

17

涼さんと華さんと翔さんは、文化祭の模擬店で台車を利用することを考え、斜面を下る台車の運動について話し合った。[三人の会話]と[実験Ⅰ]・[実験Ⅱ]を読んで、(1)～(7)に答えなさい。ただし、台車はなめらかに運動し、空気の抵抗や摩擦、記録タイマーのテープの質量は考えないものとする。

[三人の会話]

涼さん：模擬店の商品を台車に乗せて斜面を走らせ、お客さんがいるところまで運ぼうと思うんだけど、どうかな。

華さん：手渡しをするより面白さがあると思う。

翔さん：装置を作る必要があるね。

華さん：商品に乗せた台車は、どのぐらいの速さで斜面を下るのかな。

涼さん：装置を作って、記録タイマーで台車の運動を調べてみよう。

[実験Ⅰ]

- ① 図1のように、1秒間に60打点する記録タイマーを斜面の上部に固定し、記録テープを記録タイマーに通して台車につけ、台車を手で支えて斜面の上部に置いた。
- ② 記録タイマーのスイッチを入れて、台車を支える手を静かに離し、台車を運動させた。
- ③ 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図2はこの結果を示したものである。

図1

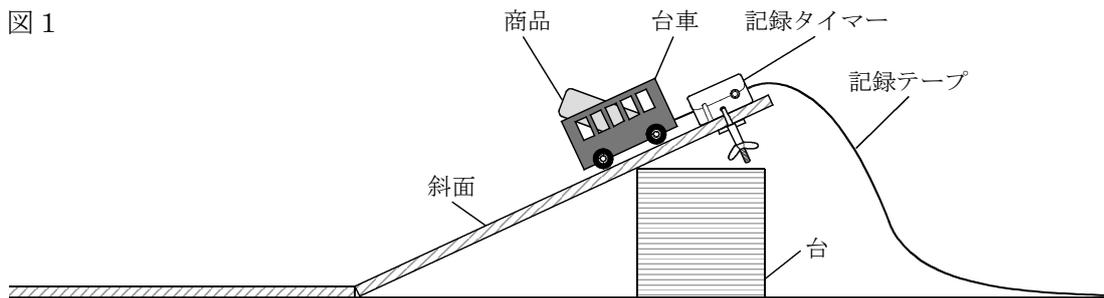
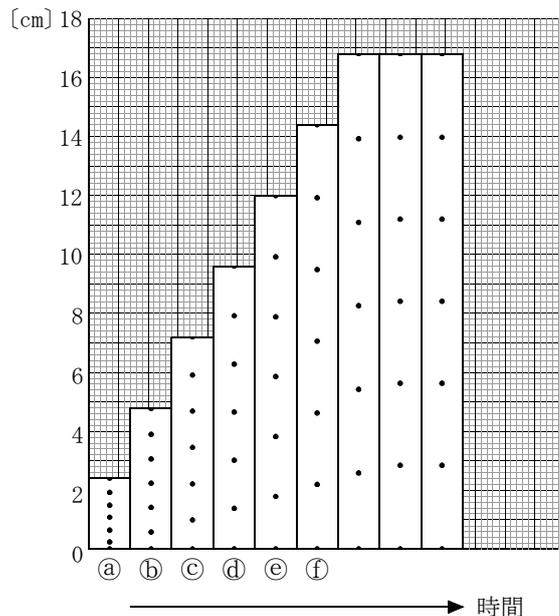


図2



- (1) 図2のグラフ用紙に、6打点ごとの記録テープの長さがわかるように、縦軸に目盛りを書いた。縦軸があらわしているものは何か、縦軸の軸名を書きなさい。

0.1秒間に進んだ距離

【解説】 記録タイマーを使った実験の内容と、グラフのかき方について、基礎的・基本的な知識と理解を問う問題。

実験で使用した記録タイマーは、1秒間に60打点するので、6打点ごとに切った記録テープの長さは、0.1秒間に進んだ距離[m]を表している。

【補足】

記録タイマーは、一定の時間間隔でテープに点を打つため、一定の時間ごとの物体の移動距離を記録することができる。1秒間に打点する回数は、地域の電源の交流周波数や器具によって異なり、時間間隔は、1秒間に東日本では50回、西日本では60回打点するものが多い。

