

14 力がはたらく運動

① 運動の調べ方

- (1) **運動の調べ方** 速さと向きを調べれば、物体の運動のようすの変化がわかる。
- (2) **速さ** 単位時間(1秒間や1時間などの基準とする時間)に物体が移動する距離。

$$\text{速さ [m/s]} = \frac{\text{移動距離 [m]}}{\text{移動するのにかった時間 [s]}}$$

単位 cm/s, km/hなど。★sはsecond, hはhourの略。

- ① **平均の速さ** ある区間を一定の速さで移動したと仮定して、上の公式で求める速さ。
- ② **瞬間の速さ** 平均をとる時間間隔をごく短くして求めた、瞬間ごとに変化する速さ。
- (3) **記録タイマー** 50Hzの地域(東日本)では $\frac{1}{50}$ 秒, 60Hzの地域(西日本)では $\frac{1}{60}$ 秒ごとに、テープに打点する装置。
- (4) **記録テープの調べ方** (50Hzの地域の場合)

- ① **打点と時間** 1打点は $\frac{1}{50}$ 秒の時間を表す。
時間[秒] = $\frac{1}{50}$ [秒] × 打点数 より、5打点は0.1秒。
- ② **打点間隔** $\frac{1}{50}$ 秒ごとの移動距離を表す。間隔が広いほど速さが大きく、狭いほど速さが小さいことを示す。
- ③ **0.1秒ごとの移動距離** 5打点のテープの長さで表され、平均の速さを表す。

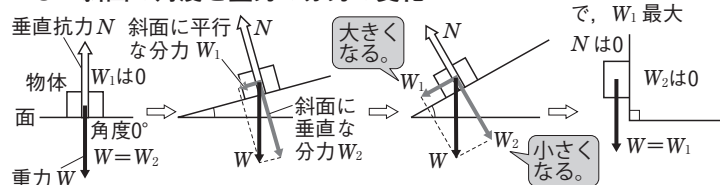
② 速さが大きくなる運動

- (1) **斜面上の物体にはたらく力** 摩擦のない斜面上の物体には、重力と斜面からの垂直抗力がはたらく。

- ① **重力の分力** 斜面上の物体の重力を、斜面に平行な分力と垂直な分力に分解すると、斜面に垂直な分力と垂直抗力がつり合うので、物体の運動に関係する力は、斜面に平行な分力だけである。

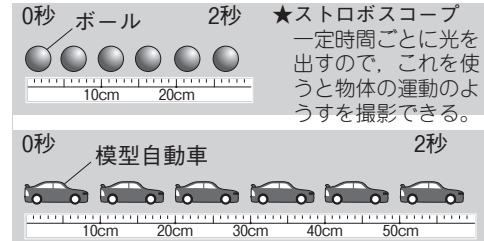
- ② **斜面の角度と重力の分力** 斜面の角度が大きいくほど、重力の斜面に平行な分力は大きくなり、斜面に垂直な分力は小さくなる。

▼5 斜面の角度と重力の分力の変化



▼1 運動のようすと速さ

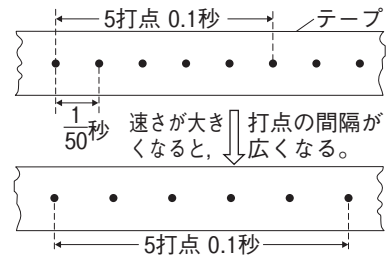
(0.4秒ごとに撮影したストロボ写真)



