いにより, $F' + mg\sin\theta - \mu_0 N = 0$
これを$F'$について解くと,
$F' = \mu_0 N - mg\sin\theta$
$= \mu_0 mg\cos\theta - mg\sin\theta$
$= mg(\mu_0\cos\theta - \sin\theta)$
加える力がこの大きさを超えたとき, 物体は動き出す。

(9) 物体が斜面を滑り出す瞬間の水平面と斜面との成す角を摩擦角といい, 摩擦角が$\theta_0$のとき, 静止摩擦係数は$\mu_0 = \tan\theta_0$と表すことができる。

**82** (1) 右向き　(2) 解説参照　(3) $\frac{mF}{M+m}$
(4) $\frac{Ft}{M+m}$　(5) $\mu_0(M+m)g$

【解説】

(1) 台車を引く力を強くしていくと, やがて物体は台車に対して左向きに滑り出してしまう。よって, $F$Nの力を加えているとき, 物体が滑り出すのを妨げる右向きに静止摩擦力がはたらく。

(2) 物体は右向きに静止摩擦力を受けるので, 台車は左向きにその反作用を受ける。また, 台車は水平面と物体と接触しているので, それぞれから抗力を受ける。このことに注意すると, 運動方程式は次のようになる。

●台車
水平方向:$Ma = F - R$ …①
鉛直方向:$M\cdot 0 = -Mg + N_1 - N_2$
●物体
水平方向:$ma = R$ …②
鉛直方向:$m\cdot 0 = N_2 - mg$ …③

(3) ①÷②より, $\frac{Ma}{ma} = \frac{F-R}{R}$　よって,
$\frac{M}{m} = \frac{F}{R} - 1$
$\frac{F}{R}$について解くと, $\frac{F}{R} = \frac{M}{m} + 1 = \frac{M+m}{m}$
これを$R$について解くと, $R = \frac{mF}{M+m}$

(4) ②を$a$について解き, $R = \frac{mF}{M+m}$を代入すると, $a = \frac{1}{m}\cdot R = \frac{1}{m}\cdot\frac{mF}{M+m} = \frac{F}{M+m}$
等加速度直線運動の公式より,
$v = v_0 + at = 0 + \frac{F}{M+m}t = \frac{Ft}{M+m}$

(5) 物体にはたらく最大静止摩擦力の大きさは$\mu_0 N_2$であるので, 物体が台車上を滑り出さないためには, $R \leqq \mu_0 N_2$ が必要となる。(3)より, $R = \frac{mF}{M+m}$, (2)の③より, $N_2 = mg$であるので, $\frac{mF}{M+m} \leqq \mu_0 mg$
よって,
$F \leqq \frac{M+m}{m}\cdot\mu_0 mg = \mu_0(M+m)g$

**83** (1) $2M$　(2) A:$\frac{M}{Sh}$, B:$\frac{M}{Sh}$　(3) $\frac{Mg}{S}$
(4) $\frac{Mg}{S}$

【解説】

(1) A の体積は$Sh$, B の体積は$2Sh$で, B の体積はAの2倍であり, AとBは同じ材質なので, 質量についても B は A の2倍となる。

(2) 密度 = 質量/体積　であるので,
Aの密度= $\frac{M}{Sh}$,　Bの密度= $\frac{2M}{2Sh} = \frac{M}{Sh}$

(3) A が接触面に及ぼす力は$Mg$で, 力を及ぼしている面積は$S$であるので, 接触面にはたらく圧力は$\frac{Mg}{S}$

(4) B が接触面に及ぼす力は$2Mg$で, 力を及ぼしている面積は$2S$であるので, 接触面にはたらく圧力は$\frac{2Mg}{2S} = \frac{Mg}{S}$

**84** (1) $10^{-3}\,\mathrm{m^3}$　(2) 13.6 kg　(3) $10^{-4}\,\mathrm{m^2}$
(4) $10^{-6}\,\mathrm{m^3}$　(5) 103.4 kg, 1013 hPa

【解説】

(1) $1\,\mathrm{m^3} = 1000\,\mathrm{L}$であることを暗記しておくこと。この式の両辺を1000で割ると,
$10^{-3}\,\mathrm{m^3} = 1\,\mathrm{L}$

(2) $1.36\times10^4\,\mathrm{kg/m^3}\times10^{-3}\,\mathrm{m^3}$
$= 1.36\times10^{4-3}\,\mathrm{kg} = 13.6\,\mathrm{kg}$

(3) 一辺の長さが1 mの正方形の面積が$1\mathrm{m^2}$であるので,
$1\,\mathrm{m^2} = 100\,\mathrm{cm}\times100\,\mathrm{cm} = 10^4\,\mathrm{cm^2}$
この両辺を$10^4$で割れば,
$10^{-4}\,\mathrm{m^2} = 1\mathrm{cm^2}$

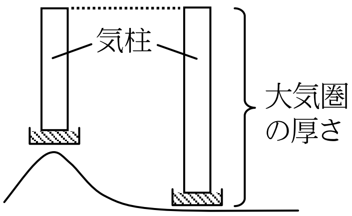
(4) 一辺の長さが1 mの立方体の体積が$1\mathrm{m^3}$であるので,
$1\,\mathrm{m^3} = 100\,\mathrm{cm}\times100\,\mathrm{cm}\times100\,\mathrm{cm}$
$= 10^6\,\mathrm{cm^3}$
この両辺を$10^6$で割れば,
$10^{-6}\,\mathrm{m^3} = 1\,\mathrm{cm^3}$

(5) 水銀の体積は,
$100\,\mathrm{cm^2}\times76\,\mathrm{cm} = 7600\,\mathrm{cm^3}$
$1\,\mathrm{cm^3} = 10^{-6}\,\mathrm{m^3}$であるので,
$7600\,\mathrm{cm^3} = 7600\times10^{-6}\,\mathrm{m^3}$
よって, 容器内の水銀の質量は,
$1.36\times10^4\,\mathrm{kg/m^3}\times7600\times10^{-6}\,\mathrm{m^3}$

$= 103.36\,\mathrm{kg} \fallingdotseq 103.4\,\mathrm{kg}$
容器の底の面積は，
$100\,\mathrm{cm^2} = 100 \times 10^{-4}\,\mathrm{m^2} = 10^{-2}\,\mathrm{m^2}$
床にはたらく圧力は，
$\frac{103.36 \times 9.8\,\mathrm{N}}{10^{-2}\,\mathrm{m^2}} = 103.36 \times 9.8 \times 10^2\,\mathrm{Pa} =$
$101292.8\,\mathrm{Pa}$
$1\,\mathrm{hPa} = 100\,\mathrm{Pa}$であるので，
$101292.8\,\mathrm{Pa} = 1012.928\,\mathrm{hPa}$
$\fallingdotseq 1013\,\mathrm{hPa}$

**85** ア

【解説】




高さが大気圏の厚さに相当する気柱の重さが重いほど，水銀面に及ぼす圧力が大きくなり，水銀柱は高くなる。その気柱の水銀面からの高さは，山地よりも海面に近い平地のほうが高いので，海面に近い平地のほうが水銀柱は高くなる。

**86** $3.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$

【解説】
公式$p' = p_0 + \rho hg$より，
$p' = 1.0 \times 10^5 + 1.0 \times 10^3 \times 20 \times 9.8$
$= 2.96 \times 10^5 \fallingdotseq 3.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$

**87** イ

【解説】
ホース内の圧力はガラス管の太さに関係なく，水面からの深さによって決まる。A のガラス管を下に下げると，ホースの中の深さは A の水面からの深さよりも B の水面からの深さのほうが深くなるため，ホース内の圧力は A から B の向きよりも B から A の向きのほうが大きくなる。よって，水は B から A へ流れ，やがて水位が等しくなったところで止まる。

**88** $49\,\mathrm{N}$

【解説】
A に$F$ Nの力を加えてピストンの高さが等しくなったときのピストン上面にかかる大気圧を$P$ Pa，下面にかかる水からの圧力を$p$ Paとする。このとき，2 つのピストンのつり合いにより，次の式が成り立つ。

A:$P\left(\pi \times 0.050^2\right) + F = p\left(\pi \times 0.050^2\right)$…①
B:$P\left(\pi \times 0.10^2\right) + 20 \times 9.8 = p\left(\pi \times 0.10^2\right)$
…②
①を変形すると，$F = 0.0025\pi(p - P)$
②を変形すると，$196 = 0.01\pi(p - P)$
これらの辺々を割ると，
$\frac{F}{196} = \frac{0.0025\pi(p-P)}{0.01\pi(p-P)} = 0.25$　よって，
$F = 196 \times 0.25 = 49\,\mathrm{N}$

**89** $1.3 \times 10^{-2}\,\mathrm{N}$, 1.3 g 重

【解説】
$1000\,\mathrm{L} = 1\,\mathrm{m^3}$であるので，$1\,\mathrm{L} = 10^{-3}\,\mathrm{m^3}$である。よって，求める浮力の大きさは公式より，
$\rho Vg = 1.3\,\mathrm{kg/m^3} \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3} \times 9.8\,\mathrm{m/s^2}$
$= 12.74 \times 10^{-3}\,\mathrm{N} \fallingdotseq 1.3 \times 10^{-2}\,\mathrm{N}$
また，体積が物体と等しい空気の質量は，
$\rho V = 1.3\,\mathrm{kg/m^3} \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3} = 1.3 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg}$
$= 1.3\,\mathrm{g}$
この重さだけ物体に浮力がはたらくので，求める大きさは1.3 g 重となる。

**90** (1) $2.0 \times 10^{-1}\,\mathrm{N}$ (2) $1.4\,\mathrm{N}$
(3) 金属球から水
(4) 台ばかりから受ける抗力，金属球にはたらく浮力の反作用，重力
(5) $6.0 \times 10^{-1}$ kg 重

【解説】
(1) $\rho Vg = 1.0 \times 10^3\,\mathrm{kg/m^3} \times 2.0 \times 10^{-5}\,\mathrm{m^3} \times 9.8\,\mathrm{m/s^2} = 1.96 \times 10^{-1} \fallingdotseq 2.0 \times 10^{-1}\,\mathrm{N}$
(2) 糸の張力の大きさを$T$，金属球の質量を$m$，金属球の体積を$V$，重力加速度の大きさを$g$とすると，金属球は上向きに浮力と糸の張力，下向きに重力を受けてつり合っているので，$\rho Vg + T - mg = 0$
よって，
$T = mg - \rho Vg$
$= 0.16 \times 9.8 - 1.96 \times 10^{-1}$
$= 1.372 \fallingdotseq 1.4\,\mathrm{N}$
(3) 水と接触している金属球には接触力である浮力が鉛直上向きにはたらいている。その反作用は金属球が水に及ぼす鉛直下向きの力である。
(4) 一体と見なす物体（容器と水）は，金属球と台ばかりから接触力を受ける。また，物体には遠隔力である重力がはたらく。

【注】糸とも接しているが，糸にはたらく浮力は小さく無視できるので，その浮力の反作

用も無視できる。

(5) 一体と見なす物体(容器と水)の質量を$M$，その物体が台ばかりから受ける抗力を$N$Nとする。この物体には上向きに台ばかりからの抗力がはたらき，下向きに重力と金属球にはたらく浮力の反作用がはたらいてつり合っているので，
$N-\rho Vg-Mg=0$
一体と見なす物体が台ばかりに及ぼす力は，作用反作用の法則により，この物体が台ばかりから受ける抗力の反作用で，その力の大きさが台ばかりの針が示す値である。つまり，$N$ を〔kg 重〕で表した大きさが台ばかりの針が示す値である。したがって上記のつり合いの式を$N$について解くと，
$N=\rho Vg+Mg=(\rho V+M)g$N
$=\rho V+M$ kg 重
$=(1.0\times10^{3})\times(2.0\times10^{-5})+(0.080+0.50)$
$=0.02+0.58=0.60$ kg 重

**91** (1) $\rho Vg-\rho_0V'g$ または $\rho_0V'g-\rho Vg$

(2) $\frac{\rho}{\rho_0}$　(3) 10%

**【解説】**

(1) 氷山には鉛直下向きに重力，鉛直上向きに浮力がはたらいてつり合っている。その重力の大きさは$\rho Vg$N，浮力の大きさは$\rho_0V'g$Nである。

(2) (1)の式を$\frac{V'}{V}$について解く。

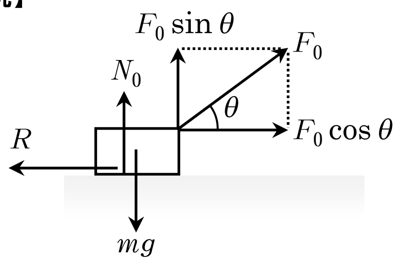
(3) 海面から出ている氷山の体積の割合は，(2)の結果を用いて，

$\frac{\text{海面から出ている氷山の体積}}{\text{氷山全体の体積}}=\frac{V-V'}{V}=1-\frac{V'}{V}$
$=1-\frac{\rho}{\rho_0}=1-\frac{917}{1020}\fallingdotseq0.101\fallingdotseq0.1$

**92** (1) $R=F_0\cos\theta,\ N_0=mg-F_0\sin\theta$

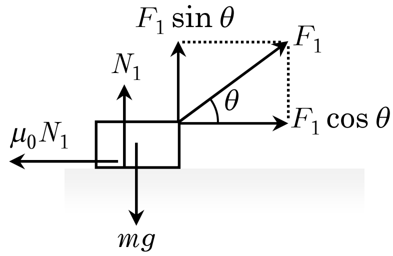
(2) $\frac{F_1\cos\theta}{mg-F_1\sin\theta}$　(3) $\frac{F_2(\cos\theta+\mu\sin\theta)-\mu mg}{2m}t^2$

**【解説】**



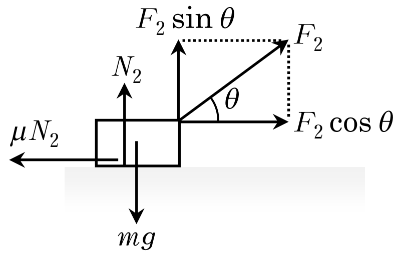

(1) 図より，水平方向と鉛直方向の力のつり合いの式は次のようになる。
水平方向:$F_0\cos\theta-R=0$ …①
鉛直方向:$F_0\sin\theta+N_0-mg=0$ …②
①より，$R=F_0\cos\theta$
②より，$N_0=mg-F_0\sin\theta$

(2)




物体が滑り出すときの物体にはたらく垂直抗力を$N_1$とすると，滑り出したときの力のつり合いにより，
水平方向:$F_1\cos\theta-\mu_0N_1=0$ …③
鉛直方向:$F_1\sin\theta+N_1-mg=0$ …④
④より，$N_1=mg-F_1\sin\theta$　これを③に代入すると，
$F_1\cos\theta-\mu_0(mg-F_1\sin\theta)=0$
これを$\mu_0$について解くと，$\mu_0=\frac{F_1\cos\theta}{mg-F_1\sin\theta}$

(3)




物体にはたらく垂直抗力を$N_2$，物体の加速度の大きさを$a$とすると，運動方程式は次のようになる。
水平方向:$ma=F_2\cos\theta-\mu N_2$ …⑤
鉛直方向:$F_2\sin\theta+N_2-mg=0$ …⑥
⑥より，$N_2=mg-F_2\sin\theta$
これを⑤に代入すると，
$ma=F_2\cos\theta-\mu(mg-F_2\sin\theta)$
$=F_2(\cos\theta+\mu\sin\theta)-\mu mg$
よって，$a=\frac{F_2(\cos\theta+\mu\sin\theta)-\mu mg}{m}$
等加速度直線運動の公式より，
$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$
$=0\cdot t+\frac{1}{2}\{\frac{F_2(\cos\theta+\mu\sin\theta)-\mu mg}{m}\}t^2$
$=\frac{F_2(\cos\theta+\mu\sin\theta)-\mu mg}{2m}t^2$