交流で、1秒間にくり返す電流の変化の回数をその交流の周波数といい、単位にはヘルツ(記号Hz)を使う。西日本では60Hz、東日本では50Hzの交流が使われている。これは、明治のはじめに、大阪はアメリカから、東京はドイツからそれぞれの発電機を輸入したために、こうした違いが生じた。現在の境界は糸魚川付近である。

- (2) 図2の記録テープ④について、この区間における台車の平均の速さは何cm/sか、求めなさい。

96.0 cm/s

【解説】 平均の速さについての基礎的・基本的な知識を活用し、グラフの数値を読みとって、答えを求める問題。

運動している物体の速さは、一定時間に移動する距離で表される。物体が、ある時間、同じ速さで動き続けたと考えたときの速さを、平均の速さという。

平均の速さは、次の式で求められる。平均の速さ = $\frac{\text{移動距離}}{\text{移動にかかった時間}}$

記録テープ④の区間で、台車が移動にかかった時間は0.1秒、移動距離は記録テープの長さで9.6cmであるので、

$$\text{平均の速さ [cm/s]} = \frac{9.6 \text{ [cm]}}{0.1 \text{ [s]}} = 96.0 \text{ [cm/s]}$$

- (3) 図2の記録テープ①～⑥の長さがしだいに長くなっていることから、斜面を下る台車の運動についてどのようなことがわかるか、説明しなさい。

斜面を下る台車の速がしだいに大きくなっていること。

【解説】 記録タイマーを使った実験に関する基礎的・基本的な知識・技能を活用して、グラフを分析し、斜面上の物体の運動の規則性を考察する問題。

グラフの縦軸は、台車が0.1秒間に進んだ距離、つまり0.1秒間の平均の速さを表している。記録テープが長いほど、0.1秒間に台車が移動した距離が大きく、平均の速さが大きい。記録テープ①～⑥の長さがしだいに長くなっていることから、斜面を下る台車の速がしだいに大きくなっていることがわかる。

〔三人の会話〕

翔さん：商品を安全に運ぶために、斜面の傾きを小さくした方がいいんじゃないかな。

華さん：そうだね。この装置を **装置 Ver.1** とすると、**装置 Ver.1** より斜面の傾きを小さくした **装置 Ver.2** を作ってみたいらどうかな。

涼さん：**装置 Ver.1** の斜面の角度は 25° だから、**装置 Ver.2** は斜面の角度を 15° にしてみろね。

翔さん：**装置 Ver.1** と同じようにして、**装置 Ver.2** の台車の運動を調べてみよう。

〔実験Ⅱ〕

- ① [実験Ⅰ] で使用した **装置 Ver.1** の商品、台車、台は変えず、図3のように、台を置く位置を変えて斜面の角度が 15° の **装置 Ver.2** を用意し、[実験Ⅰ] と同じようにして台車を運動させた。
- ② 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図4はこの結果を示したものである。

図3

装置 Ver.2

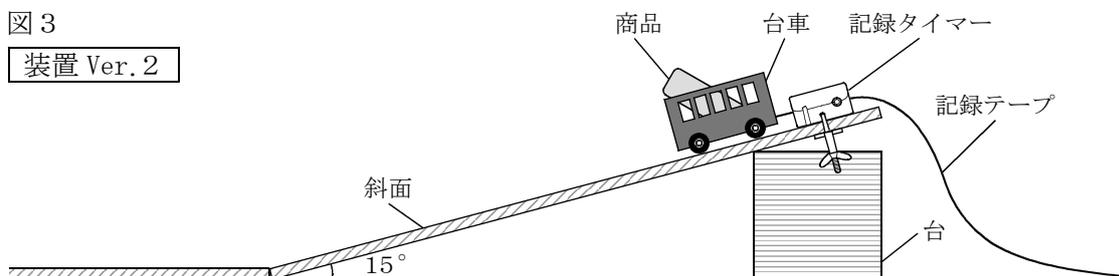
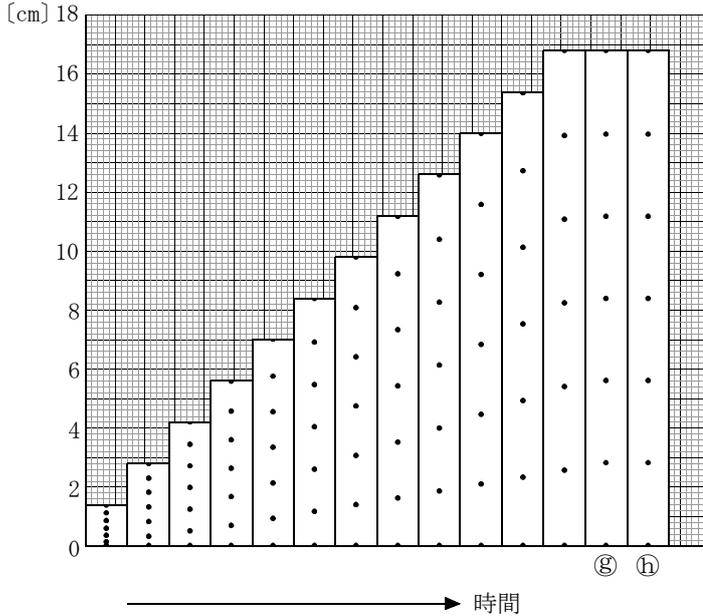