ボールの速さは、 $\frac{25[\text{cm}]}{2[\text{s}]} = 12.5[\text{cm/s}]$

模型自動車の速さは、 $\frac{50[\text{cm}]}{2[\text{s}]} = 25[\text{cm/s}]$

▼2 速さが一定のときの打点間隔

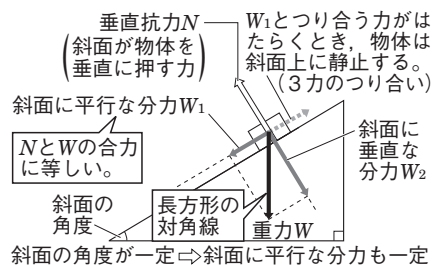


▼3 テープから速さを求める計算

例 0.1秒間の長さが3.0cmのとき

$$\frac{3.0[\text{cm}]}{0.1[\text{s}]} = 30[\text{cm/s}]$$

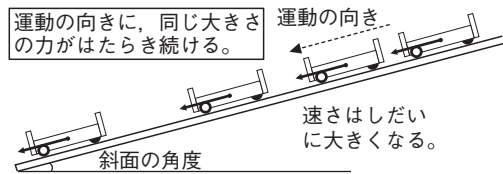
▼4 斜面上の物体にはたらく力



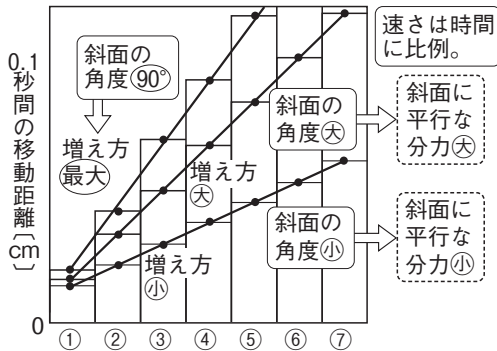
- (2) **速さが大きくなる運動と力** 物体に一定の向きに力がはたらき続けると、物体は力の向きに速さが大きくなる運動を行う。
- (3) **斜面を下る運動** 摩擦などがなければ、物体の速さはしだいに大きくなる。

- ①時間と速さの関係 速さは時間とともに、一定の割合で大きくなる。
- ②斜面の角度と速さの関係 斜面の角度が大きいほど、物体の重力の斜面に平行な分力が大きくなるので、速さの増え方も大きくなる。
- ・自由落下 斜面の角度が90°になって物体が真下に落下する運動。速さの増え方がもっとも大きい。

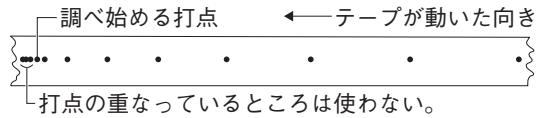
▼7 斜面を下る台車の運動



▼8 斜面の角度と速さの増え方

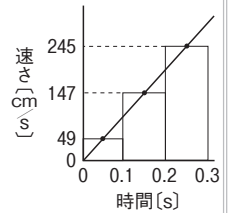


▼6 速さが大きくなる運動での打点間隔

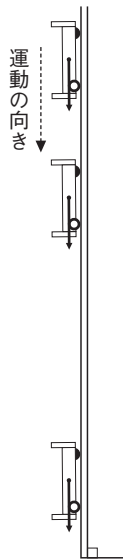


平均の速さと瞬間の速さ

速さが時間に比例するとき、ある区間の平均の速さは、その区間の中間の時点での瞬間の速さに等しい。

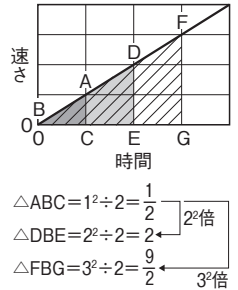


●斜面の角度が90°のとき

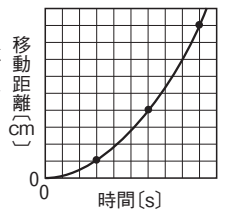


速さが時間に比例する運動での移動距離

移動距離は右図の斜線部分の面積で表され、速さ×時間÷2で求められる。



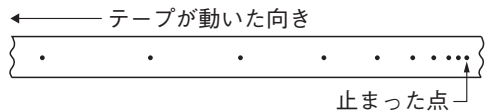
時間が2倍、3倍、...になると、速さは2倍、3倍、...となり、移動距離は4倍、9倍、...と時間の2乗に比例する。



③ 速さが小さくなる運動

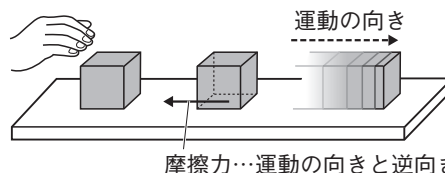
- (1) **速さが小さくなる運動と力** 物体に、運動の向きとは逆向きの力がはたらき続けると、速さがしだいに小さくなり、やがて静止する。
- (2) **摩擦のある水平面上の運動** 物体の速さはしだいに小さくなり、やがて静止する。
- (3) **斜面を上る運動** 物体の速さはしだいに小さくなり、一瞬静止したのち下り始める。

▼9 速さが小さくなる運動での打点間隔

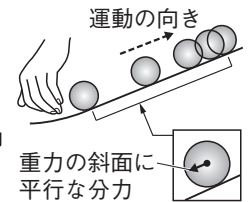


▼10 速さが小さくなる運動と力

●摩擦のある水平面上の運動



●斜面を上る運動




練習問題
基本演習

[運動の調べ方] □(1) 物体の運動のようすの変化は、その運動の何と何を調べればわかるか。

()と()

