

第3節 落体の運動

(配当時間3時間)

◆学習目標

- ① 空気の影響が無視できる場合、落体の運動は物体の質量によらず、加速度が鉛直下向きに大きさ 9.8 m/s^2 の等加速度直線運動であることを知ること。
- ② 落体の運動の加速度は、初速度に関係なく同じであることを理解すること。
- ③ 放物運動の場合、物体の位置や速度を水平方向と鉛直方向に分けて考えればよいことを知ること。

◆指導上の要点・留意点

- ・本書では、落体の運動を、力学としてではなく、等加速度直線運動の実例として扱っている。
- ・放物運動の定量的な扱いは『物理基礎』ではなく『物理』の内容なので、生徒の実情に応じて、扱いの程度を工夫するとよい。

▶ 中学校との関連

中学校理科では、速さの増す運動として斜面上に沿った運動を扱っている。落下運動の実験を行った経験のある生徒がいるかもしれないが、定量的に加速度を求めることはしていない。

落下運動については、「重いものほど早く落ちる」という素朴な自然観を持つ生徒が多数見られるので、空気の影響がなければ、物体の質量(重さ)によらず落下の加速度は同じであることを確実に理解させることが大切である。

A 自由落下

◆導入例

図 20 の実験を行い、空気抵抗の存在を確認する。その上で、空気抵抗のある運動は図 p.67 で学ぶので、まずは空気抵抗のない環境での落下運動を調べてみよう、という流れで、図 21、図 25(あるいは実際に実験を行う)へと展開するとよい。

導入例

単元の冒頭に、授業の導入例を掲載しています。

不要になった印刷物(紙質及び大きさのそろったもの)2枚(または、アルミカップ2つ)

紙1枚を丸めたものと、2枚の紙を重ねて四辺を折って箱のようにしたものを用意し、同時に落下させて運動の様子を比べてみる。質量の大きいものが先に落下するといえるだろうか。

第3節 落体の運動



鉛直方面に落下する物体や、斜め上向きに投げ出された物体など(これらを「落体」という)の運動を記録、分析し、それらの運動を表してみよう。

A 落下運動

図 20 のように、同じ大きさ・厚さの紙を丸めたものと、箱のようにしたものを用意し、同時に落下させると、丸めたものの方が速く落下する。

この結果から、質量が同じでも、形によって落

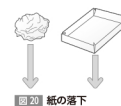


図 20 紙の落下

指導上の要点・留意点

節の冒頭に、その節の特徴や前後の節との関わり、丁寧に指導することが望ましい内容をまとめています。



図 21 真空中での鉄球と羽毛の落下のストロボ写真

つては、真空中と同じように落下すると考えてよい場合も多い。

B 自由落下

重力だけがはたらいて、初速度 0 で落下する運動を「自由落下」という。鉄球のように、重い物体を空气中で落下させる場合、落下する速さが小さい間は空気抵抗の影響は小さく、自由落下とみなしてよい。

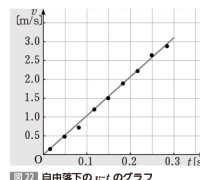


図 22 自由落下の $v-t$ のグラフ

鉛直下向きを正として、自由落下する物体の運動を分析すると、図 22 の

●空気抵抗の力の大きさは物体の速さが速いほど大きいため、落下する速さが速くなると自由落下とみなせなくなる(図 p.82)。以後、特に断らない限り、空気抵抗はないものとする。

38 第1部 物体の運動とエネルギー

2 図 21 真空中での鉄球と羽毛の落下のストロボ写真

この写真から、空気の影響がなければ、質量の異なるものでも同じように落下することが確認できる。



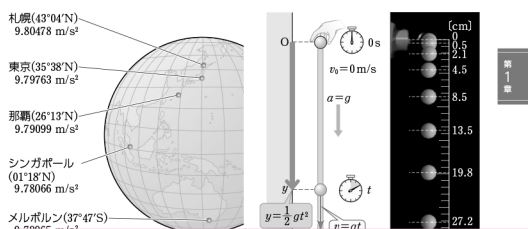
DVD-ROM に授業用スライドや映像教材、ワークシートなどの関連教材がある箇所を示しています。