図4



(4) 斜面の傾きが小さいほど、斜面を下る台車の速さのふえ方が小さくなるのはなぜか、台車にはたらく力に着目して、説明しなさい。

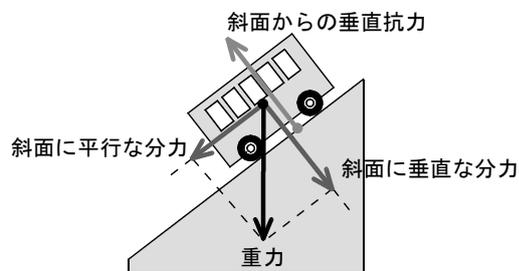
斜面の傾きが小さいほど、台車にはたらく重力の斜面に平行な分力が小さくなるから。

【解説】 斜面上の物体にはたらく力についての基礎的・基本的な知識を活用して、斜面の傾きの大きさと斜面を下る物体の速さの関係を説明する問題。

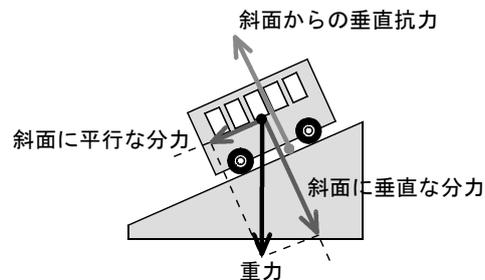
斜面上の物体にはたらく重力を、斜面に垂直な方向と平行な方向に分解して考えると、斜面の傾きが大きいときの分力より、斜面の傾きが小さいときの分力のほうが、斜面に平行な分力が小さくなる。

斜面を下りる台車の速さは、台車の運動の向きと同じ向きにはたらく。斜面に平行な力が小さいほど、速さのふえ方は小さくなる。

(i) 斜面の傾きが大きいとき



(ii) 斜面の傾きが小さいとき



[三人の会話]

涼さん：図4の記録テープのうち、長さが同じものが3本あるね。
華さん：3本の中でも記録テープ㉔と㉕は、打点の間隔も同じだね。
翔さん：記録テープ㉔・㉕と、そのほかの区間では、何が違うのかな。

(5) 図4の記録テープ㉔・㉕について、この区間における台車の運動と同じような運動はどれか、最も適切なものをア～エから選びなさい。

- ア 振り子が1往復するときの運動
- イ 学校の屋上から1階までボールを落下させたときの運動
- ウ 水平な氷の上でカーリングのストーンが進み続けているときの運動
- エ 停車駅が近づき、ブレーキをかけている電車の運動

ウ

【解説】 基礎的・基本的な知識を活用して、グラフを分析して物体の運動のようすを考察し、身近な物理現象と関連付けて答えを導く問題。

物体が一定の速さで一直線上を動く運動を、等速直線運動という。

記録テープの長さや打点の間隔が同じであることから、記録テープ㉔・㉕の区間では、台車が斜面を下ったのではなく、水平な面を等速直線運動したことがわかる。

「ア」の振り子の運動では、物体の高さが低くなると速さが大きくなり、高さが高くなると速さが小さくなる。「イ」のボールの運動は、自由落下であり、斜面上の物体の運動よりも速さのふえ方が大きい。「エ」の電車は、しだいに速さが小さくなり静止する。