□(2) 右の式の〔 〕と()にあてはまる 速さ〔 $\frac{\text{移動するのにかかった時間[s]}}{\text{移動するのにかかった時間[s]}}$ 〕[m]
単位とことばは何か。

□(3) 100mを12.5秒で走る陸上選手の平均の速さは、何m/sか。()

□(4) 115kmを2時間30分で走る自動車の平均の速さは、何km/hか。()

□(5) 速さの単位の変換について述べた次の文の()にあてはまる数はいくつか。

速さ150cm/sは、1mが()cmであることから()m/s、1分が()秒、1時間が()分であることと、1kmが()mであることから()km/hである。

(6) 54km/hの速さを、次の単位に変換しなさい。

□① m/s () □② cm/s ()

□(7) 1050kmを1時間10分で飛ぶ飛行機の平均の速さは、何m/sか。()

□(8) ごく短い時間に移動した距離をもとに求めた速さで、自動車のスピードメーターが示すような速さのことを何というか。()

□(9) $\frac{1}{60}$ 秒ごとに打点する記録タイマーでは、6打点するのに何秒かかるか。()

□(10) テープの打点間隔が広がるほど、速さはどうなるか。()

□(11) $\frac{1}{50}$ 秒ごとに打点されたテープで、5打点の区間の長さが4.0cmのとき、その区間の平均の速さは何cm/sか。()

[速さが大きくなる運動] □(12) 速さがしだいに大きくなる運動をしている物体には、物体の運動の向きに対してどのような向きの力がはたらき続けているか。()

□(13) 斜面を下る台車の運動を記録タイマーで記録したテープの打点間隔は、台車が斜面を下るにしたがってどうなっているか。()

□(14) 斜面を下る台車にはたらき、台車を運動させるのは、台車にはたらく重力の、どのような分力か。()

□(15) 斜面の角度が大きいくほど、斜面上の台車にはたらく重力の斜面に平行な分力と、台車の速さの増え方はどうなるか。 重力の斜面に平行な分力()
速さの増え方()

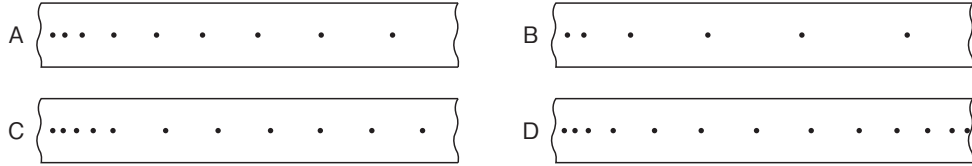
□(16) 斜面を下る台車の速さの増え方がもっとも大きくなるのは、斜面の角度が何度になったときか。()

[速さが小さくなる運動] □(17) 速さがしだいに小さくなる運動をしている物体には、物体の運動の向きに対してどのような向きの力がはたらき続けているか。()

□(18) 水平面上を運動する物体の速さがしだいに小さくなるとき、物体と水平面との間には何という力がはたらいているか。()

1 いろいろな運動とテープのようす 図のA～Dは、物体のいろいろな運動を記録タイマーで記録したテープのようすである。あとの問いに答えなさい。

←テープの動いた向き



- (1) 速さが次のようになる運動を記録したテープはどれか。図のA～Dからそれぞれすべて選び、記号で答えなさい。
- ① 速さがしだいに大きくなる運動。
 - ② 速さがしだいに大きくなり、途中からとちゅう小さくなる運動。
 - ③ 速さがしだいに大きくなり、途中から一定になる運動。
- (2) 物体が次の運動をしたときに記録したテープはどれか。図のA～Dからそれぞれ選び、記号で答えなさい。
- ① ゆるやかな斜面を下る物体の運動。
 - ② 急な斜面を下る物体の運動。
 - ③ 軽く押し出されてゆるやかな斜面を上る物体の運動。

1の答え

- (1) ①

 ②

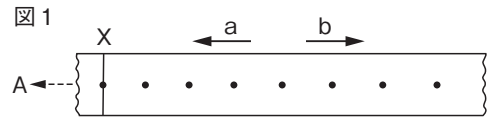
 ③

 (2) ①

 ②

 ③

2 テープの調べ方 図1は、ある物体の運動を1秒間に60回打点する記録タイマーで記録したテープの一部である。次の問いに答えなさい。



- (1) 図1で、テープをとりつけた物体は、Aの方向にある。テープが動いた向きは、a、bのどちらか。記号で答えなさい。
- (2) 1打点は何秒間を表すか。
- (3) このテープを0.1秒間ごとに切るために線を引いていった。Xの次の線Yはどこに引けばよいか。図1に線Yをかき入れなさい。
- (4) (3)のXY間の長さが3.7cmであったとすると、この区間の台車の平均の速さは何cm/sか。

2の答え

- (1)

 (2)

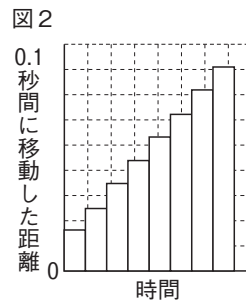
 (3) 図1にかく。.....