**93** 0.36

**【解説】**

板を徐々に傾けて，水平面と板との成す角が$\theta$のときに板上の物体が滑りだせば，板と物体との間の静止摩擦係数は$\tan\theta$と表すことができる。この場合は，

$\tan 20^\circ = 0.3640 \fallingdotseq 0.36$

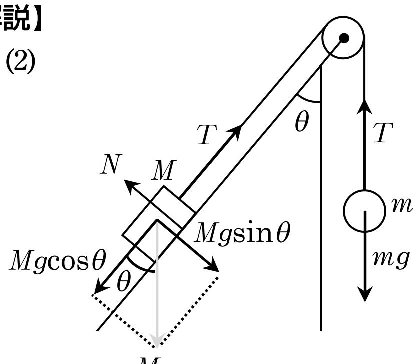
**94** (1) 解説参照 (2) $N = Mg\sin\theta$,

$a = \frac{g(m - M\cos\theta)}{M+m}, T = \frac{Mmg(1+\cos\theta)}{M+m}$

(3) $M\cos\theta$

**【解説】**

(1) (2)




物体 A は斜面に沿って上向きに加速し，おもり B は鉛直下向きに加速するので，A は斜面に沿った上向きを正，B は鉛直下向きを正として運動方程式を立てる。

●物体 A

斜面に平行な方向:

$Ma = T - Mg\cos\theta$ …①

斜面と垂直な方向:

$M\cdot 0 = N - Mg\sin\theta$ …②

※②は$M\cdot 0 = Mg\sin\theta - N$でも可

●おもり B の鉛直方向:

$ma = mg - T$ …③

②より，$N = Mg\sin\theta$

①＋③ より，$(M+m)a = mg - Mg\cos\theta$

よって，

$a = \frac{mg - Mg\cos\theta}{M+m} = \frac{g(m - M\cos\theta)}{M+m}$ … ④

これを① に代入してすると，

$\frac{Mg(m - M\cos\theta)}{M+m} = T - Mg\cos\theta$

さらに$T$について解くと，

$T = \frac{Mg(m - M\cos\theta)}{M+m} + Mg\cos\theta$

$= Mg\left(\frac{m - M\cos\theta}{M+m} + \cos\theta\right)$

$= Mg\left(\frac{m - M\cos\theta}{M+m} + \frac{M\cos\theta + m\cos\theta}{M+m}\right)$

$= Mg\left(\frac{m + m\cos\theta}{M+m}\right) = \frac{Mmg(1+\cos\theta)}{M+m}$

(3) おもりの質量が$m'$のとき，物体 A が静止するということは，④において，$m = m'$のとき，$a = 0$となる。よって，これらを④に代入すると，$\frac{g(m' - M\cos\theta)}{M+m'} = 0$ よって，

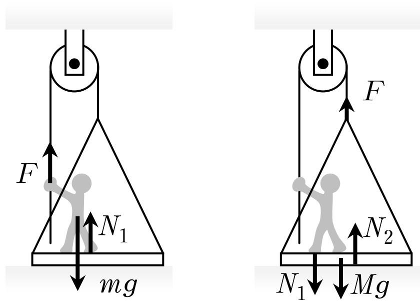
$m' = M\cos\theta$

**95** (1) 解説参照 (2) $\frac{1}{2}(m+M)g$

(3) $a = \frac{2F' - (m+M)g}{m+M}$ (4) $f = mg$ ，イ

**【解説】**

(1) 人が接触しているのは綱の一端とゴンドラで，ゴンドラが接触しているのは，床，人，綱の一端であることに注意する。また，人は下向きに$F$ Nの力を加えるので，その反作用として，人は上向きに$F$ Nの力を綱から受けることに注意する。さらに，軽い綱の張力はどこでも$F$ Nで等しいことに注意する。(ゴンドラと，人がつかんでいる方の綱の端は接触していないので，力はその端からゴンドラに作用しない。勘違いしないようにしよう) これらのことに注意して，接触力と遠隔力を図に書き込むと，人とゴンドラそれぞれにはたらく力は次のようになる。




人にはたらく力のつり合い:

$F + N_1 = mg$…①

ゴンドラにはたらく力のつり合い:

$F + N_2 = N_1 + Mg$…②

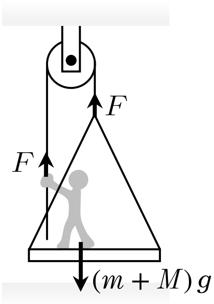
(2) ①＋②より，$2F + N_2 = (m+M)g$…③

この式により，綱を引く力の大きさ$F$を大きくすると，ゴンドラが床から受ける抗力の大きさ$N_2$が小さくなることが分かり，$N_2 = 0$となった直後から，ゴンドラは床から浮き上がると考えられる。よって，$N_2 = 0$のときの$F$の値が求める値である。

③ 式に$N_2 = 0$を代入すると，

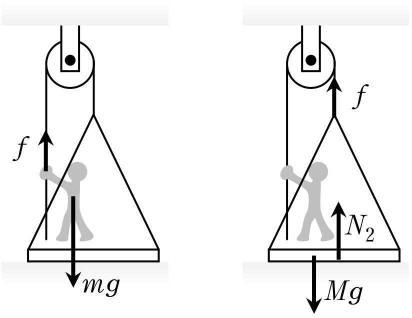
$2F = (m+M)g$ より，$F = \frac{1}{2}(m+M)g$

(3) ゴンドラと人を一体と見なした物体について考える。加速している最中，この物体に接触しているのは綱の両端であるので，はたらいている力は次のようになる。よって，一体と見なした物体の運動方程式は，




$(m+M)a = 2F' - (m+M)g$
これを解くと，
$a = \frac{2F'-(m+M)g}{m+M}$

(4) 人がゴンドラから浮き上がって静止しているとき，人とゴンドラそれぞれにはたらく力のつり合いは次のようになる。




人にはたらく力のつり合い：$f = mg$
ゴンドラにはたらく力のつり合い：
$f + N_2 = Mg$
よって，$N_2 = Mg - mg$　となり，ゴンドラが床から浮き上がらないためには，ゴンドラが床から抗力を受けている必要があるので，必要な条件は$N_2 > 0$となる。つまり，$N_2 = Mg - mg > 0$より，$Mg > mg$ となり，$M > m$が必要な条件となる。

**96** (1) $9.0 \times 10^{-4}$ kg　(2) $9.8 \times 10^{-4}$ N

**【解説】**

(1) 密度×体積＝質量であるので，
$0.18\,\mathrm{kg/m^3} \times 5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3}$
$= 9.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{kg}$

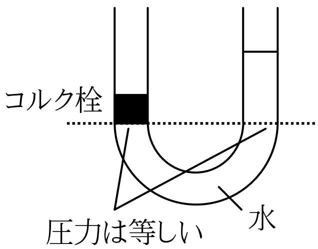
(2) ヘリウムガスが入った風船の質量は，
$5.0 \times 10^{-3} + 9.0 \times 10^{-4} = 5.9 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg}$
よって，この風船が受ける重力の大きさは，
$5.9 \times 10^{-3} \times 9.8 = 57.82 \times 10^{-3}\,\mathrm{N}$
風船にはたらく浮力の大きさは，
$\rho V g$
$= 1.2\,\mathrm{kg/m^3} \times 5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3} \times 9.8\,\mathrm{m/s^2}$
$= 58.8 \times 10^{-3}\,\mathrm{N}$
糸の張力を$T$とすると，鉛直方向の力のつり合いにより，
$58.8 \times 10^{-3} - 57.82 \times 10^{-3} - T = 0$
これを解くと，$T = 9.8 \times 10^{-4}\,\mathrm{N}$

**97** (1) $p_0 + \rho_0 L_2 g$　(2) ウ　(3) $\frac{L_2}{L_1}\rho_0$

**【解説】**

(1) 水面からの深さが$h$での水圧は，公式によって$p_0 + \rho h g$である。

(2) 一般に密度が等しい流体中では，高さ（深さ）が等しい位置での流体による圧力は等しい。




例えば，図のように，管の片方にコルク栓を詰めて水を入れた場合，水の形状に対称性がなくても，入れる水の量に関係なく，高さ（水面からの深さ）が等しい部分での水圧は等しい。したがって，コルク栓が油に置き換わっても同じことがいえる。

(3) 油の密度を$\rho$とすると，Aにおける油による圧力は，$p_0 + \rho L_1 g$となる。これは(2)より，$p_0 + \rho_0 L_2 g$ と等しいので，
$p_0 + \rho L_1 g = p_0 + \rho_0 L_2 g$
これを$\rho$について解くと，$\rho = \frac{L_2}{L_1}\rho_0$

**【別解】**

図 1

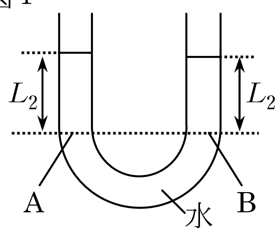
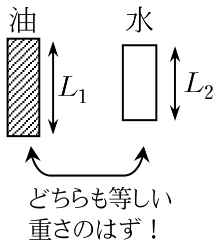



図 2




高さ$L_1$の油を抜きとり，代わりに同じ太さで高さが$L_2$の水を入れてみると，図1に示すようにつり合うはずである。このことから，図 2

のように抜き取った油の重さと，入れた水の重さは，大気による浮力の影響が変わらないとすると，等しいはずである。したがって A, B での圧力は等しく，管の断面積を$S$とすると，それらの重さが等しいことから$\rho S L_1 = \rho_0 S L_2$　となり，$\rho = \frac{L_2}{L_1}\rho_0$が得られる。

**98** (1) $p_0 + \rho_0 dg$　(2) $\rho_0 Sdg$　(3) $\frac{\rho_0 d}{h}$

(4) $\rho_0 S(h-d)$

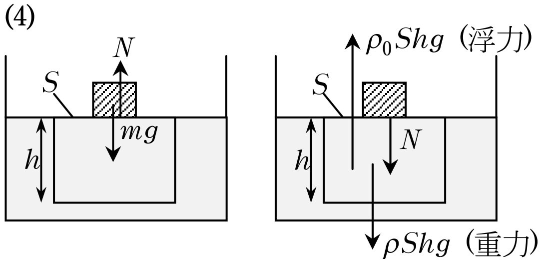
**【解説】**

(1) 大気圧が$p_0$であるとき，密度$\rho$の液体の深さhでの圧力は，どこでも$p_0 + \rho hg$

(2) 水による浮力は，水に浸っている部分にはたらく。円柱の水に浸っている体積は$Sd$であるので，円柱にはたらく浮力は$\rho_0 Sdg$となる。

(3) 円柱の密度を$\rho$とすると，円柱の質量は$\rho Sh$であるので，円柱にはたらく重力は$\rho Shg$となる。円柱には上向きに浮力，下向きに重力がはたらいてつり合っているので，力のつりあいにより，$\rho_0 Sdg - \rho Shg = 0$　これを$\rho$について解くと，$\rho = \frac{\rho_0 d}{h}$

(4)




求めるおもりの質量を$m$，おもりが円柱から受ける垂直抗力を$N$とする。上面が水面に一致しているときに，円柱にはたらく浮力は$\rho_0 Shg$，円柱にはたらく重力は$\rho Shg$（$\rho$は円柱の密度）であるので，おもりと円柱のそれぞれの力のつり合いにより，

おもり:$N - mg = 0$　…①

円柱:$\rho_0 Shg - N - \rho Shg = 0$　…②

①＋②より，$\rho_0 Shg - mg - \rho Shg = 0$

これを$m$について解くと，

$m = \rho_0 Sh - \rho Sh$

(2)の$\rho = \frac{\rho_0 d}{h}$を代入すると，

$m = \rho_0 Sh - \frac{\rho_0 d}{h} \cdot Sh = \rho_0 Sh - \rho_0 dS$

$= \rho_0 S(h-d)$

**99**

| $\theta$ | 0° | 30° | 45° | 60° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|
| $\cos\theta$ | 1 | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |
| $\sin\theta$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1 |

| $\theta$ | 120° | 135° | 150° | 180° |
|---|---|---|---|---|
| $\cos\theta$ | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1 |
| $\sin\theta$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |

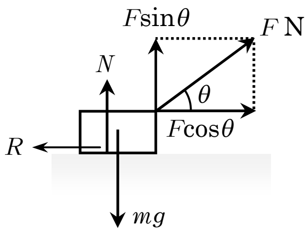
**100** (1) $N$:$mg - F\sin\theta$

$R$: $\mu(mg - F\sin\theta)$

(2) $W_1$:$Fx\cos\theta$ J　$W_2$:0 J　$W_3$:0 J

$W_4$:$-\mu(mg - F\sin\theta)x$ J

**【解説】**




(1) 鉛直方向のつり合いの式は，

$N + F\sin\theta - mg = 0$　よって，

$N = mg - F\sin\theta$

また，$R = \mu N = \mu(mg - F\sin\theta)$

(2) $W_1 = Fs\cos\theta = Fx\cos\theta$

$W_2 = mgx\cos 90° = 0$

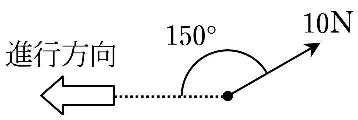
$W_3 = Nx\cos 90° = 0$

$W_4 = Rx\cos 180° = -\mu(mg - F\sin\theta)\,x$

**101** $-50\sqrt{3}$ N·m

**【解説】**

仕事の定義式:$W = Fs\cos\theta$に表れる$\theta$は力の向きと進行方向との成す角であることに注意する。




図のように，人が加える力と犬の進行方向との成す角は150°であるので，

$W = Fs\cos\theta = 10 \times 10 \times \cos 150°$

$= 100 \times \cos(180° - 30°)$
$= 100 \times (-\cos 30°)$
$= 100 \times \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -50\sqrt{3}$

**102** (1) $-Mgh$　(2) $\frac{1}{3}Mg$, $\frac{Mgh}{\Delta t}$
(3) 仕事の原理

**【解説】**

(1) 小物体には常に重力が鉛直下向きにはたらき，小物体は重力に逆らって引き上げられるので，重力がする仕事は負である。公式通りに計算をすれば，
$W=Mgh\cos 180° = -Mgh$となる。

(2) 小物体には$Mg$ Nの重力が下向きにはたらくため，引き上げられるためには小物体はてこから最低でも$Mg$ Nの力を上向きに受ける必要がある。その力の大きさが$Mg$ Nを超えると，小物体は加速して上昇することになるが，問題文には「ゆっくり」とあるので，加速はほぼないと読み取れる。このことから，てこに力$F$を下向きに加えるとき，小物体はてこから$Mg$ Nの力を上向きに受ける。仕事の原理によって，$Mg \times h = F \times 3h$ となるので，$F = \frac{1}{3}Mg$ となる。さらに，このときの力$F$の仕事率は，
$P = \frac{\frac{1}{3}Mg \times 3h}{\Delta t} = \frac{Mgh}{\Delta t}$ となる。