そのため、地球での重力加速度は小さくなる。

日本国内でも、那覇は札幌よりも重力加速度の大きさが $1.4 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ (約 0.14%) ほど小さい。

標準重力加速度の大きさは、国際度量衡総会で 9.80665 m/s^2 と定められている。これは 1901 年に北緯 45° の平均海面での重力加速度の大きさをもとに定められたものだが、実際にはこの値よりもやや小さいことがわかっている。

また、重力加速度を加速度の単位として用いることがあり、この場合は大文字で G と書き「ジー」と読む。重力加速度と同じ大きさの加速度を $1.0 G$ のように表す。



つまずき対策

生徒が間違えやすい点、誤解する内容などを紹介し、その対策例を取り上げています。

かに異なるが，同じ場所では物体の質量によらず一定であり，地球上では約 9.8 m/s^2 である。

図 4 のように、物体が自由落下を始めた位置を原点 O として、鉛直下向きに y 軸をとる。落下し始めた時刻を 0 s として、時刻 t [s] における物体の速度を v [m/s]、位置を y [m] とする。物体は初速度 v_0 が 0 m/s、加速度 a が鉛直下向きに大きき g [m/s²] の等加速度直線運動をするので、等加速度直線運動の式で、 x を y に変えて、 $v_0 = 0$ m/s、 $a = g$ を代入すると、次が得られる。

$$v = gt \quad (11)$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (12)$$

$$v^2 = 2qu \quad (13)$$

 **Check**

$$v = v_0 + at \quad (8)$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (9)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (10)$$

問 19 水面より高さ 4.9 m のところから、小石を静かに
6 はなした。小石が水面に達するまでの時間と、水面
に達する直前の小石の速さを求めよ。ただし、重力
加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

☒ Check 静かに
初速度の大きさ 0 で

第1章 物体の運動 39

5 自由落下の式

等加速度直線運動を表す式をもとに、加速度 a を g 、位置 x を y 、初速度 v_0 を 0 とし、自由落下を表す式(11)~(13)を導いている。しかし、数式が異なるだけで、「自由落下は等加速度直線運動とは異なる運動」と考える生徒もいる。数式の表している内容の本質を理解するよう、繰り返し指導することが大切である。



つまずき対策

速度 v と位置 y の式について、 t の 1 次式なのか 2 次式なのかを間違える生徒がいる。また、 y の式にある $\frac{1}{2}$ を忘れて計算する生徒もいる。

いずれも、いわゆる、公式を暗記しようとする生徒によく見られるつまずきで、グラフと数式とを対応させて理解できていないことが多い。

物体の位置 y と速度 v について、それぞれの時間変化を $y-t$ グラフ、 $v-t$ グラフに表した後、速度 v が落下時間に比例していることを印象づけた上で、数式で表す。次に、 $v-t$ グラフの面積を使って時刻 t での位置 y を求めることで、数式の中に $\frac{1}{2}$ があることや t の2次式になることを理解させるとよい。その後で、 $y-t$ グラフが2次曲線(放物線)であることを確認すると、グラフと数式とを結びつけた理解が進みやすい。

6 問 19

解説 この問では、自由落下の式が正しく使えるよう、練習することがねらいである。

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \text{ より, } 4.9 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times t^2$$

$t > 0$ より, $t = 1.0 \text{ s}$

$$v=gt \quad \text{より, } v=9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.0 \text{ s}=9.8 \text{ m/s}$$

あるいは, $v^2=2gy$ より, $v^2=2\times 9.8 \text{ m/s}^2\times 4.9 \text{ m}$

$v > 0$ より, $v = 9.8 \text{ m/s}$ **答** 1.0 s, 9.8 m/s

等加速度直線運動の場合と同じく、様々な解法があ

ることに触れるのがよい。

 参考 落下運動の解釈の歴史

アリストテレス(B.C.350 ごろ)以降、長い間正しいとされてきた「重いものほど速く落ちる」という考えが誤りであることを明確に示したのはガリレイである。重いものと軽いものとを連結して落下させると中間の速さで落下するのか、それともより速く落下するのか、という思考実験や、ピサの斜塔から重さの異なる2物体を同時に落下させる実験などが伝えられているが、後者については実際に行ったかどうかは確認されていない。彼は、斜面を用いた実験によって、落下距離が落下時間の2乗に比例することを明らかにした。この実験については彼の『新科学対話』(1638 年)に詳しく述べられている。(→図p. ④物理学の歴史)