 (4)

 (5) ①

 ②

(5) 図2は、この物体の運動を記録したテープを、0.1秒間に移動した距離ごとに切り、方眼紙に左から順にはりつけたものである。ただし、打点は省略してある。



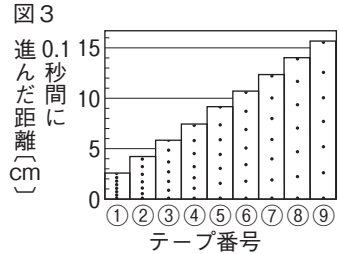
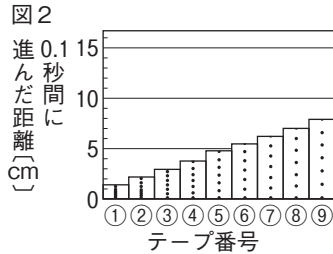
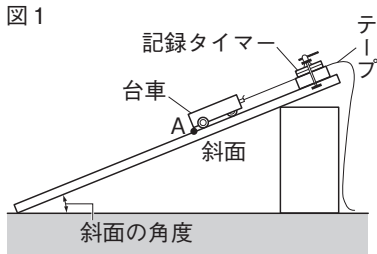
- ① このとき、記録したテープの最初の打点が重なっている部分は使うか、使わないか。
- ② 図2から、この物体の速さはしだいにどうなっていることがわかるか。簡単に答えなさい。

3章 運動とエネルギー

3 斜面上の物体にはたらく力と運動 次のような実験を行った。あとの問いに答えなさい。

〔実験1〕 図1のように、記録テープをつないだ台車を斜面上のA点に置き、静かに手をはなしたときの運動を、1秒間に60回打点する記録タイマーでテープに記録した。図2は、このとき得られたテープを6打点ごとに切りはなし、台紙にはりつけたものである。

〔実験2〕 斜面の角度を大きくして、実験1と同様の実験を行った。図3は、このとき得られたテープを6打点ごとに切りはなし、台紙にはりつけたものである。



- 図3で、⑨の区間での台車の平均の速さは、②の区間での平均の速さのおよそ何倍か。整数で答えなさい。
- 台車が斜面を下る間、台車の重力の斜面に平行な分力の大きさはどうなっているか。また、このときの台車の速さは、時間とともにどのように変化するか。それぞれ簡単に答えなさい。
- 実験2で、A点に置いた台車の重力の斜面に平行な分力の大きさは、実験1のときと比べてどうなるか。簡単に答えなさい。
- 斜面の角度が大きくなると、速さの変わり方はどうなるか。簡単に答えなさい。
- 斜面を下る台車の速さの変わり方がもっとも大きくなるのは、斜面の角度をどのようにしたときか。簡単に答えなさい。

3の答え

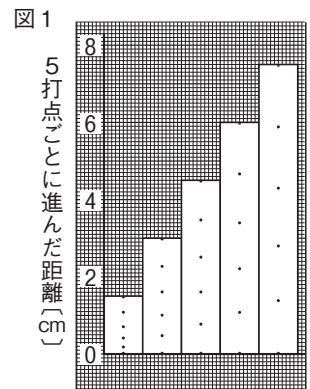
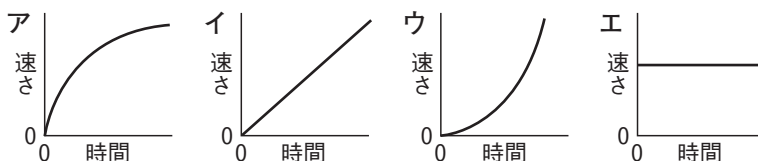
-
- 力
.....
速さ
.....
-
-
-

4 斜面を下る台車の運動 斜面を下る物体の運動について調べるため、次のような実験を行った。あとの問いに答えなさい。

〔実験1〕 台車を斜面上に置いて静かに手をはなし、その運動を1秒間に50回点を打つ記録タイマーでテープに記録した。図1は、得られたテープの一部を5打点ごとに切り、1目盛りが1mmの方眼紙に順にはったものである。