(3) 小物体を直接上向きに$h$ m引き上げるには，$Mg$Nの力を加える必要がある。しかし，てこを使えば動かす距離が3倍になるが，加える力は3分の1で済む。このように道具を使って物体に力を及ぼし，同等の効果を得るような場合でも，物理量としての仕事は変わらない。このような原理を仕事の原理という。

**103** (1) J/s　(2) 88N　(3) 71 W
(4) $7.1 \times 10^2$ J

**【解説】**

(1) 仕事率は単位時間当たりの仕事であるので W = J/sとなる。

(2) 物体にはたらく垂直抗力の大きさを$N$とすると，$N = 30 \times 9.8$であるので，動摩擦力の大きさは，
$R = \mu N = 0.30 \times 30 \times 9.8 = 88.2 \fallingdotseq 88$ N

(3) 物体は等速直線運動をしているので，物体の加速度は0である。よって，物体の質量を$m$とすると，水平方向の運動方程式は，$m \cdot 0 = F - R$　となり，$F = R = 88.2$Nとなる。よって，物体の速さを$v$とすると，力$F$の仕事率は，
$P = Fv = 88.2\text{N} \times 0.8\text{m/s} = 70.56$
$\fallingdotseq 71$ W

(4) 仕事率の定義式 $P = \frac{W}{t}$より，
$W = Pt = 70.56\text{W} \times 10\text{s} = 705.6$
$\fallingdotseq 710\text{ J} = 7.1 \times 10^2$ J

**104** (1) 25 J　(2) 4.0 m/s

**【解説】**

(1) $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2.0 \times (5.0)^2 = 25$J

(2) $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times v^2 = 4.0$
これを$v$について解くと，$v = \pm 4.0$　速さはスカラー量で，必ず正であるので，答えは4.0 m/s

**105** ア. $-R$　イ. $2as$　ウ. $\frac{1}{2}mv_0^2$
エ.運動エネルギー　オ.仕事

**【解説】**

$R$は動摩擦力の「大きさ」であるので，$R > 0$であることに注意すると，動摩擦力は左向きにはたらくため，水平方向の運動方程式は，
$ma = -R$…①
となる。また，等加速度直線運動の公式$v_2^2 - v_1^2 = 2as$により，$0^2 - v_0^2 = 2as$…②
①を$a$について解くと，$a = -\frac{R}{m}$ となり，これを②に代入すると，$-v_0^2 = 2\left(-\frac{R}{m}\right)s$
この両辺に$-\frac{1}{2}m$をかけると，$\frac{1}{2}mv_0^2 = Rs$
よって，$\frac{1}{2}mv_0^2 - Rs = 0$
この式の左辺の$\frac{1}{2}mv_0^2$は初速を与えた直後の物体の運動エネルギー，$-Rs$は動摩擦力がした仕事，右辺の0は静止した物体の運動エネルギーと見なすことができるので，(初めの運動エネルギー)＋(動摩擦力(外力)がする仕事)＝(後の運動エネルギー)がいえる。

**106** (1) A:$3mgh$　B:$mgh$
成り立つ式:$3mgh = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$
(2) A:0 B:$-2mgh$
成り立つ式:$0 = \frac{1}{2}mv^2 - 2mgh$
(3) (1)の等式:$v = 2\sqrt{gh}$
(2)の等式:$v = 2\sqrt{gh}$

**【解説】**

物体の位置エネルギーは基準よりも低い位置にあるとき,値は負になることに注意する。(3)の結果はどちらも等しいことから,位置エネルギーの基準はどの高さを基準にしてもよいことがわかる。

**107** (1) 6.4 J　(2) 10 cm

**【解説】**

(1) $\frac{1}{2}\times 80\times(-0.4)^2 = 6.4\,\mathrm{J}$

(2) ばねの伸びを$x(x>0)$とすると,
$\frac{1}{2}\times 50\times x^2 = 0.25$　これを$x$について解くと,$x = 0.1\,\mathrm{m} = 10\,\mathrm{cm}$

**108** (1) $\frac{9}{2}ka^2$　(2) $4ka^2$

**【解説】**

(1) 自然長から$a$だけ縮めるときの外力の仕事は$\frac{1}{2}ka^2$で,その状態から自然長に戻すまでにする仕事は,外力の向きと力点の移動する向きが逆なので,$-\frac{1}{2}ka^2$となり,さらにそこから$3a$だけ伸ばすのにする仕事は,$\frac{1}{2}k(3a)^2 = \frac{9}{2}ka^2$である。よって,
$W = \frac{1}{2}ka^2 - \frac{1}{2}ka^2 + \frac{9}{2}ka^2 = \frac{9}{2}ka^2$

**【別解】**

【非保存力がする仕事】
=【後の力学的エネルギー】−【初めの力学的エネルギー】であるので,
$W = \frac{1}{2}k(3a)^2 - \frac{1}{2}k(0)^2 = \frac{9}{2}ka^2$

(2) 自然長の端の位置を原点として,伸びる向きに$x$軸をとると,自然長から$a$, $3a$だけ縮んだときのばねの端の位置は,それぞれ$-a$, $-3a$となる。また,【非保存力がする仕事】=【後の力学的エネルギー】−【初めの力学的エネルギー】であるので,
$W = \frac{1}{2}k(-3a)^2 - \frac{1}{2}k(-a)^2 = 4ka^2$

**109** エ,オ,キ

**【解説】**

保存力は他に,静電気力,磁気力,万有引力などがある。

**110** ア. $h_2 - h_1$　イ. $-mg$　ウ. $mgh_1$
エ. $mgh_2$　オ. 初め　カ.後　キ.保存力

**【解説】**

重力がする仕事＝$-mg(h_2 - h_1) = mgh_1 - mgh_2$　となるので,重力がする仕事は【初めの重力による位置エネルギー】−【後の重力による位置エネルギー】として求められる。このように,力のする仕事が経路によらず,始点と終点だけで決まるとき,その力を保存力という。

**111** (1) $-\frac{1}{2}kd^2$　(2) $\frac{1}{2}kd^2$　(3) $d\sqrt{\frac{k}{m}}$

**【解説】**

(1)【保存力がする仕事】
=【初めの位置エネルギー】−【後の位置エネルギー】であるので,
弾性力がした仕事
$= \frac{1}{2}k\times 0^2 - \frac{1}{2}kd^2 = -\frac{1}{2}kd^2$

(2) (1)と同様に,
弾性力がした仕事
$= \frac{1}{2}kd^2 - \frac{1}{2}k\times 0^2 = \frac{1}{2}kd^2$

(3) 求める速さを$v$とすると,前後で力学的エネルギーが保存されるので,
$\frac{1}{2}m\times 0^2 + \frac{1}{2}kd^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\times 0^2$
これを$v$について解くと,$v = d\sqrt{\frac{k}{m}}$

**【別解】**

求める速さを$v$とすると,(初めの運動エネルギー)＋(外力がする仕事)＝(後の運動エネルギー)であり,外力がする仕事は(2)の解であるので,$0 + \frac{1}{2}kd^2 = \frac{1}{2}mv^2$
これを$v$について解くと,$v = d\sqrt{\frac{k}{m}}$

**112** (1) $x_0 = \frac{mg}{k}$　位置エネルギー:$-\frac{m^2g^2}{k}$
(2) $g\sqrt{\frac{m}{k}}$　(3) $2x_0$

**【解説】**

(1) 物体のつり合いの式は,$mg = kx_0$ となり,これを$x_0$について解くと,$x_0 = \frac{mg}{k}$　また,物体は基準よりも$x_0$だけ低い位置にあるので,重力による位置エネルギーは
$mg(-x_0) = -mgx_0 = -mg\times\frac{mg}{k} = -\frac{m^2g^2}{k}$
となる。

(2) 求める物体の速さを$v$とすると,力学的エネルギーが前後で保存されるので,
$\frac{1}{2}m\cdot 0^2 + \frac{1}{2}k\cdot 0^2 + mg\cdot 0$
$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k{x_0}^2 + mg(-x_0)$
$x_0 = \frac{mg}{k}$を代入すると,
$0 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\left(\frac{mg}{k}\right)^2 + mg\left(-\frac{mg}{k}\right)$

これを$v$について解くと，$v=g\sqrt{\frac{m}{k}}$

(3) 求める位置を$x$とすると，最下点での速さは0であるので，

$\frac{1}{2}m\cdot0^2+\frac{1}{2}k\cdot0^2+mg\cdot0$
$=\frac{1}{2}m\cdot0^2+\frac{1}{2}kx^2+mg(-x)$

両辺を 2 倍して因数分解すると，

$x(kx-2mg)=0$　よって，$x=0,\ \frac{2mg}{k}$

$x=0$では最上点と考えられるので，最下点は$x=\frac{2mg}{k}$ となる。(1)より，$x_0=\frac{mg}{k}$であるので，$x=2x_0$となる。

**113** ア．$2T$　イ．$mgh-Th$

ウ．$Th-\frac{1}{2}Mgh$　エ．$\frac{1}{2}Mgh$

オ．糸の張力　カ．$\frac{1}{2}$　キ．$2\sqrt{\frac{(2m-M)gh}{4m+M}}$

**【解説】**

動滑車は上向きに$2T$の力で引かれるので，$T'=2T$ となる。A が$h$だけ下降するとき，重力は正の仕事，糸 P の張力は負の仕事をするので，イの答えは$mgh-Th$ となる。（力の向きと力点の移動方向が同じなら仕事は正，逆向きなら仕事は負となる）　A が$h$だけ下降すると，B は$\frac{h}{2}$上昇し，糸 Q の張力は$2T$であるので，この間に糸 Q の張力が B にする仕事は$2T\times\frac{h}{2}=Th$ ，重力が B にする仕事は$-Mg\times\frac{h}{2}=-\frac{1}{2}Mgh$ となる。よって，ウの答えは$Th-Mgh$ となる。①，②の辺々を加えると，

$mgh-\frac{1}{2}Mgh=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}Mv_B^2$

であるので，

$mgh=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}Mv_B^2+\frac{1}{2}Mgh\cdots$③が得られる。③の左辺は初めの A と B の力学的エネルギーの合計で，右辺は後の力学的エネルギーの合計であるので，AとBの力学的エネルギーの合計は前後で保存される。ただし，A, B それぞれの物体の力学的エネルギーは非保存力である糸の張力が仕事をするため，保存されない。この装置の性質により，$v_B=\frac{1}{2}v_A$(下の補足を参照) であるので，これを③ に代入して$v_A$について解くと，

$v_A=2\sqrt{\frac{(2m-M)gh}{4m+M}}$ となる。

**【補足】**

A, B の加速度をそれぞれ$a, b$とすると，等加速度直線運動の公式により，A, B が動き出してから$t$秒後のそれぞれの速さは$V_A=at, V_B=bt$，移動距離は$x_A=\frac{1}{2}at^2$，$x_B=\frac{1}{2}bt^2$となる。ここで，$t$の値に関わらず常に$x_A=2x_B$となるので，

$\frac{1}{2}at^2=2\times\frac{1}{2}bt^2$となり，$a=2b$となる。よって，$V_A=2bt$となるので，$V_A=2V_B$がいえる。つまり次のことがいえる。

(A の速さ)＝2×(B の速さ)

(A の加速度の大きさ)＝2×(B の加速度の大きさ)

※微分積分の知識があれば，$x_A=2x_B$の両辺を$t$で微分することで，$\frac{dx_A}{dt}=2\frac{dx_B}{dt}$，$\frac{d^2x_A}{dt^2}=2\frac{d^2x_B}{dt^2}$となるため，上記のことは明らかである。

**114** (1) $-2.9\times10^4$ J　(2) $4.2\times10^2$ W

**【解説】**

(1) 質量$m$の物体の高さが$h$ m上昇したときの重力がする仕事は，物体の経路によらず$-mgh$であるので，求める仕事は，

$-150\times9.8\times20=-29400\fallingdotseq-2.9\times10^4$ J

**【別解 1】**

経路の長さを$x$とすると，$x\sin45^\circ=20$より，

$x=\frac{20}{\sin45^\circ}=20\sqrt{2}$　重力の大きさは，

$F=150\times9.8$

であるので，求める仕事は

$W=Fx\cos135^\circ$
$=150\times9.8\times20\sqrt{2}\times\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$
$\fallingdotseq-2.9\times10^4$ J

**【別解 2】**

重力は保存力であるので，

【保存力がする仕事】
＝【初めの位置エネルギー】－【後の位置エネルギー】
$=0-150\times9.8\times20\fallingdotseq-2.9\times10^4$ J

(2)【非保存力がする仕事】＝【後の力学的エネルギー】―【初めの力学的エネルギー】であるので，物体を持ち上げる力がする仕事は，$150\times9.8\times20-0=29400$ よって，求める仕事率は，

$P=\frac{W}{t}=\frac{29400}{70}=420=4.2\times10^2$ W

**115** (1) 5000 N　(2) 40 kW

【解説】

(1) ボートは一定の速さで走っているので，ボートの加速度は 0 である。よって，ボートが受ける抵抗力と推進力がつり合っており，それぞれの力の大きさは等しい。

(2) 物体に一定の力がはたらき，一定の速さで移動しているとき，
力の仕事率＝（力の大きさ）×（一定の速さ）で求めることができる。よって，求める仕事率は，
$5000\,\mathrm{N} \times 8.0\,\mathrm{m/s} = 40000\,\mathrm{W} = 40\,\mathrm{kW}$

**116** (1) $\sqrt{2gh}$　(2) $\sqrt{2gh + v_0^2}$
(3) $\sqrt{2gh + v_0^2}$

【解説】

(1) 小球が放たれてから地面に到達する直前の間で，小球には非保存力がはたらかない。よって，前後で力学的エネルギーが保存される。地上を重力による位置エネルギーの基準とすると，それぞれ次のように求められる。
$mgh = \frac{1}{2}mv_1^2$　より，$v_1 = \sqrt{2gh}$

【別解】
等加速度直線運動の公式より，
$v_1^2 - 0^2 = 2gh$　よって，$v_1 = \sqrt{2gh}$

(2) $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_2^2$　より，
$v_2 = \sqrt{2gh + v_0^2}$

【別解】
等加速度直線運動の公式より，$v_2^2 - v_0^2 = 2gh$　よって，$v_2 = \sqrt{2gh + v_0^2}$

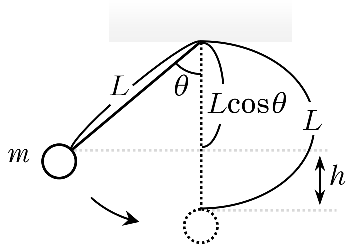
(3) (2)と経路が異なるが，前後の力学的エネルギーは同じなので，(2) の場合と式が同じになる。よって，$v_3 = v_2 = \sqrt{2gh + v_0^2}$

**117** (1) 糸の張力，0J　(2) $L(1 - \cos\theta)$
(3) $\sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$

【解説】

(1) おもりには非保存力である糸の張力がはたらくが，おもりの速度と糸の張力の向きは常に直角であるので，糸の張力がする仕事は0である。

(2)




図より，$h = L - L\cos\theta = L(1 - \cos\theta)$

(3) 非保存力がする仕事は0であるので，おもりの力学的エネルギーは前後で保存される。重力による位置エネルギーの基準をおもりの最下点とし，最下点でのおもりの速さを$v$とすると，
$mgL(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv^2$
これを$v$について解くと，
$v = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$