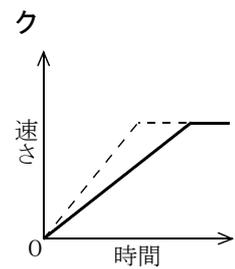
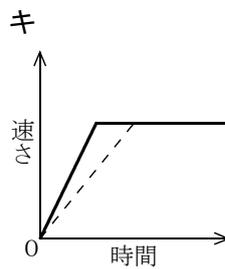
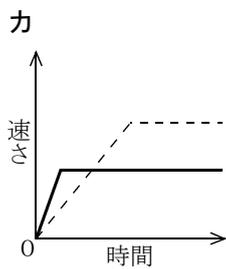
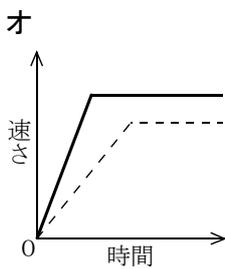
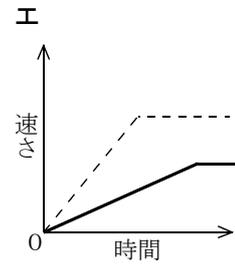
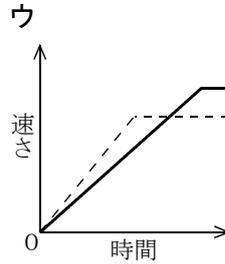
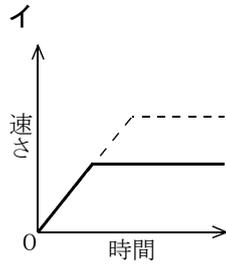
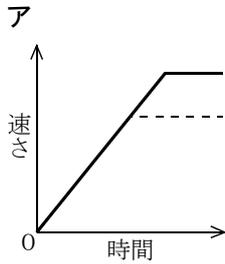
慣性の法則により、物体に力がはたらいっていないときや、力がはたらいながらもそれらがつり合っているときは、動いている物体は等速直線運動を続ける。「ウ」のストーンは、水平で摩擦力の小さい氷の上で運動するため、長い時間ほぼ一定の速さで進み続ける。

[三人の会話]

翔さん：実は、[実験Ⅰ]と[実験Ⅱ]で、斜面上に置く台車の高さを同じにしたんだけど、台車の運動に何か関係していることはあるかな。
華さん：斜面上に置く台車の高さを変えて実験したら、台車の運動の変化についてわかるんじゃないかな。
涼さん：斜面上に置く台車の高さや斜面の傾きをいろいろ変えて、台車の運動を調べてみよう。
翔さん：そうだね。その結果から、模擬店でお客さんのところに運ぶまでの時間や台車の速さについて考えて、最適な装置を作ろう。

(6) 三人は、次の①～③のように、[実験Ⅱ]と条件を変えて装置を作り、台車を走らせた。①～③の条件で、斜面上のある位置で台車から静かに手を離れたとき、台車から手を離れた後の、時間と速さの関係を表すグラフとして最も適切なものはどれか、ア～クからそれぞれ選びなさい。ただし、ア～クのそれぞれのグラフ中の-----は、[実験Ⅱ]の結果を示している。

- ① [実験Ⅱ] より斜面の傾きを大きくし、同じ高さで台車から静かに手を離した。
 ② [実験Ⅱ] より斜面の傾きを小さくし、低い位置で台車から静かに手を離した。
 ③ [実験Ⅱ] と斜面の傾きを変えずに、[実験Ⅱ] より高い位置で台車から静かに手を離した。



①	キ	②	エ	③	ア
---	---	---	---	---	---

【解説】 位置エネルギーと運動エネルギー、斜面上の物体にはたらく力についての基礎的・基本的な知識を活用して、斜面を下る物体の速さの変化を考察し、答えを導く問題。

位置エネルギーの大きさは、基準面からの高さが高いほど大きい。また、運動エネルギーの大きさは、物体の速さが大きいほど大きい。摩擦や空気の抵抗がなければ、位置エネルギーと運動エネルギーの和である力学的エネルギーはいつも一定に保たれている。これを力学的エネルギー保存の法則という。斜面を下る物体は、位置エネルギーが減少するとともに運動エネルギーが増加し、高さが低くなるにつれて速さが大きくなる。