〔実験2〕 斜面の傾きを変え、実験1と同様の実験を行った。

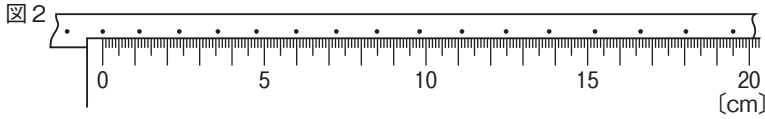
- 台車が斜面を下る間の、時間と台車の速さの関係をグラフに表すとどうなるか。次のア～エから選び、記号で答えなさい。



4の答え

-

(2) 図2は、実験2で得られたテープの一部にものさしをあてたものである。



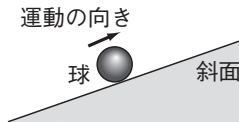
- ① 実験2のときの斜面の傾きの大きさは、実験1と比べてどうであったと考えられるか。簡単に答えなさい。
- ② ①のように考えた理由を、簡単に答えなさい。

(2)①

②

.....

5 斜面を上る球の運動 球を斜面上に置き、斜面の上へ向けて手で押しはなした。図は、手をはなれた球が斜面を上っているときのようすを示したものである。次の問いに答えなさい。



- (1) 球が斜面を上る間、球の速さはどうなるか。簡単に答えなさい。
- (2) 球の速さが(1)のようになるのはなぜか。球にはたらく力の向きに関連づけて、簡単に答えなさい。

5の答え

(1)

(2)

.....

重点演習

6 平均の速さ ~一定時間ごとの移動距離が示されているとき~

問 図1で、A、Bの2区間における平均の速さは何cm/sか。

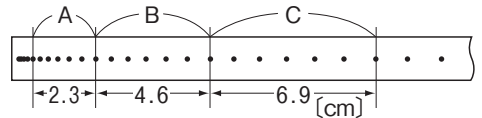
解 A、Bの2区間の距離は(2.3+4.6)cm、時間は(0.1+0.1)sだから、平均の速さは、

$$\frac{(2.3+4.6) \text{ [cm]}}{(0.1+0.1) \text{ [s]}} = 34.5 \text{ [cm/s]}$$

これは、A区間の平均の速さとB区間の平均の速さの平均に等しい。

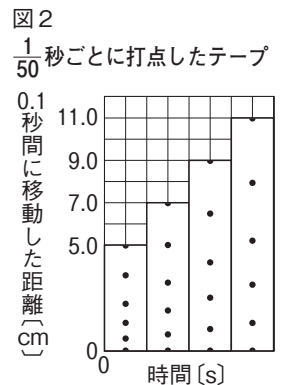
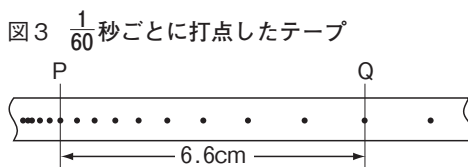
$$\left(\frac{2.3}{0.1} + \frac{4.6}{0.1} \right) \div 2 = 34.5 \text{ [cm/s]}$$

図1 $\frac{1}{60}$ 秒ごとに打点したテープ



- 複数区間の平均の速さは、距離と時間のそれぞれについて、その複数区間の和から求める。
- $\frac{\text{距離の合計}}{\text{時間の合計}}$ で求めた平均の速さは、各区間の平均の速さの平均に等しい。

- (1) 図1で、A~Cの3区間における平均の速さは何cm/sか。
()
- (2) 図2で、最初の打点を記録し始めてから0.3秒間の平均の速さは何cm/sか。
()
- (3) 図3で、打点P Q間における平均の速さは何cm/sか。
()



7 平均の速さ ~ある基準点からの移動距離と時間が示されているとき~

問 表で、物体をはなして0.1秒後から0.3秒後までの平均の速さは何cm/sか。

解 移動距離は(9-1)cm、時間は(0.3-0.1)sだから、
平均の速さは、 $\frac{(9-1)[\text{cm}]}{(0.3-0.1)[\text{s}]} = 40[\text{cm/s}]$

物体を斜面上ではなしたとき

物体をはなしてから の時間[s]	0	0.1	0.2	0.3	0.4
物体の移動距離[cm]	0	1	4	9	16

●距離と時間のそれぞれについて、2点間の差を求める。

(1) 表で、物体をはなしてから0.1秒後から0.4秒後までの平均の速さは何cm/sか。

()