**118** (1) 0.14 m　(2) 1.4 m/s

【解説】

(1) 物体には非保存力がはたらかないので力学的エネルギーは保存される。ばねが最も縮んだときの自然長からの縮みを$x$とすると，そのときの物体の速さは0であるので，
$\frac{1}{2} \times 0.50 \times (2.0)^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times x^2$
これを解くと，
$x = \sqrt{\frac{1}{50}} = \sqrt{\frac{2}{100}} = \frac{\sqrt{2}}{10} = \frac{1.414}{10} = 0.1414$
$\fallingdotseq 0.14\,\mathrm{m}$

(2) 求める物体の速さを$v$とすると，力学的エネルギー保存則より，
$\frac{1}{2} \times 0.50 \times (2.0)^2$
$= \frac{1}{2} \times 0.50 \times v^2 + \frac{1}{2} \times 100 \times (0.10)^2$
これを解くと，$v = \sqrt{2} = 1.414 \fallingdotseq 1.4\,\mathrm{m/s}$

**119** (1) $4.9 \times 10^2\,\mathrm{N/m}$　(2) 39 J
(3) 0.80 m

【解説】

(1) ばね定数を$k$とすると，力のつり合いにより，$k \times 0.10 = 5.0 \times 9.8$　これを解くと，
$k = 490 = 4.9 \times 10^2\,\mathrm{N/m}$

(2) ばねは自然長から$0.10 + 0.30 = 0.40\,\mathrm{m}$縮んでいるので，求める弾性エネルギーは，$\frac{1}{2} \times 490 \times (0.40)^2 = 39.2 \fallingdotseq 39\,\mathrm{J}$

(3) 皿を放した位置を重力による位置エネルギーの基準とし，その基準から物体の

最高点までの高さを$h$とすると，皿を放してから物体が最高点に達するまでの間に，物体には非保存力がはたらかないので，力学的エネルギーは保存される。よって，
$39.2 = 5.0 \times 9.8 \times h$
これを解くと，$h = 0.80\,\mathrm{m}$

**120** (1) $\sqrt{\frac{2mgh}{M+m}}$　(2) $\sqrt{\frac{2gh(m-\mu M)}{M+m}}$

**【解説】**

(1) 糸は弛まないので，A と B の速さは等しいことに注意する。求めるAの速さを$v$，糸の張力を$T$とすると，
【前の力学的エネルギー】＋【非保存力(糸の張力)がする仕事】＝【後の力学的エネルギー】であるので，重力による位置エネルギーの基準を，A は水平面，B は初めの静止していた位置とすると，
A:$0 + Th = \frac{1}{2}Mv^2 \cdots$①
B:$0 - Th = \frac{1}{2}mv^2 + mg(-h) \cdots$②
①＋②より，
$0 = \frac{1}{2}(M+m)\,v^2 + mg(-h)$
これを$v$について解くと，$v = \sqrt{\frac{2mgh}{M+m}}$

**【別解】**

物体 A，物体 B には非保存力である糸の張力がはたらくので，それぞれの前後での力学的エネルギーは保存されない。しかし，物体Aと糸と物体Bを一つの物体と見なしたとき，この物体には非保存力がはたらかないので，力学的エネルギーは保存される。一体と見なした物体の速さを$v$とし，A の重力による位置エネルギーの基準を水平面，B の重力による位置エネルギーの基準を初めの静止していた位置とすると，力学的エネルギー保存則より，
$0 = \frac{1}{2}(M+m)\,v^2 + mg(-h)$
これを$v$について解くと，$v = \sqrt{\frac{2mgh}{M+m}}$

(2) Aにはたらく垂直抗力は$N = Mg$ であるので，A にはたらく動摩擦力は，$\mu N = \mu Mg$ である。B が$h$だけ落下したとき，動摩擦力は A の移動を妨げる向きにはたらくので，動摩擦力が A にする仕事は $-\mu Mgh$ となる。
糸の張力を$S$，求める A の速さを$V$とすると，【前の力学的エネルギー】＋【非保存力(糸の張力と動摩擦力)がする仕事】＝【後の力学的エネルギー】であるので，重力による位置エネルギーの基準を(1) と同様にとると，
A:$0 + Sh - \mu Mgh = \frac{1}{2}MV^2 \cdots$③
B:$0 - Sh = \frac{1}{2}mV^2 + mg(-h) \cdots$④
③＋④より，
$-\mu Mgh = \frac{1}{2}(M+m)\,V^2 + mg(-h)$
これを$V$について解くと，
$V = \sqrt{\frac{2gh(m-\mu M)}{M+m}}$

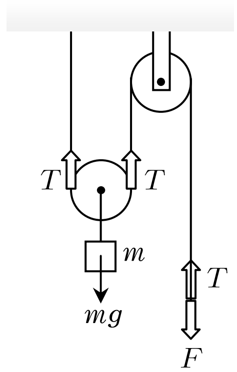
**【別解】**

A と糸と B を一体と見なした物体には，非保存力である動摩擦力がはたらく。【前の力学的エネルギー】＋【非保存力(動摩擦力)がする仕事】＝【後の力学的エネルギー】より，一体と見なした物体の速さを$V$とし，重力による位置エネルギーの基準を(1) と同様にとると，
$0 - \mu Mgh = \frac{1}{2}(M+m)\,V^2 + mg(-h)$
これを$V$について解くと，$V = \sqrt{\frac{2gh(m-\mu M)}{M+m}}$

**121** (1) $\frac{2F}{m} - g$　(2) $\sqrt{\frac{(2F-mg)\,x}{m}}$

**【解説】**

(1)




求める荷物の加速度の大きさを$a$，糸の張力を$T$とすると，作用･反作用の法則により，$F = T$となる。軽い糸で結ばれた荷物と動滑車を一体と見なしたとき，動滑車の質量は無視できることに注意すると，この物体の鉛直方向の運動方程式は，鉛直上向きを正として，
$ma = 2T - mg$ で，$F = T$であるので，
$ma = 2F - mg$ となる。
これを$a$について解くと，$a = \frac{2F}{m} - g$

(2) 糸を$x$だけ引き下ろしたとき，荷物は$\frac{x}{2}$だけ上昇する。初めの荷物の高さを重力に

よる位置エネルギーの基準とすると，(前の力学的エネルギー)＋(非保存力がする仕事)＝(後の力学的エネルギー)であるので，求める速さを$v$とすると，$0+2T\times\frac{x}{2}=\frac{1}{2}mv^2+mg\times\frac{x}{2}$

$F=T$より，$0+2F\times\frac{x}{2}=\frac{1}{2}mv^2+mg\times\frac{x}{2}$

これを$v$について解くと，$v=\sqrt{\frac{(2F-mg)\,x}{m}}$

**【別解】**

$F,m,g$は一定なので，(1)で求めた荷物の加速度の大きさ$a$は一定である。よって，荷物は等加速度直線運動をする。等加速度直線運動の公式より，$v^2-0^2=2a\times\frac{x}{2}$　であるので　$v=\sqrt{ax}$となり，(1)　の解より$a$を消去すると，

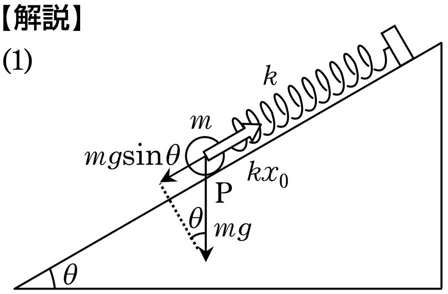
$v=\sqrt{\left(\frac{2F}{m}-g\right)x}=\sqrt{\frac{(2F-mg)\,x}{m}}$

**122** (1) $\frac{mg\sin\theta}{k}$　(2) $-\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{k}$

(3) $\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{2k}$　(4) $g\sin\theta\sqrt{\frac{m}{k}}$

**【解説】**

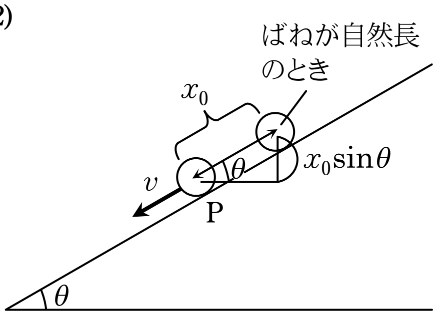
(1)




ばねが自然長より$x_0$だけ伸びているとすると，斜面方向の力のつり合いにより，

$mg\sin\theta=kx_0$　よって，$x_0=\frac{mg\sin\theta}{k}$

(2)




図のように，P にあるときの物体の高さは，基準よりも$x_0\sin\theta$だけ低い。よって，求める位置エネルギーは，

$-mg(x_0\sin\theta)=-mg\times\frac{mg\sin\theta}{k}\times\sin\theta$

$=-\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{k}$

(3)　物体が P にあるとき，ばねは自然長から$x_0$だけ伸びているので，求める弾性エネルギーは，

$\frac{1}{2}kx_0^2=\frac{1}{2}k\times\left(\frac{mg\sin\theta}{k}\right)^2=\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{2k}$

(4)　求める速さを$v$とすると，前後で力学的エネルギーが保存されるので，(2)，(3)の結果を用いると，

$0=\frac{1}{2}mv^2+\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{2k}-\frac{m^2g^2\sin^2\theta}{k}$

これを$v$について解くと，$v=g\sin\theta\sqrt{\frac{m}{k}}$

**123** ①　融解　②　融点　③　蒸発

④　沸点　⑤　凝固　⑥　凝縮(液化)

⑦　昇華　⑧　熱　⑨　絶対　⑩　−273

⑪　273　⑫　300　⑬　膨張

**124** ①　熱平衡　②　熱量　③　吸収

④　放出　⑤　潜熱　⑥　顕熱　⑦　温度変化

⑧　水　⑨　$6.68\times10^4$　⑩　$2.26\times10^3$

**【解説】**

⑨　$334\,\mathrm{J/g}\times200\,\mathrm{g}=6.68\times10^4\,\mathrm{J}$

⑩　$11.3\times10^5\,\mathrm{J}\div500\,\mathrm{g}=2.26\times10^3\,\mathrm{J/g}$

**125** ①　運動エネルギー　②　分子間力

③　高い　④　大きい　⑤　理想気体

⑥　$3.0\times10^3$　⑦　減少　⑧　減少

**【解説】**

⑥　断熱材で覆われているので，容器壁面を伝って逃げる熱は無視できる。
熱力学第一法則により，$Q=\Delta U+W$　であるので，
$\Delta U=W-Q=5.0\times10^3-2.0\times10^3$
$=3.0\times10^3$

⑦〜⑧　熱力学第一法則$Q=\Delta U+W$ において，熱の出入りがないので$Q=0$であり，気体の体積が増加したので$W>0$である。よって，$\Delta U=-W<0$ となり，内部エネルギーは減少し，気体の温度も減少する。

**126** ①　増加，$2.0\times10^2\,\mathrm{J}$

②　増加，$5.0\times10^2\,\mathrm{J}$

③　増加，$1.8\times10^2\,\mathrm{J}$

**【解説】**

熱力学第一法則 $Q=\Delta U+W$ より，
$\Delta U=Q-W$

① $Q=0, W=-2.0\times10^2$ Jより,
$\Delta U=0-(-2.0\times10^2)$
$=2.0\times10^2$ J
② $Q=3.0\times10^2$ J, $W=-2.0\times10^2$ Jより,
$\Delta U=3.0\times10^2-(-2.0\times10^2)$
$=5.0\times10^2$ J
③ $Q=-3.2\times10^2$ J, $W=-5.0\times10^2$ Jより,
$\Delta U=-3.2\times10^2-(-5.0\times10^2)$
$=1.8\times10^2$ J

**127** $2.1\times10^2$ J

【解説】
固体でも熱力学第一法則が成り立つ。
$Q=\Delta U+W$ より,
$\Delta U=Q-W=2.0\times10^2\,\mathrm{J}-(-8.0)\mathrm{J}$
$=208\fallingdotseq2.1\times10^2$ J

**128** (1) 鉄製:675 J/K　銅製:608 J/K
温まりやすい方:銅製　冷めにくい方:鉄製
(2) 380 J　(3) アルミニウム
(4) 熱容量:$9.35\times10^2$ J/K
必要な熱量:$5.61\times10^4$ J

【解説】
(1) 鉄製鍋の熱容量を$C$, 銅製鍋の熱容量を$C'$とすると,
$C=0.45\,\mathrm{J/g\cdot K}\times1500\,\mathrm{g}=675\,\mathrm{J/K}$
$C'=0.38\,\mathrm{J/g\cdot K}\times1600\,\mathrm{g}=608\,\mathrm{J/K}$
一般に熱容量が大きいほど1 K上昇させるための熱量が大きいため, 温まりにくく冷めにくい。
(2) $0.38\,\mathrm{J/g\cdot K}\times20\,\mathrm{g}\times(70-20)\,\mathrm{K}=380\,\mathrm{J}$
(3) ある物質の比熱を$c$とすると,
$c=\frac{270\,\mathrm{J}}{30\,\mathrm{g}\times10\,\mathrm{K}}=0.9\,\mathrm{J/g\cdot K}$
これはアルミニウムの比熱と一致している。
(4) 容器と水それぞれの熱容量の和が全体の熱容量になる。よって, 全体の熱容量は,
$0.38\,\mathrm{J/g\cdot K}\times2.5\times10^2\,\mathrm{g}+4.2\,\mathrm{J/g\cdot K}\times2.0\times10^2\,\mathrm{g}=9.35\times10^2\,\mathrm{J/K}$
また, 熱平衡の状態にあるということは, 初めの容器と水の温度はともに20℃であることを意味する。よって, 全体を80℃にするための必要な熱量は,
$9.35\times10^2\,\mathrm{J/K}\times(80-20)\,\mathrm{K}$
$=5.61\times10^4$ J

※これは熱が外に逃げないと仮定した場合の必要最低限の熱量である。熱が逃げることを想定すると, これ以上の熱が必要になる。

**129** (1) 58℃　(2) $6.3\times10^3$ J

【解説】
(1) 求める温度を$t$℃($10<t<70$) とすると, 10℃の水温は$(t-10)$℃だけ上昇, 70℃の水温は $(70-t)$℃だけ下降するので,
低温の水が得た熱量
$=4.2\times60\times(t-10)$
高温の水が失った熱量
$=4.2\times240\times(70-t)$
よって, 熱量保存の法則より,
$4.2\times60\times(t-10)=4.2\times240\times(70-t)$
これを$t$について解くと, $t=58$℃
(2) 300 gの水が58℃から53℃になったと考えると, その水が失った熱量は
$4.2\,\mathrm{J/g\cdot K}\times300\,\mathrm{g}\times(58-53)\,\mathrm{K}$
$=6.3\times10^3$ J

**130** 0.88 J/g·K

【解説】
求めるアルミニウムの比熱を$c$ J/g·Kとすると,
容器と撹拌棒が得た熱量
$=0.38\,\mathrm{J/g\cdot K}\times100\,\mathrm{g}\times(23-20)\,\mathrm{K}$
$=114$ J
水が得た熱量
$=4.2\,\mathrm{J/g\cdot K}\times260\,\mathrm{g}\times(23-20)\,\mathrm{K}$
$=3276$ J
アルミニウム球が失った熱量
$=c\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{g}}\cdot\mathrm{K}\times50\,\mathrm{g}\times(100-23)\,\mathrm{K}$
$=3850c$ J
熱量保存の法則より, $3850c=114+3276$
これを解くと, $c\fallingdotseq0.88$ J/g·K