- ① [実験Ⅱ] より斜面の傾きが大きいとき、重力の斜面に平行な分力が大きくなるため、速さのふえ方が大きくなり、水平面に達するまでの時間が短くなる。[実験Ⅱ] と同じ高さで台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときと同じになり、水平面での台車の速さも同じになる。
- ② [実験Ⅱ] より斜面の傾きが小さいとき、重力の斜面に平行な分力が小さくなるため、速さのふえ方が小さくなり、水平面に達するまでの時間が長くなる。[実験Ⅱ] より低い位置で台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときより小さくなり、水平面での台車の速さは小さくなる。
- ③ [実験Ⅱ] と斜面の傾きが同じとき、水平面に達するまでの時間も同じになる。[実験Ⅱ] より高い位置で台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときより大きくなり、水平面での台車の速さは大きくなる。

【補足】

位置エネルギーは、次の式で表される。

位置エネルギー [J] = 物体にはたらく重力 [N] × 基準面からの高さ [m]

重力は物体の質量に比例するため、位置エネルギーの大きさは物体の質量と基準面からの高さ
にそれぞれ比例する。

一方、運動エネルギーは、次の式で表される。

$$\text{運動エネルギー [J]} = \frac{1}{2} \times \text{質量 [kg]} \times \text{速さ [m/s]} \times \text{速さ [m/s]}$$

運動エネルギーの大きさは、物体の質量に比例し、速さの2乗に比例する。

斜面上の台車の質量は同じであるため、位置エネルギーは斜面上に置いた台車の基準面からの
高さに比例し、運動エネルギーは台車の速さの2乗に比例する。

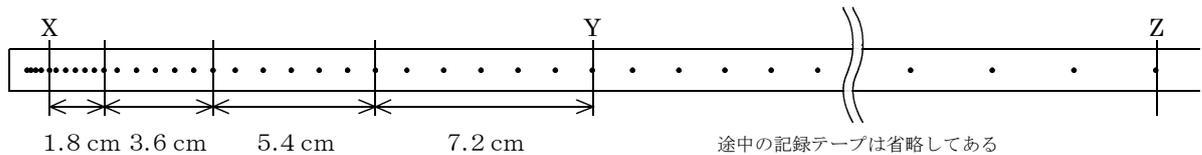
[三人の会話]

涼さん：装置 Ver. 7 まで装置を作って調べた結果、装置 Ver. 5 の斜面の傾きや斜面上に置
く台車の高さが一番いいと思う。

翔さん：そうだね。装置 Ver. 5 を模擬店で使うことにしよう。

華さん：文化祭が楽しみだね。

図 5



- (7) 図 5 は、装置 Ver. 5 で [実験 I]・[実験 II] と同じようにして台車の運動を調べたときの記
録テープで、明確にわかるはじめての打点を X とし、6 打点ごとに線を引いて各区間の長さをはかつ
たものである。打点 Y からさらに 0.5 秒後の打点 Z までの区間、台車が斜面を走り続け、記録テー
プに打点が記録されており、打点の記録から、台車の速さは同じ割合でふえていることがわかった。
打点 Y から打点 Z までの区間の距離は何 cm か、求めなさい。

63.0 cm

【解説】 与えられた数値から分析して斜面を下る物体の運動の規則性を見だし、理科および数学の基礎的・基本的な知識・技能を組み合わせ活用して、答えを導く問題。

記録テープの6打点ごとの長さから、斜面を下る台車の速さが、一定の割合でしだいに大きくなっていることがわかる。

0.1秒ごとの速さのふえ方は等しく、その値は $3.6 - 1.8 = 1.8$ [cm]である。打点Yからさらに0.1秒後の移動距離は、 $7.2 + 1.8 = 9.0$ [cm]、打点Yからさらに0.2秒後の移動距離は、 $9.0 + 1.8 = 10.8$ [cm]、打点Yからさらに0.3秒後の移動距離は $10.8 + 1.8 = 12.6$ [cm]、打点Yからさらに0.4秒後の移動距離は、 $12.6 + 1.8 = 14.4$ [cm]、打点Yからさらに0.5秒後の移動距離は $14.4 + 1.8 = 16.2$ [cm]、である。よって、打点Yからさらに0.5秒後の打点Zまでの区間は、 $9.0 + 10.8 + 12.6 + 14.4 + 16.2 = 63.0$ [cm]である。