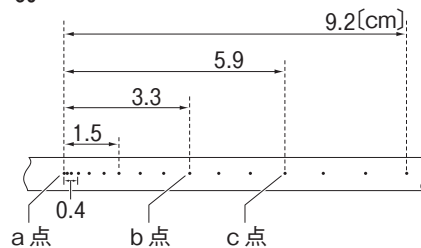
(2) 図で、a点とb点の間の平均の速さは何cm/sか。

()

(3) 図で、b点とc点の間の平均の速さは何cm/sか。

()

1/60秒ごとに打点したテープ



8 速さのふえ方

問 (1) 図1で、区間Dのテープの長さは、区間Cのテープの長さに比べて何cm長くなっているか。

(2) 図1で、区間Dの平均の速さは、区間Cの平均の速さに比べて何cm/s増えているか。

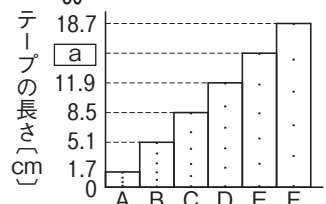
(3) 図1で、aにあてはまる数は何か。

解 (1) $11.9 - 8.5 = 3.4[\text{cm}]$

(2) $\frac{11.9}{0.1} - \frac{8.5}{0.1} = 34[\text{cm/s}]$ この数値は、テープの長さが長くなった(1)の数値の10倍になっている。

(3) $5.1 - 1.7 = 8.5 - 5.1 = 11.9 - 8.5 = 3.4[\text{cm}]$ より、0.1秒ごとのテープの長さは3.4cmずつ長くなっているから、区間Eのテープの長さは、 $11.9 + 3.4 = 15.3[\text{cm}]$ または、 $18.7 - 3.4 = 15.3[\text{cm}]$

図1 1/50秒ごとに打点したテープ



●速さの増え方が一定のとき、0.1秒ごとのテープの長さは、一定の長さずつ長くなる。つまり、0.1秒間の平均の速さは、0.1秒ごとに一定の大きさずつ大きくなる。このとき、0.1秒間に増える速さの数値は、テープの長さが長くなる数値の10倍になっている。

(1) 図2で、テープの長さは6打点ごとに何cmずつ長くなっているか。()

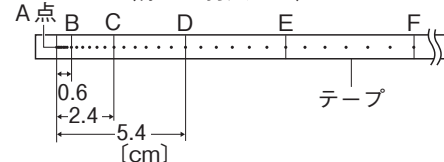
(2) 図2で、CD間の平均の速さは、BC間の平均の速さに比べて何cm/s増えているか。

()

(3) 図2で、A点を打点してから0.4秒間に移動した距離は何cmか。()

(4) 図2で、A点を打点してから0.5秒間に移動した距離は何cmか。()

図2 1/60秒ごとに打点したテープ (線は6打点ごと)



●速さの増え方が一定のとき、
全移動距離 = 直前の区間までの移動距離 + (直前の区間の移動距離 + 単位時間に増える移動距離の大きさ)

探究問題

❶ 図1のように、台車が斜面を下り始めてからスポンジにぶつかるまでの運動を、1秒間に60打点する記録タイマーでテープに記録し、このテープを6打点ごとに切り、番号をつけて各テープの長さをはかった。表は、斜面の角度が 15° のときの結果で、図2は、このときのテープを番号順に並べたものである。

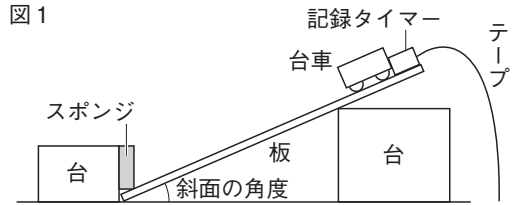
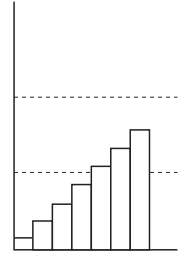
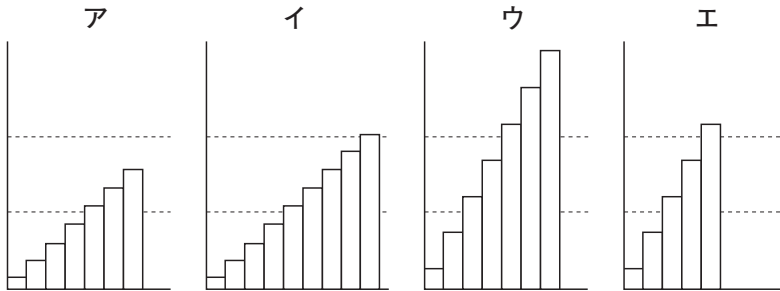