**131** (1) $2.0\times10^5$ J　(2) $1.4\times10^5$ J
(3) 30%

【解説】
(1) エンジンは毎秒5.0 gのガソリンを消費して, その1 gあたりに得られるエネルギーは$4.0\times10^4$ Jであるので, $4.0\times10^4\,\mathrm{J}\times5.0=2.0\times10^5\,\mathrm{J}$
(2) 1秒間に消費するエネルギーが$2.0\times10^5$ Jで, そのうち$6.0\times10^4$ Jが仕事

に使われ,残りは捨てられる。よって,1秒で捨てられる熱は $2.0\times10^5\,\mathrm{J}-6.0\times10^4\,\mathrm{J}=1.4\times10^5\,\mathrm{J}$

(3) 1秒間に消費するエネルギーが $2.0\times10^5\,\mathrm{J}$ で,1秒間にする仕事が $6.0\times10^4\,\mathrm{J}$ であるので, $e=\frac{w}{Q_1}=\frac{6.0\times10^4\,\mathrm{J}}{2.0\times10^5\,\mathrm{J}}=0.3=30\%$

**132** (1) $1.0\times10^5\,\mathrm{J}$　(2) $5.0\times10^5\,\mathrm{J}$

(3) $4.0\times10^5\,\mathrm{J}$

【解説】

(1) $1\,\mathrm{W}=1\,\mathrm{J/s}$ であり,仕事率 $1\,\mathrm{W}$ は1秒で $1\,\mathrm{J}$ の仕事をすることを意味する。
$1\,\mathrm{kW}=1000\,\mathrm{W}=1000\,\mathrm{J/s}$ であるので,
$100\,\mathrm{kW}=100\times10^3\,\mathrm{J/s}=1.0\times10^5\,\mathrm{J/s}$
つまり,この熱機関は1秒で $1.0\times10^5\,\mathrm{J}$ の仕事をする。

(2) 1秒で $Q\,\mathrm{J}$ の熱を消費したとすると,その20%が仕事に使われるので,
$Q\times0.2=1.0\times10^5\,\mathrm{J}$
これを解くと, $Q=5.0\times10^5\,\mathrm{J}$

(3) 1秒で $5.0\times10^5\,\mathrm{J}$ の熱を消費し,そのうち $1.0\times10^5\,\mathrm{J}$ が仕事に使われ,残りは捨てられる。よって,熱機関が1秒間に捨てる熱は, $5.0\times10^5\,\mathrm{J}-1.0\times10^5\,\mathrm{J}=4.0\times10^5\,\mathrm{J}$

**133** ① 熱力学第2　② 高温　③ 低温　④ 不可逆

**134** ① 0℃　② 273 K　③ 100℃　④ 373 K　⑤ −273℃　⑥ 0 K

【解説】

摂氏の単位は℃,絶対温度の単位はK(ケルビン)で,絶対温度は (絶対温度)=(摂氏)+273 となるように定義されている。

**135** (1) ① 融解　② 蒸発　③ 凝固　④ 凝縮　(2) 潜熱

(3) 運動:ブラウン運動
原因:水分子の熱運動　(4) 昇華

**136** (1) 熱容量:2.1 J/K
比熱: $4.2\times10^2\,\mathrm{J/kg\cdot K}$　(2) 65℃

(3) $5.4\times10^3\,\mathrm{J}$

【解説】

(1) $Q=C\Delta T$ より,
$\mathrm{C}=\frac{Q}{\Delta T}=\frac{84\,\mathrm{J}}{40\,\mathrm{K}}=2.1\,\mathrm{J/K}$
$Q=mc\Delta T$ より,
$c=\frac{Q}{m\Delta T}=\frac{84\,\mathrm{J}}{5.0\times10^{-3}\,\mathrm{kg}\times40\,\mathrm{K}}$
$=4.2\times10^2\,\mathrm{J/kg\cdot K}$

(2) 水の比熱を $c\,\mathrm{J/g\cdot K}$,求める温度を $t$℃とすると,熱量保存の法則より,(低温の水が得た熱量)=(高温の水が失った熱量) であるので,
$c\times100\times(t-50)=c\times300\times(70-t)$
これを解くと, $t=65$℃

(3) 熱力学第1法則 $Q=\Delta U+W$ で, $Q$ は吸収する熱量, $\Delta U$ は内部エネルギーの増加量, $W$ は外にする仕事であるので,
$Q=4.2\times10^3\,\mathrm{J}$, $W=-1.2\times10^3\,\mathrm{J}$ よって,
$\Delta U=Q-W=4.2\times10^3-(-1.2\times10^3)$
$=5.4\times10^3\,\mathrm{J}$
※気体は圧縮されたので,気体が外にする仕事は負となることに注意する。

**137** (1) $2.0\times10^2\,\mathrm{J/g}$　(2) $8.9\times10^4\,\mathrm{J}$

【解説】

(1) 蒸発熱は沸点に達した液体1 gを同じ温度の気体にするのに必要な熱量であるので, $\frac{1.5\times10^5\,\mathrm{J}}{750\,\mathrm{g}}=2.0\times10^2\,\mathrm{J/g}$

(2) −10℃の氷200 gを0℃の氷にするための熱量は,
$2.1\,\mathrm{J/g\cdot K}\times200\,\mathrm{g}\times10\,\mathrm{K}=4200\,\mathrm{J}$
0℃の氷200 gを0℃の水にするための熱量は, $340\,\mathrm{J/g}\times200\,\mathrm{g}=68000\,\mathrm{J}$
0℃の水200 gを20℃の水にするための熱量は, $4.2\,\mathrm{J/g\cdot K}\times200\,\mathrm{g}\times20\,\mathrm{K}=16800\,\mathrm{J}$
よって,求める熱量は,
$4200+68000+16800=8.9\times10^4\,\mathrm{J}$

**138** (1) $2.8\times10^4\,\mathrm{J}$　(2) 30%

【解説】

(1) $\mathrm{W}=\mathrm{J/s}$ であるので,この熱機関は毎秒 $1.2\times10^4\,\mathrm{J}$ の仕事をする。吸収する熱が毎秒 $4.0\times10^4\,\mathrm{J}$ であるので,放出する熱は毎秒 $4.0\times10^4-1.2\times10^4=2.8\times10^4\,\mathrm{J}$

(2) $e=\frac{W}{Q}=\frac{1.2\times10^4\,\mathrm{J}}{4.0\times10^4\,\mathrm{J}}=0.3=30\%$

**139** (1) 1960 J　(2) $4.18\,\mathrm{J/g\cdot K}$

【解説】

(1) 5.0 kgのおもりが2.0 m落下したときの重力がする仕事は, $mgh=5.0\times9.8\times2.0=$

980 J　であり, おもりは2個で, 同じ操作を10回繰り返したので, 重力がした仕事の合計は, $980 \times 2 \times 10 = 1960$ J

(2) 求める水の比熱を$c$ J/g·Kとすると, エネルギー保存の法則により, (熱量計と水が得た熱量)＝(重力がおもりにした仕事)であるので,

$840$ J/K $\times 0.78$ K $+ c$ J/g·K $\times 400$ g $\times 0.78$ K $= 1960$ J　よって, $655.2 + 312c = 1960$

これを解くと, $c = 4.182 \fallingdotseq 4.18$ J/g·K

**140** (1) $4.7 \times 10^3$ J　(2) 11 J/K

(3) 0.38 J/g·K

**【解説】**

(1) $15.6$ J/s $\times 300$ s $= 4680$ J $\fallingdotseq 4.7 \times 10^3$ J

(2) 求める熱容量を$C$ J/Kとおく。水熱量計が得た熱量が4680 Jのときの温度上昇が$25.0 - 19.5 = 5.5$ Kであるので,

$C$ J/K $\times 5.5$ K $+ 4.2$ J/g·K $\times 200$ g $\times 5.5$ K $= 4680$ J

これを解くと, $C \fallingdotseq 10.9 \fallingdotseq 11$ J/K

(3) (水熱量計が得た熱量)＝(金属球が失った熱量) であるので, 求める比熱を$c$ J/g·Kとおくと,

$10.9$ J/K $\times (24.0 - 22.0)$K $+ 4.2$ J/g·K $\times 200$ g $\times (24.0 - 22.0)$ K $= c$ J/g·K $\times 62.5 \times (95.0 - 24)$ K

これを解くと, $c \fallingdotseq 0.38$ J/g·K

**141** (1) $1.1 \times 10^4$ J　(2) $1.1 \times 10^3$ W

(3) $3.3 \times 10^2$ J/g　(4) 4.2 J/g·K

(5) 20℃

**【解説】**

容器内はグラフより, 0 s～10 sは氷のみ存在し, 10 s後に氷が溶け始め, 10 s～97 sは氷と水の混合, 97 s以降はすべて水であることがかわる。また, 断熱容器を用いているので, 氷や水と容器との間の熱の出入りは小さく無視できることに注意する。

(1) $Q = mc\Delta T = 300$ g $\times 1.9$ J/g·K $\times 20$ K $= 11400 \fallingdotseq 1.1 \times 10^4$ J

(2) 消費電力はヒーターの仕事率を表し, 仕事率は1s当たりにする仕事を表す。つまり, 1 W = 1 J/sである。(1)より, ヒーターは初めの10秒間で11400 Jの仕事をしたので, ヒーターの仕事率は 11400 J ÷ 10 s ≒ $1.14 \times 10^3$ J/s ≒ $1.1 \times 10^3$ Wとなる。

(3) 氷の融解熱は0℃, 1 gの氷を0℃, 1 gの水に変えるのに必要な熱量である。グラフより$97 - 10 = 87$秒間に加えた熱によって, 0℃, 300 gの氷は 0℃, 300 gの水に変わったので, 氷の融解熱を$x$ J/gとおくと,

$x$ J/g $\times 300$ g $= 1.14 \times 10^3$ J/s $\times 87$ s

となり, これを解くと, $x \fallingdotseq 3.3 \times 10^2$ J/g

(4) 300 gの水は時刻97秒～119秒の間に20 K上昇したので, 水の比熱は,

$Q = mc\Delta T$より,

$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{1.14\times10^3 \text{J/s}\times(119-97)\text{s}}{300\,\text{g}\times20\,\text{K}}$

$\fallingdotseq 4.18 \fallingdotseq 4.2$ J/g·K

(5) (300 g, 50℃の水が失った熱量)＝(0℃, 90 gの氷が得た熱量) であるので, 求める温度を$t$℃とすると,

$4.2$ J/g·K $\times 300$g $\times (50 - t)$ K $= 3.3 \times 10^2$ J/g $\times 90$g $+ 4.2$ J/g·K $\times 90$g $\times (t - 0)$ K

これを解くと, $t \fallingdotseq 20.32 \fallingdotseq 20$℃

**142** (1) 4.0 m/s　(2) 0.8 m　(3) 0.2 s

(4) 5.0 Hz　(5) 0.3 m　(6) 解説参照

**【解説】**

(1) 速さを$v$とすると,

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1.2}{0.3} = 4.0$ m/s

(2) グラフから読み取る。

(3) (4)この正弦波の波長を$\lambda$, 周期を$T$, 振動数を$f$とすると, 公式$v = f\lambda$より,

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{4.0}{0.8} = 5.0$ Hz　$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5.0} = 0.2$ s

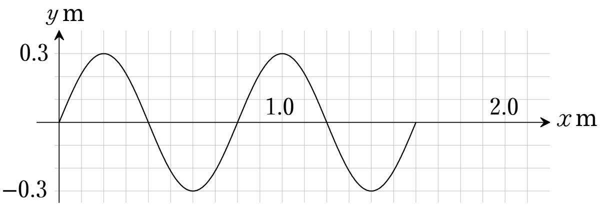
**【別解】**

1周期は1波長の波が平行移動する時間であるので, $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0.8}{4.0} = 0.2$ s

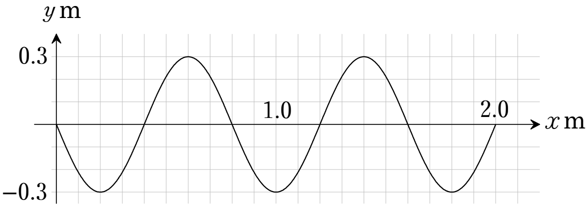
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2} = 5.0$ Hz

(5) グラフから読み取る。

(6) $t = 0.4$ は$t = 0.3$から0.1 s $= \frac{1}{2}T$ s経過しているので, 波は時刻$t = 0.3$から半波長分だけ伝わる。また, 波の先端は $\Delta x = v\Delta t = 4.0 \times 0.1 = 0.4$ m だけ進む。




$t = 0.5$は上記の0.1 s後なので，さらに半波長分伝わる。




**143** (1) 同位相:$P_1$　逆位相:$P_3$

(2) $P_0$, $P_4$

(3) $P_1$:ア　$P_2$:エ　$P_3$:イ　$P_4$:ウ　$P_5$:ア

**【解説】**

変位が常に等しい媒質は互いに同位相であり，変位の絶対値が常に等しく符号が逆の媒質は互いに逆位相である。

**144** (1) 波長:20 m 振幅:0.4 m　周期:0.2 s 速さ:100 m/s　(2) 0, 20

(3) 密:10, 30 疎:0, 20　(4) 解説参照

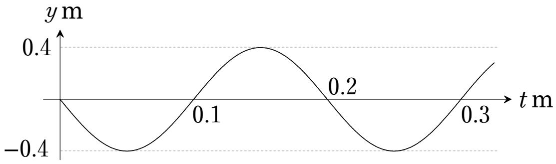
**【解説】**

(1) 図より波長は$\lambda = 20\,\mathrm{m}$，振幅は$A = 0.4\,\mathrm{m}$とわかる。振動数は$f$=5 Hzであるので，周期は，　$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5} = 0.2\,\mathrm{s}$
さらに公式$v = f\lambda$より，速さは，
$v = 5 \times 20 = 100\,\mathrm{m/s}$

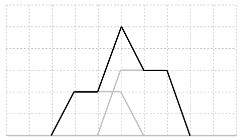
(2) 図は正弦曲線であるので，変位が0となっている媒質が最も速い。さらに波を伝わる向きにわずかだけ平行移動させると，$x = 0$と$x = 20$の媒質は直後には負に変位することがわかるので，この位置の媒質が$x$軸の負の向きに動いている。

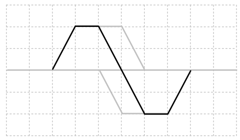
(3) $0 < x < 10$と$20 < x < 30$の媒質はつり合いの位置より右側にずれ，$10 < x < 20$の媒質はつり合いの位置より左側にずれている。このことから最も密な位置は$x = 10, 30$　で，最も疎な位置は$x = 0, 20$である。

(4) (2)より，位置が$x = 20$，変位が$y = 0$の媒質は負の向きに動いており，周期が$T = 0.2\,\mathrm{s}$であることに注意すると，グラフは次のようになる。




**145**

(1)


(2)