図1 図2

テープの番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
テープの長さ [cm]	1.2	3.6	6.0	8.4	10.8	13.2	15.6



斜面の角度を 30° に変えて同じ実験を行い、テープを番号順に並べるとどうなるか。次のア～エから選び、記号で答えなさい。(富山)

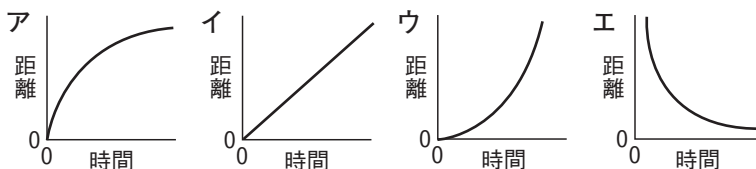
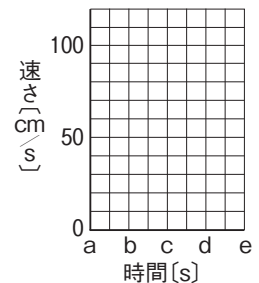


❷の答え

❷ 斜面を下る台車の運動を、1秒間に60回打点する記録タイマーでテープに記録した。得られたテープで、適当な打点Aから6打点ごとにB～Fの記号をつけ、各区間の長さをはかると、表のような結果になった。次の問いに答えなさい。(石川・改)

テープ区間	AB	BC	CD	DE	EF
長さ [cm]	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0

- 斜面を台車が下っていくとき、打点Aを打ってからの時間と台車の速さとの関係を、図にグラフで表しなさい。ただし、グラフの横軸の目盛りa～eは、それぞれ打点A～Eを記録タイマーが打点したときの時間である。
- 台車が動き始めてからの時間と進んだ距離との関係を、グラフで表すとどうなるか。次のア～エから選び、記号で答えなさい。



❸の答え

(1)	図にかく。
(2)	

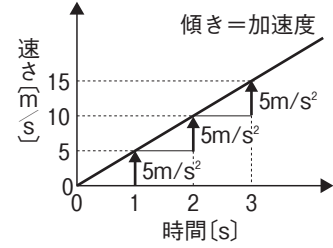
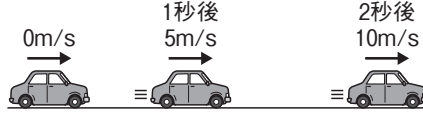
高校へのアクセス⑥

A 加速度と等加速度直線運動

- (1) **加速度** 物体の単位時間あたりの速さの変化を加速度という。単位は m/s^2 (メートル毎秒毎秒)である。物体の加速度 a [m/s^2]は、時刻 t_1 [s]での速さを v_1 [m/s], 時刻 t_2 [s]での速さを v_2 [m/s], とすると、

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

となる。



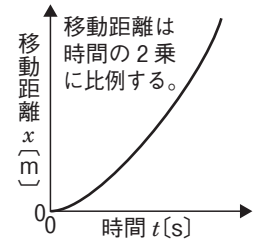
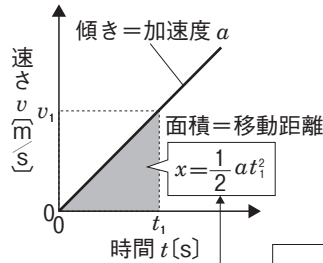
★物体の進行方向の加速度は加速し、進行と逆方向の加速度は減速する。

- (2) **等加速度直線運動** 物体が一直線上を一定の加速度で進む運動を等加速度直線運動という。物体の加速度を a [m/s^2]とすると、 t [s]後の速さ v [m/s]と移動距離 x [m]は、

$$v = at$$

$$x = \frac{1}{2} at^2$$

と表される。



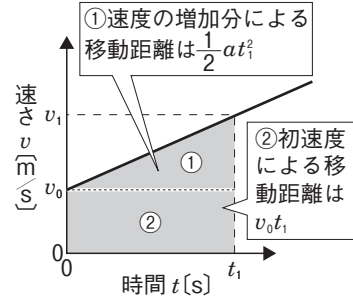
$$x = \frac{1}{2} v_1 t_1 = \frac{1}{2} (at_1) \times t_1 = \frac{1}{2} at_1^2$$

- (3) **初速度** 運動している物体のある時刻に着目したとき、その時刻を $t=0$ として、そのときの物体の速さを初速度という。物体の加速度を a [m/s^2], 初速度を v_0 [m/s]とすると、 t [s]後の速さ v [m/s]と移動距離 x [m]は、

$$v = v_0 + at$$

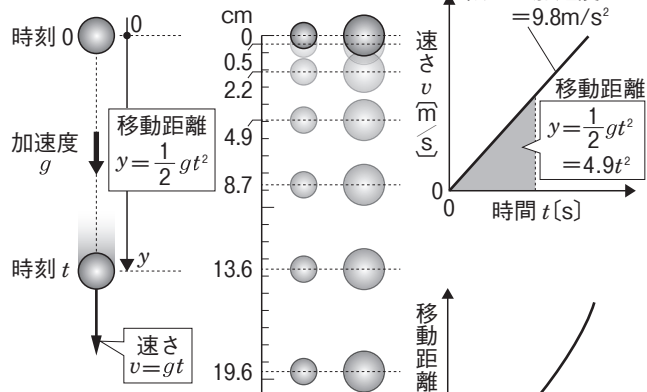
$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

と表される。



B 重力加速度と落下運動

- (1) **重力加速度** 鉛直に落下している物体と空気との抵抗が無視できるとき、物体は重力だけを受けて一定の加速度で自由落下する。この加速度を重力加速度といい、 g [m/s^2] ($=9.8m/s^2$)で表される。



- (2) **自由落下** 自由落下している物体の、落下をはじめてから t [s]後の速さ v [m/s]と移動距離 y [m]は

$$v = gt$$

$$y = \frac{1}{2} gt^2$$

と表される。

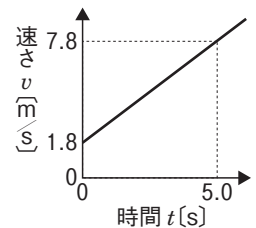
物体に生じる重力加速度の大きさは、物体の質量に関係なく一定。

トレーニング問題

A-1 等加速度直線運動をする物体について、次の問いに答えなさい。

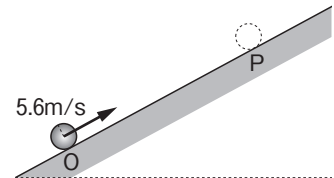
- (1) 動き始めた物体の速さが4.0秒後に10m/sになった。この物体の加速度は何 m/s^2 か。
- (2) 20m/sの速さで進む物体が、5.0秒後に40m/sの速さになった。この物体の加速度は何 m/s^2 か。
- (3) 静止していた物体が $0.70m/s^2$ の加速度で運動すると、8.0秒後の速さは何m/sになるか。
- (4) 静止していた物体が $5.0m/s^2$ の加速度で2.0秒間進んだときの移動距離は何mか。
- (5) 加速度 $2.4m/s^2$ で運動している物体の速さが6.0m/sから12m/sになるのにかかる時間は何秒か。

A-2 一直線上を一定の加速度で運動する物体があり、点Pを通過したときの時刻を0秒とした。図は、その物体の速さ $v[m/s]$ と時間 $t[s]$ の関係を表したグラフである。次の問いに答えなさい。



- (1) 点Pでの物体の初速度は何m/sか。
- (2) 物体の加速度は何 m/s^2 か。
- (3) 点Pを通過してから4.0秒後の物体の速さは何m/sか。
- (4) 点Pを通過してから5.0秒後の物体の移動距離は何mか。

A-3 摩擦のない斜面上の点Oから、初速度 $5.6m/s$ で小球を斜面に沿って上向きに転がした。小球は3.5秒後に斜面上の点Pまで上ったあと、点Pから斜面を下り始めて点Oを通過し、そのまま下降を続けた。次の問いに答えなさい。ただし、小球は等加速度直線運動をしたものとする。



- (1) 小球は、斜面を上っている間、何 m/s^2 で減速しているか。
- (2) O P間の距離は何mか。
- (3) 小球が再び点Oに戻ってくるまでにかかった時間は何秒か。
- (4) 点Oで上向きに転がした小球が、下ってきて $7.2m/s$ の速さで点Qを通過した。
 - ① 点Oから上向きに転がしてから何秒後に点Qを通過するか。
 - ② 点Qは、点Oから何m斜面を下った位置にあるか。

B-1 小球を自由落下させた。次の問いに答えなさい。ただし、空気抵抗は無視することができ、重力加速度の大きさを $9.80m/s^2$ とする。

- (1) ある高さからはなした小球が4.00秒後に地面に到達した。小球が地面に到達する直前の速さは何m/sか。また、小球をはなした高さは地面から何mか。
- (2) ある高さからはなした小球の2.00秒後の速さは何m/sか。また、落下した距離は何mか。
- (3) 44.1mの高さから小球をはなしたとき、地面に着く直前の速さは何m/sか。