**146** (1) 波長:8.0 m 周期:8.0 s

(2) 解説参照

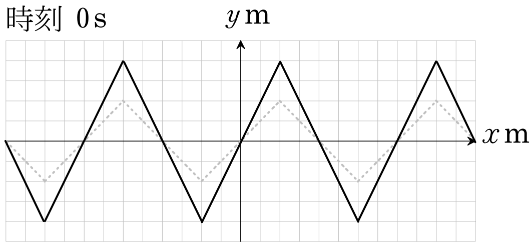
(3) 波長:8.0 m 周期:8.0 s

**【解説】**

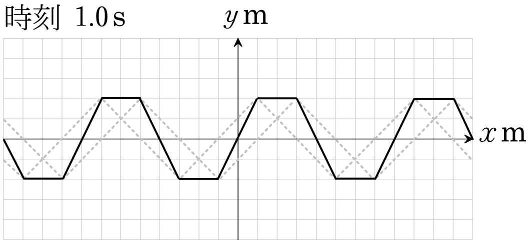
(1) 三角波Aの山と山の間隔8.0 mが波長$\lambda$となる。三角波Aの速さを$v$，周期を$T$，振動数を$f$とすると，公式　$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$ より，
$T = \frac{\lambda}{v} = \frac{8.0}{1.0} = 8.0\,\mathrm{s}$

(2) 各時刻の三角波A, Bの波形を破線で記入し，実線で合成波を描くと次のようになる。

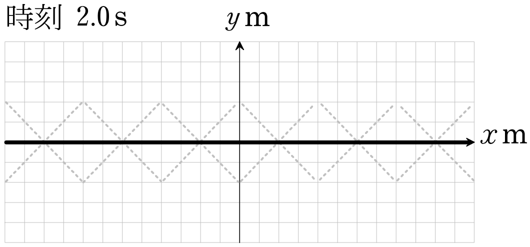
時刻 0 s



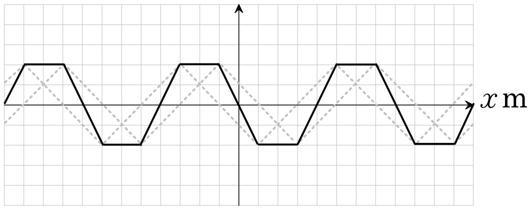

時刻 1.0 s



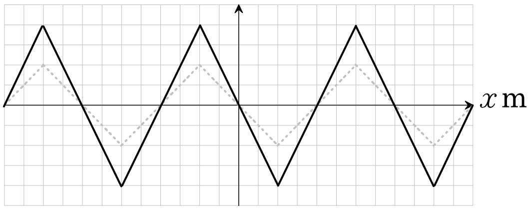

時刻 2.0 s



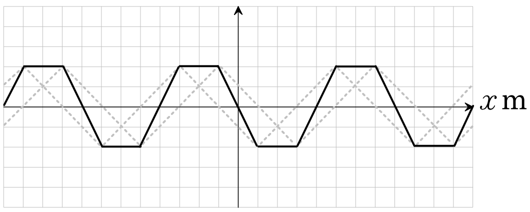
時刻 3.0 s




時刻 4.0 s




時刻 5.0 s



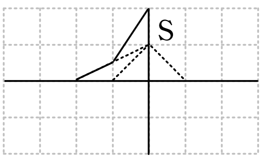

(3) (2)の作図から合成波は定常波で，その波長は最大変位する隣り合う媒質の間隔である。例えば時刻 0 において，$x=2$と$x=10$の媒質の間隔が波長であるので，波長は8.0 mとなる。また，$x=2$の媒質は最も大きく変位する媒質の 1 つであるが，時刻0〜4.0で，この媒質は半周期分だけ振動することがわかるので，この媒質の振動の周期は8.0 sとなる。これらは(1) の結果と同じになり，定常波の波長，周期は，それぞれ合成前の波の波長，周期と一致する。

**147** 解説参照

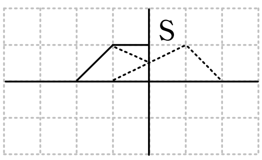
**【解説】**

入射波と反射波を点線で描き，それらを合成すると次のようになる。

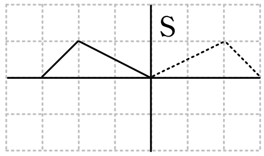
(1) 1秒後



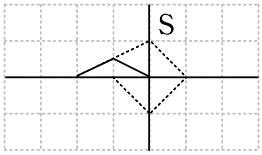

2秒後



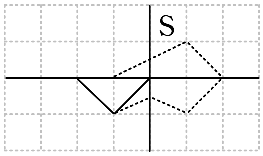

3秒後



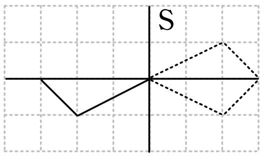

(2) 1秒後




2秒後




3秒後




**148** (1) $\frac{\lambda}{2}$　(2) a, e, i, m, q　(3) c, g, k, o

**【解説】**

(1) 定常波の節と節，腹と腹の間隔は入射波の波長の半分であることを暗記しておくこと。

(2) 定常波の節と節の間隔は，入射波や反射波の半波長分である。入射波の波長が 8 マスであるので，節と節の間隔は 4 マスとなる。固定端は必ず節になるので，q が節で，ここから 4 マス左に進むごとに節が表れる。

(3) 自由端は必ず腹になるので，q から左に 2 マス(腹と節の間隔)だけ左に進むところに節が表れ，ここから 4 マス左に進むごとに節が表れる。

**149** ① 振幅　② 振動数　③ 音色

**【解説】**

音波の振幅は音の大きさ，振動数は音の高さを表す。音色は波形の形状によって変わる。

**150** (1) $\lambda=\frac{331.5+0.6t}{f}$　※$\lambda=\frac{3315+6t}{10f}$でも可

(2) 14℃　(3) 1700 m

**【解説】**

(1) $V=f\lambda=331.5+0.6t$ より，
$\lambda=\frac{331.5+0.6t}{f}$

(2) $V=340$のとき，$340=331.5+0.6t$ であり，これを解くと，$t \fallingdotseq 14.1 \fallingdotseq 14$℃

(3) 公式:距離＝速さ×時間より,音波の先端が観測地点まで到達するまでの距離は音速×到達時間で求められる。よって,
$340\ \mathrm{m/s} \times 5\ \mathrm{s} = 1700\ \mathrm{m}$

**151** 442 Hz

**【解説】**

一般に$|x| = a$ならば,$x = \pm a$となることに注意する。求める弦の音の振動数を$f$とおくと,
$|f - 440| = 2$ …①, $|f - 445| = 3$ …②
①より,$f - 440 = \pm 2$ となり,これを解くと,
$f = 438, 442$
②より,$f - 445 = \pm 3$ となり,これを解くと,
$f = 442, 448$　よって,①,②を同時に満たす$f$の値は442 Hzとなる。

**152** (1) 波長:0.80 m　横波の速さ:160 m/s
(2) 振動数:800 Hz　横波の速さ:160 m/s

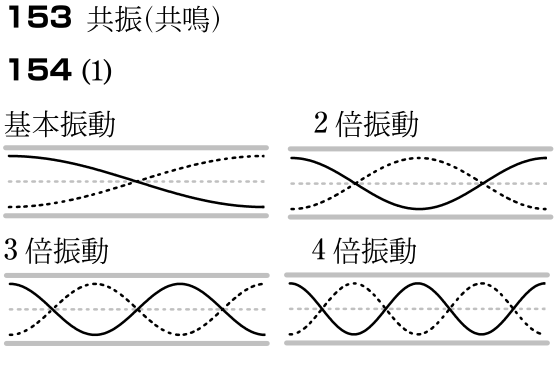
**【解説】**

(1) 求める波長を$\lambda$,弦を伝わる横波の速さを$v$とすると,節と節の間隔は半波長分であるので,$\frac{\lambda}{2} = 0.40$ となる。よって,
$\lambda = 0.80$　さらに公式$v = f\lambda$より,
$v = 200 \times 0.80 = 160\ \mathrm{m/s}$

(2) 同じ弦を用いているので,弦を伝わる横波の速さは一定で,(1)より,160 m/s である。4つの腹ができたときの定常波の波長を$\lambda'$,発する音の振動数を$f'$とすると,
$\frac{\lambda'}{2} \times 4 = 0.40$　より,$\lambda' = 0.20\ \mathrm{m}$
また,$v = f'\lambda'$より,$160 = f' \times 0.20$ よって,
$f' = 800\ \mathrm{Hz}$

**153** 共振(共鳴)

**154** (1)




(2) 波長:$\frac{L}{5}$　振動数:$\frac{5V}{L}$

**【解説】**

(1) 開管の$m$倍振動では,両端が必ず腹で,$m$個の節ができることに注意する。

(2) 求める波長を$\lambda$とする。腹と腹の間隔が半波長分で,それが 10 個存在するので,
$\frac{\lambda}{2} \times 10 = L$ より,$\lambda = \frac{L}{5}$　また,$V = f\lambda$より,
$f = \frac{V}{\lambda} = V \times \frac{5}{L} = \frac{5V}{L}$

**155** (1) 136 cm (2) 750 Hz

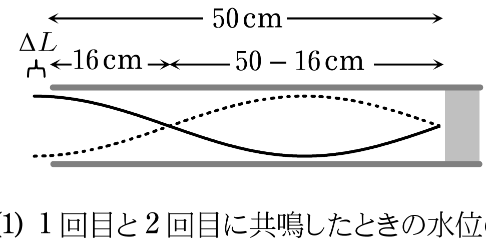
**【解説】**

(1) 公式$v = f\lambda$より,音速$v$が一定なら,発信音の波長$\lambda$と振動数$f$は反比例する。したがって,気柱が固有振動(共振) するための最も小さい発信音の振動数は,定常波の波長が最も長い基本振動のときである。
開管がつくる気柱の基本振動は中央に 1 個だけ節ができ,両端は腹になる。求める波長を$\lambda_1$とすると,腹と腹の間隔が半波長分であるので,$\frac{\lambda_1}{2} = 68.0$　よって,
$\lambda_1 = 136\ \mathrm{cm}$

(2) 開管がつくる気柱が3回目に大きくなったときの固有振動は 3 倍振動である。3倍振動は節が3個でき,気柱の両端は腹になる。このときの音波の波長を$\lambda_3$とすると,腹と腹の間隔が半波長分であるので,
$\frac{\lambda_3}{2} \times 3 = 68.0$　より,$\lambda_3 = \frac{136}{3}\ \mathrm{cm} = \frac{1.36}{3}\ \mathrm{m}$
このときの発信音の音波の振動数を$f_3$とすると,$v = f_3\lambda_3$ なので,
$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{340}{1.36/3} = 750\ \mathrm{Hz}$

**156** (1) 68.0 cm　(2) 500 Hz　(3) 1.0 cm
(4) 16 cm, 50 cm　(5) ウ

**【解説】**




(1) 1 回目と 2 回目に共鳴したときの水位の差が定常波の正確な節と節の間隔である。その間隔が半波長分であるので,求める波長を$\lambda$とすると,$\frac{\lambda}{2} = 50.0 - 16.0 = 34.0$
よって,　$\lambda = 68.0\ \mathrm{cm}$

(2) 音速を$V$,音さの振動数を$f$とすると,
$V = f\lambda$ ,　$\lambda = 68.0\ \mathrm{cm} = 0.68\ \mathrm{m}$ より,
$f = \frac{V}{\lambda} = \frac{340}{0.68} = 500\ \mathrm{Hz}$

(3) 開口端補正を$\Delta L$とすると,図より,

$\Delta L + 16 = \frac{\lambda}{4} = \frac{68.0}{4} = 17$　よって，
$\Delta L = 1.0\,\mathrm{cm}$

(4) 音波は縦波であることに注意する。定常波の節の部分は，媒質がつり合いの位置にないとき，必ず最も密か，最も疎のどちらかの状態になる。よって，節の部分が最も媒質の密度変化が大きい。

(5) 音速は$V = 331.5 + 0.6t$ ($t$は気温) と表せた通り，気温が減少すると音速も減少する。また，気温が変化しても$V = f\lambda$が成り立ち，音さの振動数$f$は一定なので，$V$と$\lambda$は比例する。よって，気温が下がると波長が短くなり，1 回目に共鳴するための管口から水面までの長さは短くなる。

**157** (1) $2m - 1$倍　(2) $m$倍

【解説】
閉管の場合の共振音は基本音の奇数倍になり，開管の場合は基本音の自然数倍になる。

**158** ア，ウ，カ，ク

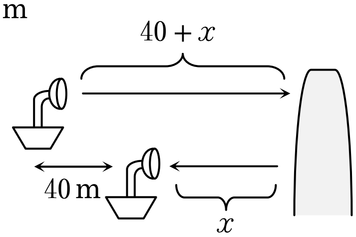
【解説】
ア. 音速は常温の空気中では340～350 m/s程度であり，水中では1500 m/s程度であるので正しい。
イ. 一般に波は媒質の種類や温度などの条件によって決まり，波源の振幅の大きさとは無関係である。したがって誤り。
ウ. 音波は空気の分子の振動方向が波の伝わる向きと平行である縦波であるので正しい。
エ. 弦や他の様々な物体には固有振動数が存在し，特定の振動数でしか振動をしない。この場合，基本振動をさせて波長を一定にさせているので，はじく強さに関わらず一定の高さの音が出る。よって誤り。
オ. 水面波は表面波と呼ばれる波の一種で，媒質が回転しながら波が伝わり，横波でも縦波でもない。したがって誤り。
カ. 外部から物体の固有振動数と等しい波が作用したとき，物体は固有振動をする。この現象を共振または共鳴といい，正しい。
キ. 公式$v = f\lambda$より，$\lambda = \frac{v}{f}$ となり，$f$ (振動数) が一定なら$\lambda$(波長) と$v$(音速) は比例する。また，音速は気温が大きいほど大きくなる。これらのことから，気温が大きくなるほど波長は長くなるので誤り。
ク. 公式$f = \frac{1}{T}$は波の伝わる速さに関係なく成り立つ。$f = 400$のとき，$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{400} = 2.5 \times 10^{-3}$となるので正しい。

**159** 自由端反射:イ　固定端反射:ウ

【解説】
自由端反射の場合，入射波と反射波は反射面を軸として互いに線対称な図形になる。固定端反射の場合，反射波は入射波を180°回転した波形になる。

**160** 660 m

【解説】




求める距離を$x$とする。汽笛を発してから4.0 s秒後に船は$10.0\,\mathrm{m/s} \times 4.0\,\mathrm{s} = 40\,\mathrm{m}$だけ進むので，汽笛の音波が船を出発してから，再び船に到達するまでに，音波の先端が移動する距離は$40 + 2x$となる。よって，
公式:距離＝速さ×時間より，
$40 + 2x = 340 \times 4.0$　これを解くと，
$x = 660\,\mathrm{m}$

**161** 255 Hz

【解説】
音さAの振動数を$f$とおくと，
$|f - 254| = 1 \cdots$①　より，$f - 254 = \pm 1$
よって，$f = 255, 253$
$|f - 258| = 3 \cdots$②　より，$f - 258 = \pm 3$
よって，$f = 255, 261$
①，②を同時に満たす$f$の値は，$f = 255\,\mathrm{Hz}$

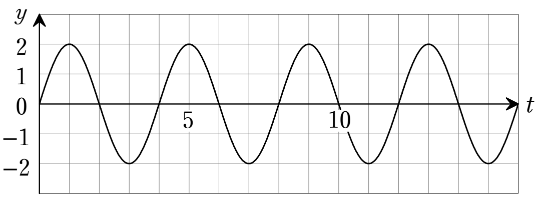
**162** (1) 単振動　(2) c, g, k, o (3) c, g, m, q
(4) 解説参照　(5) b, d, f, h, j, l, n, p

【解説】
(1) 媒質が単振動することで伝わる波が正弦波である。
(2) 互いに逆位相である媒質は，常に変位の絶対値が等しく符号が逆である。各波を進行方向にわずかに平行移動させると，変位が0であるeの位置の媒質は，正に変位する。よって，変位が 0 でわずかな時間

が経過後，負に変位するような位置にある媒質が逆位相の媒質である。

(3) 山になっている部分は媒質はつり合いの位置から右向きに変位しており，谷になっている部分は左向きに変位している。したがって，c, g, m, q が最も疎となる。

(4) 実線の波と点線の波を進行方向に進めると，媒質 i は2つの波の作用によって，どちらも同位相で振動する。したがってそれらを合成すると，i の位置にある媒質は振幅が2マスの単振動をする。実線と点線の波の波長と速さはどちらも，$\lambda = 4$ マス，$v = 1$ マス/s であるので，周期はどちらも $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{4}{1} = 4\,\mathrm{s}$ であり，合成した定常波の周期も一般にこの周期に等しい。このことからグラフの概形は次のようになる。

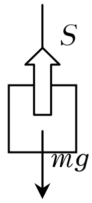



(5) 実線の波と点線の波の振幅は1マスであるので，合成波である定常波の変位の最大は2マスである。(4)により，媒質 i の最大変位が2マスであるので，i は定常波の腹になる。腹と腹，節と節の間隔は各正弦波の半波長(2マス)に相当するので，腹と節の間隔は4分の1波長分(1マス)である。よって i から1マス隣の h と j が節となり，j から右へ2マスずつ，h から左へ2マスずつずれた位置が節となる。

**163** ① 音色　② 三要素　③ 振幅
④ 振動数　⑤ 純音　⑥ 固有振動
⑦ 固有振動数　⑧ 基本振動　⑨ 基本音
⑩ 倍音

**164** (1) 張力:20 N
線密度:$1.6 \times 10^{-4}$ kg/m
速さ:$3.5 \times 10^{2}$ m/s
(2) 波長:5.0 m　振動数:70 Hz
(3) 88 Hz　(4) $3.5 \times 10^{2}$ Hz　(5) $\sqrt{n}$ 倍

**【解説】**




(1) 弦の張力を$S$，おもりの質量を$m$，重力加速度の大きさを$g$とすると，おもりについてのつり合いの式は，
$S - mg = 0$ よって，
$S = mg = 2.0 \times 9.8 = 19.6 ≒ 20\,\mathrm{N}$
線密度$\rho$は1 m当たりの質量であるので，
$\rho = \frac{4.8\times10^{-4}\,\mathrm{kg}}{3.0\,\mathrm{m}} = 1.6 \times 10^{-4}\,\mathrm{kg/m}$
弦を伝わる波の速さは，
$v = \sqrt{\frac{S}{\rho}} = \sqrt{\frac{19.6}{1.6\times10^{-4}}} = \frac{14}{4.0\times10^{-2}}$
$= 3.5 \times 10^{2}\,\mathrm{m/s}$

(2) 弦が基本振動をするとき，弦の両端が節で，腹が1つだけの定常波ができる。節と節の間隔は入射波の半波長分であるので，求める波長を$\lambda$，振動数を$f$とすると，
$\frac{\lambda}{2} = 2.5$ よって，$\lambda = 5.0\,\mathrm{m}$　$v = f\lambda$ より，
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3.5\times10^{2}}{5.0} = 70\,\mathrm{Hz}$

(3) 求める波長を$\lambda'$，振動数を$f'$とすると，
$\frac{\lambda'}{2} = 2.0$　よって，$\lambda' = 4.0\,\mathrm{m}$　$v = f'\lambda'$ より，$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{3.5\times10^{2}}{4.0} = 87.5 ≒ 88\,\mathrm{Hz}$

(4) 弦の5倍振動であるので，基本振動数の5倍となる。よって，(2)より，
$70 \times 5 = 350\,\mathrm{Hz} = 3.5 \times 10^{2}$

**【別解】**

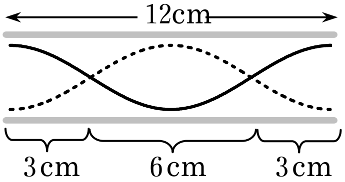
求める波長を$\lambda_5$，振動数を$f_5$とすると，
$\frac{\lambda_5}{2} \times 5 = 2.5$ よって，$\lambda_5 = 1.0\,\mathrm{m}$
$v = f_5\lambda_5$ より，
$f_5 = \frac{v}{\lambda_5} = \frac{3.5\times10^{2}}{1.0} = 3.5 \times 10^{2}\,\mathrm{Hz}$

(5) おもりを$n$個吊るしたときの弦の張力を$S'$とすると，$n$個のおもりについてのつり合いの式は，　$S' - n \times mg = 0$　よって，
$S' = nmg = nS$
つまり弦の張力は初めの$n$倍になる。ここで，$v = f\lambda = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$ より，$f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{S}{\rho}}$であり，おもりを$n$個吊るしたときの振動数を$f_n$とすると，$f_n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{nS}{\rho}}$ となるので，
$f_n = \sqrt{n}f$となる。

**165** (1) 3 cm, 9 cm
(2) 波長:$1.2 \times 10^{-1}$ m　振動数:$2.8 \times 10^{3}$ Hz

**【解説】**

(1)




2回目に音が大きくなるとき,図のように節が2つできるような定常波ができる。よって,左から3cm と9cmのところに節(媒質の変位が常に0となる位置)ができる。

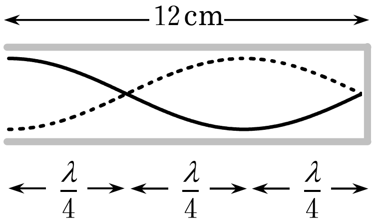
(2) 求める波長を$\lambda$,振動数を$f$とすると,節と節の間隔が半波長分であるので,節と腹の間隔が4分の1波長分である。よって,
$\frac{\lambda}{4}\times 4 = 12\,\mathrm{cm} = 0.12\,\mathrm{m}$
これを解くと,$\lambda = 1.2\times 10^{-1}\,\mathrm{m}$
また,公式$v = f\lambda$より,
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.12} = 2833.33\cdots \fallingdotseq 2.8\times 10^{3}\,\mathrm{Hz}$

**166** (1) 3倍
(2) 波長:$0.16\,\mathrm{m}$ 振動数:$2.1\times 10^{3}\,\mathrm{Hz}$

**【解説】**

(1) 閉管の場合,節が$m$個の定常波ができるときを$2m-1$倍振動という。1回目に音が大きくなったときは$m=1$であり,このときは特に基本振動と呼ぶ。2回目に音が大きくなったときは$m=2$であり,3倍振動になる。これは基本振動の3倍の振動数で気柱が固有振動をすることを意味する。

(2)




求める波長を$\lambda$,振動数を$f$とすると,節と腹の間隔が 4 分の 1 波長分になるので,図より,
$\frac{\lambda}{4}\times 3 = 12\,\mathrm{cm} = 0.12\,\mathrm{m}$ よって,
$\lambda = 0.16\,\mathrm{m}$　公式$v = f\lambda$より,
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.16} = 2125 \fallingdotseq 2.1\times 10^{3}\,\mathrm{Hz}$

**167** ① 陽子　② 電子　③ 電子
④ 引力　⑤ 導体
⑥ 絶縁体(不導体,誘電体)　⑦ 半導体

**168** (1) C/s　(2) 電子　(3) 20 C
(4) $1.25\times 10^{20}$個

**【解説】**

(1) 電流〔A〕は 1 秒あたりに導線断面を通過する電気量と定義されている。
(2) 電子の流れを電流という。
(3) 4.0Aの電流では1秒間に4.0Cの正電荷が導線断面を通過する。よって5秒間では$4.0\times 5 = 20\,\mathrm{C}$の電荷が通過する。

**【別解】**

公式$I = \frac{Q}{t}$より,$Q = It = 4.0\times 5 = 20\,\mathrm{C}$

(4) (3)より,$-20\,\mathrm{C}$に相当する電子の総数を求めればよい。求める数を$N$とすると,
1 個: $-1.6\times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ = $N$個: $-20\,\mathrm{C}$
よって,
$$N = \frac{20}{1.6\times 10^{-19}} = 12.5\times 10^{19}$$
$= 1.25\times 10^{20}$個

**【別解】**

公式$I = \frac{eN}{t}$より,
$N = \frac{It}{e} = \frac{20}{1.6\times 10^{-19}} = 1.25\times 10^{20}$

**169** (1) 電力　(2) $VI$〔W〕　(3)〔J/s〕

**【解説】**

電源の仕事率は単位時間に供給する仕事であり,これを電力という。電力は電源を流れる電流と電源の起電力の積で求められ,単位は〔W〕が用いられる。これは単位時間にする仕事を表すので,〔J/s〕と表すことができる。

**170** 消費電力:$\frac{V^2}{R}$ W　ジュール熱:$\frac{V^2}{R}t$ J

**【解説】**

抵抗を流れる電流の強さを$I$とすると,オームの法則 $V = IR$より,$I = \frac{V}{R}$　よって,消費電力は$IV = \frac{V}{R}\times V = \frac{V^2}{R}$ W 抵抗は1秒で$\frac{V^2}{R}$ Jのエネルギーを消費するので,$t$秒で$\frac{V^2}{R}t$ Jのジュール熱が発生する。

**171** 消費電力:$I^2R$ W　電力量:$I^2Rt$ J

**【解説】**

抵抗の両端の電圧を$V$とすると,オームの法則$V = IR$より消費電力は,
$IV = I\times IR = I^2R$ W

電源の両端の電圧も$V$であるので，電源の電力は$IV$ W　つまり 1 秒で$IV$ Jのエネルギーを供給するので，$t$秒で電池が供給する電力量は$IVt = I^2Rt$ J

**172** $0.33\,\Omega$, $1.1\,\mathrm{kWh}$

**【解説】**

$R = \rho\frac{L}{S} = 1.1\times10^{-6}\,\Omega\cdot\mathrm{m}\times\frac{0.60\,\mathrm{m}}{2.0\times10^{-6}\,\mathrm{m}^2}$
$= 0.33\,\Omega$
流れる電流を$I$とすると，オームの法則より，
$110 = I\times0.33$　よって，$I = \frac{110}{0.33} = \frac{100}{3}\,\mathrm{A}$
18 分 $= \frac{18}{60}$時間 $= 0.3$ 時間であるので，求める消費電力量は，
$\left(\frac{100}{3}\times110\right)\mathrm{W}\times0.3\,\mathrm{h} = 1100\,\mathrm{Wh}$
$= 1.1\,\mathrm{kWh}$

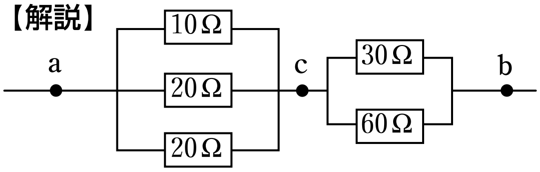
**173** (1) $5.0\,\Omega$　(2) $1.2\,\Omega$　(3) $5.2\,\Omega$

**【解説】**

(1) $2.0 + 3.0 = 5.0\,\Omega$
(2) 合成抵抗を$R$とおくと，$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$
よって，$R = \frac{6}{5} = 1.2\,\Omega$
(3) (2)の結果より，$4+1.2 = 5.2\,\Omega$

**174** 合成抵抗:$25\,\Omega$　電流:$0.40\,\mathrm{A}$

**【解説】**




図のように点 c をとり，ac 間の合成抵抗を$R_{\mathrm{ac}}$，bc 間の合成抵抗を$R_{\mathrm{bc}}$とすると，
$\frac{1}{R_{\mathrm{ac}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{4}{20} = \frac{1}{5}$ よって，
$R_{\mathrm{ac}} = 5\,\Omega$
$\frac{1}{R_{\mathrm{bc}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60} = \frac{3}{60} = \frac{1}{20}$ よって，$R_{\mathrm{bc}} = 20\,\Omega$
ab 間は$R_{\mathrm{ac}}$と$R_{\mathrm{bc}}$が直列に接続されていると見なすことができるので，求める値は，
$5 + 20 = 25\,\Omega$
a に流れる電流を$I$とすると，オームの法則$V = IR$より，$10 = I\times25$　よって，
$I = 0.40\,\mathrm{A}$

**175** (1) $2.0\,\mathrm{A}$　(2) $24\,\mathrm{W}$
(3) $V_{\mathrm{ab}}$:$2.0\,\mathrm{V}$　$V_{\mathrm{bc}}$:$6.0\,\mathrm{V}$　$V_{\mathrm{cd}}$:$4.0\,\mathrm{V}$
(4) $P_1$:$4.0\,\mathrm{W}$　$P_2$:$12\,\mathrm{W}$　$P_3$:$8.0\,\mathrm{W}$
$P_1 + P_2 + P_3$:$24\,\mathrm{W}$

**【解説】**

(1) 導線の枝分かれがないので，電流はどこでも等しい。ad 間の合成抵抗は
$1.0 + 3.0 + 2.0 = 6.0\,\Omega$
c を流れる電流の強さを$I$とすると，ad 間の電圧は$12\,\mathrm{V}$であるので，オームの法則より，
$12 = I\times6.0$ よって，$I = 2.0\,\mathrm{A}$
(2) $2.0\,\mathrm{A}\times12\,\mathrm{V} = 24\,\mathrm{W}$
(3) オームの法則より，
$V_{\mathrm{ab}} = 2.0\times1.0 = 2.0\,\mathrm{V}$
$V_{\mathrm{bc}} = 2.0\times3.0 = 6.0\,\mathrm{V}$
$V_{\mathrm{cd}} = 2.0\times2.0 = 4.0\,\mathrm{V}$
(4) $P_1 = IV_{\mathrm{ab}} = 2.0\times2.0 = 4.0\,\mathrm{W}$
$P_2 = IV_{\mathrm{bc}} = 2.0\times6.0 = 12\,\mathrm{W}$
$P_3 = IV_{\mathrm{cd}} = 2.0\times4.0 = 8.0\,\mathrm{W}$
$P_1 + P_2 + P_3 = 4.0 + 12 + 8.0 = 24\,\mathrm{W}$

**176** (1) $I_1$：$0.60\,\mathrm{A}$　$I_2$：$0.40\,\mathrm{A}$　$I_3$：$0.30\,\mathrm{A}$
(2) $1.3\,\mathrm{A}$　(3) $1.6\,\mathrm{W}$
(4) $P_1$:$0.72\,\mathrm{W}$　$P_2$:$0.48\,\mathrm{W}$
$P_3$:$0.36\,\mathrm{W}$　$P_1 + P_2 + P_3$:$1.6\,\mathrm{W}$

**【解説】**

(1) 各抵抗の両端の電圧はすべて$1.2\,\mathrm{V}$であるので，オームの法則より，
$1.2 = I_1\times2.0$　$1.2 = I_2\times3.0$
$1.2 = I_3\times4.0$　よって，
$I_1 = 0.60\,\mathrm{A}$　$I_2 = 0.40\,\mathrm{A}$　$I_3 = 0.30\,\mathrm{A}$
(2) $I_1 + I_2 + I_3 = 0.60 + 0.40 + 0.30$
$= 1.3\,\mathrm{A}$
(3) $1.3\,\mathrm{A}\times1.2\,\mathrm{V} = 1.56 \fallingdotseq 1.6\,\mathrm{W}$
(4) $P_1 = I_1\times12 = 0.60\times1.2 = 0.72\,\mathrm{W}$
$P_2 = I_2\times12 = 0.40\times1.2 = 0.48\,\mathrm{W}$
$P_3 = I_3\times12 = 0.30\times1.2 = 0.36\,\mathrm{W}$
$P_1 + P_2 + P_3 = 0.72 + 0.48 + 0.36 = 1.56$
$\fallingdotseq 1.6\,\mathrm{W}$

**177** (1) アルミニウム　(2) $8.6\times10^3\,\mathrm{J}$

**【解説】**

(1) 金属線の抵抗を$R$，抵抗率を$\rho$とすると，オームの法則より$12 = 0.20R$ よって，
$R = 60\,\Omega$
$1\,\mathrm{m}^2 = 1\,\mathrm{m}\times1\,\mathrm{m} = 10^3\,\mathrm{mm}\times10^3\,\mathrm{mm} = 10^6\,\mathrm{mm}^2$ より，$1\,\mathrm{mm}^2 = 10^{-6}\,\mathrm{m}^2$ であることに注意すると，$R = \rho\frac{L}{S}$ より，
$\rho = \frac{RS}{L} = \frac{60\,\Omega\times0.3\times10^{-6}\,\mathrm{m}^2}{720\,\mathrm{m}}$
$= 2.5\times10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$
よって，抵抗率はアルミニウムと一致する。
(2) 金属線の消費電力は$12\,\mathrm{V}\times0.20\,\mathrm{A} =$

2.4 Wであり, 1秒で 2.4 J消費する。
1 時間 = 60 × 60 sであるので, 1 時間で発生するジュール熱は,
$2.4\,\mathrm{W} \times 60 \times 60\,\mathrm{s} = 8640 \fallingdotseq 8.6 \times 10^3\,\mathrm{J}$

**178** (1) ア (2) A:エ B:ウ

**179** 南極

【解説】
方位磁針のN極は常に北極を指すことから, 磁力線は南極から出て, 北極に向かう。磁力線が出る側がN極であるので, 南極が地球のN極となる。また, 方位磁針のS極は地球のN極と引き合うため, 南極がN極でなければならない。北はNorth, 南は South であるので, N極は北極であると勘違いしないようにしよう。

**180** ① 電磁力 ② 逆向き
③ 電磁誘導 ④ 誘導起電力
⑤ 誘導電流

**181** ウ

【解説】
ダイオードがなければアのような変化になるが, ダイオードは整流作用があり, 1つの向きにしか電流を流さないため, ウのような変化になる。

**182** 0.07 A

【解説】
電気製品を交流電源に接続するとき, 消費電力も時間的に変化するが, 一般に電気製品に表示されている消費電力は平均消費電力を表している。消費電力＝電流×電圧であるので, 7 W = 電流 × 100 V よって, 流れる電流の実効値は0.07 A

**183** 25 V, 50 Hz

【解説】
求める電圧を$V$とすると, $100 : V = 400 : 100$
よって, $V = 25\,\mathrm{V}$ なお, 変圧器によって周波数は変化しない。

**184** 3.0 m

【解説】
公式$c = f\lambda$より, $3.0 \times 10^8 = 100 \times 10^6 \times \lambda$
よって, $\lambda = 3.0\,\mathrm{m}$

**185** (1) 0.20 A (2) 1.4 A

【解説】
(1) $I = \frac{Q}{t} = \frac{4.0}{20} = 0.20\,\mathrm{A}$
(2) $I = \frac{eN}{t} = \frac{1.6\times10^{-19}\times9.0\times10^{18}}{1} = 1.44$
$\fallingdotseq 1.4\,\mathrm{A}$

**186** (1) 4倍 (2) 9 : 2

【解説】
(1) 流れる電流を$I$, 抵抗の両端の電圧を$V$とすると, オームの法則より, $V = IR_\mathrm{A}$ $V = IR_\mathrm{B}$が成り立つ。$R_\mathrm{A}$, $R_\mathrm{B}$をグラフの傾きと見なすと, グラフより,
$R_\mathrm{A} : R_\mathrm{B} = 1 : 2 \cdots$① となる。$R_\mathrm{A}$, $R_\mathrm{B}$の断面積をそれぞれ$S_\mathrm{A}$, $S_\mathrm{B}$, 長さをそれぞれ$2L$, $L$, 抵抗率を$\rho$とすると,
$R_\mathrm{A} = \rho\frac{2L}{S_\mathrm{A}}$, $R_\mathrm{B} = \rho\frac{L}{S_\mathrm{B}}$ これをそれぞれ ① に代入すると,
$\rho\frac{2L}{S_\mathrm{A}} : \rho\frac{L}{S_\mathrm{B}} = 2 : 1$ つまり, $\frac{2}{S_\mathrm{A}} : \frac{1}{S_\mathrm{B}} = 1 : 2$ 外項と内項の積は等しいので, $\frac{4}{S_\mathrm{A}} = \frac{1}{S_\mathrm{B}}$ よって, $S_\mathrm{A} = 4S_\mathrm{B}$
(2) ①より, $R_\mathrm{B} = 2R_\mathrm{A}$ よって,
$R_1 = R_\mathrm{A} + R_\mathrm{B} = R_\mathrm{A} + 2R_\mathrm{A} = 3R_\mathrm{A} \cdots$②
$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_\mathrm{A}} + \frac{1}{R_\mathrm{B}} = \frac{1}{R_\mathrm{A}} + \frac{1}{2R_\mathrm{A}} = \frac{3}{2R_\mathrm{A}}$
よって, $R_2 = \frac{2}{3}R_\mathrm{A} \cdots$③
②, ③より, $R_1 : R_2 = 3R_\mathrm{A} : \frac{2}{3}R_\mathrm{A} = 9 : 2$

**187** (1) $I_1$:1.5 A $I_2$:1.0 A $I_3$:0.50 A
$V_\mathrm{ab} = 15\,\mathrm{V}$ $V_\mathrm{bc} = 15\,\mathrm{V}$
(2) $P_1$:22.5 W $P_2$:15 W $P_3$:7.5 W
(3) 電力:45 W 電力量:2700 J (4) 0 A
(5) 2.16 kWh

【解説】
(1) ab 間の合成抵抗値を$R_\mathrm{ab}$とすると,
$\frac{1}{R_\mathrm{ab}} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30} = \frac{1}{10}$ よって, $R_\mathrm{ab} = 10\,\Omega$
ac 間の合成抵抗値を$R$とすると, $R = 10 + 10 = 20\,\Omega$ 電源を流れる電流を$I$とすると, オームの法則より, $30 = I \times 20$ よって, $I = 1.5\,\mathrm{A}$ 電源を流れる電流と$R_1$を流れる電流の強さは等しいので, $I_1 = 1.5\,\mathrm{A}$
$V_\mathrm{bc} = I_1R_1 = 1.5 \times 10 = 15\,\mathrm{V}$
$V_\mathrm{ab} + V_\mathrm{bc} = 30$ より,
$V_\mathrm{ab} = 30 - V_\mathrm{bc} = 30 - 15 = 15\,\mathrm{V}$

$V_{\mathrm{ab}} = I_2 R_2$ より, $I_2 = \frac{V_{\mathrm{ab}}}{R_2} = \frac{15}{15} = 1.0\,\mathrm{A}$

$V_{\mathrm{ab}} = I_3 R_3$ より, $I_3 = \frac{V_{\mathrm{ab}}}{R_3} = \frac{15}{30} = 0.50\,\mathrm{A}$

(2) $P_1 = I_1 V_{\mathrm{bc}} = 1.5 \times 15 = 22.5\,\mathrm{W}$
$P_2 = I_2 V_{\mathrm{ab}} = 1.0 \times 15 = 15\,\mathrm{W}$
$P_3 = I_3 V_{\mathrm{ab}} = 0.5 \times 15 = 7.5\,\mathrm{W}$

(3) 電力$= I \times 30 = 1.5 \times 30 = 45\,\mathrm{W}$
電力量$= 45\,\mathrm{W} \times 60\,\mathrm{s} = 2700\,\mathrm{J}$

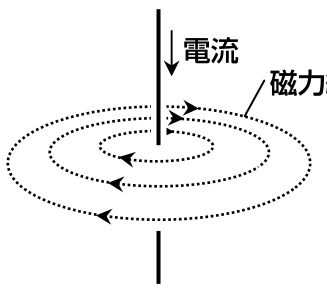
(4) ab間の電圧は0であるので, $R_2$には電流は流れない。

(5) $R_1$を流れる電流を$i$とすると, bc間の電圧は30Vであるので, $30 = iR_1$　よって, $i = \frac{30}{R_1} = \frac{30}{10} = 3.0\,\mathrm{A}$
よって, 電源を流れる電流も3.0Aであるので, 電源の電力は$3.0\,\mathrm{A} \times 30\,\mathrm{V} = 90\,\mathrm{W}$となり, 24時間での電力量は,
$90\,\mathrm{W} \times 24\,\mathrm{h} = 2160\,\mathrm{Wh} = 2.16\,\mathrm{kWh}$

**188** (1) オ　(2) カ　(3) ウ　(4) 電磁力

【解説】

(1) (2)右ネジの法則により, 直線電流の周りにできる磁力線の向きは, 図のようになる。




(3) フレミング左手の法則を用いてもよい。

(4) 電流が磁界から受ける力を電磁力という。

**189** (1) 実効値:75V 周波数:60Hz

(2) 電波, 赤外線, 可視光線, 紫外線, X線, $\gamma$線

(3) 赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫　(4) 300GHz

【解説】

(1) 求める電圧の実効値を$V$とする。この装置は変圧器と見なすことができるので,
$4:3 = 100:V$ より, $V = 75\,\mathrm{V}$
なお, 変圧器によって周波数は変化しない。

(4) 公式 $c = f\lambda$より,
$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0\times10^8}{1.0\times10^{-3}} = 3.0 \times 10^{11}$
$= 3.0 \times 10^2 \times 10^9\,\mathrm{Hz} = 300\,\mathrm{GHz}$

**190** (1) 120W　(2) 1.2A

(3) $I_0$: 1.7A　$T$: $2.0 \times 10^{-2}\,\mathrm{s}$　(4) イ

(5) 電磁誘導

【解説】

(1) 水が7分間で得た熱量は
$4.2\,\mathrm{J/g \cdot K} \times 200\,\mathrm{g} \times 60\,\mathrm{K}$
ヒーターの消費電力を$P$とすると,
$P$ W×(7×60) s$=4.2 \times 200 \times 60$
よって, $P = \frac{4.2\times200\times60}{7\times60} = 120\,\mathrm{W}$

(2) $120\,\mathrm{W} = I\,\mathrm{A} \times 100\,\mathrm{V}$より, $I = 1.2\,\mathrm{A}$

(3) 実効値$\times\sqrt{2}$ =振幅　であるので,
$I_0 = 1.2 \times \sqrt{2} \fallingdotseq 1.2 \times 1.41 = 1.692$
$\fallingdotseq 1.7\,\mathrm{A}$
グラフ中の$T$は交流の周期を表す。交流の周波数は50Hzで, 周期は周波数の逆数であるので,
$T = \frac{1}{50\,\mathrm{Hz}} = 0.020 = 2.0 \times 10^{-2}\,\mathrm{s}$

(4) アはコイルと整流子が接触しており, 整流子の整流作用により直流電流が流れる。

**191** (1) 枯渇性エネルギー

(2) 再生可能エネルギー

(3) 一次エネルギー:原油, 天然ガス, 太陽エネルギー　二次エネルギー:ガソリン, 灯油, 都市ガス, 電気エネルギー

(4) 紫外線

【解説】

(3) 石油とは炭化水素を主成分とする可燃性物質(原油, 天然ガス, アスファルトなど)の総称であるが, 狭義には原油だけをさすことも多い。原油は油田から採取したままの状態で生成されていない石油をいい, 原油を精製するとガソリン, 灯油, 軽油, 重油などの石油製品ができる。

**192** ① 92　② 142　③ 92　④ 143

⑤ 92　⑥ 146

【解説】

元素記号の左下が原子番号＝陽子数, 左上は陽子数＋中性子数＝質量数

**193** (1) 放射性同位体(ラジオアイソトープ)

(2) $\alpha$線:ウ　$\beta$線:イ　$\gamma$線:ア
(3) $\alpha$線, $\beta$線, $\gamma$線
(4) $\gamma$線, $\beta$線, $\alpha$線　(5) 崩壊　(6) 半減期
(7) 等価線量
単位:〔Sv〕　単位の読み方:シーベルト
(8) 原子力エネルギー(核エネルギー)
(9) 核分裂　(10) 核融合　(11) エネルギー源:水素(化学) エネルギーから(電気)エネルギーに変換

**194** (1) 火力発電
(2) 水力発電, 潮汐発電, 揚水(ようすい)発電など
(3) 太陽光発電, 風力発電, 水力発電, 地熱発電, 潮汐発電, 波力発電など
(4) 軽水素:0　重水素:1
(5)〔Bq〕　読み方:ベクレル

**195** ① 中性子　② 連鎖　③ 臨界

**196** ア, エ

【解説】
ア. $\alpha$線はヘリウム原子核の流れ, $\beta$線は電子の流れであり, どちらも電荷を持つ。
エ. $\alpha$線, $\beta$線, $\gamma$線のうち透過作用が最も大きいのは$\gamma$線。

**197** 300年

【解説】
セシウム137の原子核は30年後には$\frac{1}{2}$, 60年後に$\frac{1}{4}$, 90年後に$\frac{1}{8}$…と減少していく。つまり$30n$年後には$\left(\frac{1}{2}\right)^n$になる。$n=10$とすれば$\left(\frac{1}{2}\right)^n=\frac{1}{1024}$になり, $30n=300$となる。

**198** 30 日

【解説】
$50\,\mu\mathrm{Sv} \div 0.07\,\frac{\mu\mathrm{Sv}}{\mathrm{h}} \fallingdotseq 714$ 時間
$= 714 \div 24$ 日
$= 29.75 \fallingdotseq 30$ 日

**199** (1) $1.8\times10^{10}\,\mathrm{J}$, $360\,\mathrm{L}$　(2) $1.2\times10^{4}\,\mathrm{L}$

【解説】
(1) $1\,\mathrm{Wh} = 1\,\mathrm{W}\times1\,\mathrm{h}$ であるので,
$1\,\mathrm{Wh} = 1\,\mathrm{W}\times60^2\,\mathrm{s}$
また, $1\,\mathrm{W}\times1\,\mathrm{s} = 1\,\mathrm{J}$であるので,
$1\,\mathrm{Wh} = 60^2\,\mathrm{J}$となる。よって,
$5000\,\mathrm{kWh} = 5000\times10^3\,\mathrm{Wh} =$
$5000\times10^3\times60^2\,\mathrm{J} = 1.8\times10^{10}\,\mathrm{J}$
この 1 年間で消費した電力量が石油$x$ L分に相当すると仮定すると,
$1\,\mathrm{L}:5.0\times10^7\,\mathrm{J} = x\,\mathrm{L}:1.8\times10^{10}\,\mathrm{J}$
これを解くと, $x=\frac{1.8\times10^{10}}{5.0\times10^7}=360\,\mathrm{L}$

(2) $6.0\times10^{11}\,\mathrm{J}$が石油を$y$ Lのエネルギーに相当すると仮定すると,
$1\,\mathrm{L}:5.0\times10^7\,\mathrm{J} = y\,\mathrm{L}:6.0\times10^{11}\,\mathrm{J}$
これを解くと, $y=\frac{6.0\times10^{11}\,\mathrm{J}}{5.0\times10^7}=1.2\times10^4\,\mathrm{L}$