► 参考文献 理科年表 国立天文台編 丸善出版

- ・国内の重力加速度の値＜平成 28 年／第 89 冊＞
- ・海外の重力加速度の値＜平成 11 年／第 72 冊＞

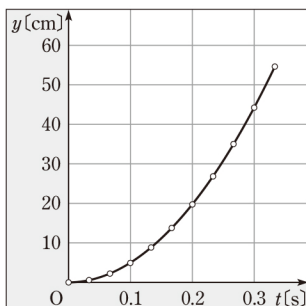
4 図 25 自由落下のストロボ写真

写真中に示した各時刻での鉄球の位置をもとに、落下運動のグラフを作成させてもよい。

 参考

教科書に関連した参考情報を掲載しています。

时刻 t	y [cm]	v [m/s]
0	0	
1/30	0.6	0.18
2/30	2.1	0.45
3/30	4.9	0.84
4/30	8.7	1.14
5/30	13.7	1.50
6/30	19.7	1.80
7/30	26.7	2.10
8/30	34.8	2.43
9/30	44.1	2.79
10/30	54.5	3.12



④図 自由落下の $y-t$ グラフ

第2節 運動の法則

(配当時間5時間)

◆学習目標

- ・慣性の法則について、理解する。
- ・実験を通して、運動の法則を導出する。
- ・運動の三法則として力と運動の関係を理解する。
- ・単位と次元および物理量の考え方について理解する。

◆指導上の要点・留意点

- ・慣性の法則は中学校で既習だが、運動しているものは力がはたらかなければいずれ静止するであろうというアリストテレス的な考え方をもつ生徒も多い。そこで、カーリングのストーンの例や、ガリレイの思考実験また力学滑走台などの実験を通して、実感をもった理解につなげていきたい。
- ・運動の法則では、条件制御された実験を行い、それぞれの要素の関係を整理して法則を導く。このような科学的手法を学ぶためにも、実験を行い、結果の考察を行わせることが重要となる。

▶ 中学校との関連

中学校では、慣性の法則、作用・反作用の法則を学んでいるが、運動の法則については、加速度という概念を学習していない。物体に力がはたらき続けると速さが一定の割合で大きくなり、物体にはたらく力が大きいほど速さの変化の割合が大きいと学んでいる。

A 慣性の法則

◆導入例

中学校理科では、物体に力がはたらかなければ等速直線運動をすることを学んでいる。しかし、「物体が動き続けるには力が必要」とか「物体に加えられた力がなくなると物体は止まる」と思っている生徒は少なくない。このような素朴な自然観から科学的な自然観に移ることは容易なことではないので、だるま落としや力学滑走台などの印象的な実験を行い、論理的な考察の積み重ねによって認識が改まるよう、丁寧に指導したい。

1 慣性の法則

運動の第1法則である慣性の法則について、「第2法則の力が0の場合である」という考え方をするのは適当ではない。物体に力がはたらかないか、またはつり合っているとき物体の速度が変化しないというのは空間(座標系)の性質の規定であり、これを第1法則に掲げたのは、このような座標系(慣性系という)において、第2法則、第3法則も成り立つと考えたからであろう。このことは、生徒の実情に応じて、機会があれば補足的に説明すればよい。

第2節 運動の法則



A 慣性の法則

1 教室の机の上で木片をすべらせても、すぐに止まってしまう。しかし、水平な氷上をすべるカーリングのストーンのように、摩擦の少ない面上をすべる物体は、一度速度を与えられ、力を加え続けなくてもほぼそのままの速度で、長い時間運動を続けることができる。



図12 氷上をすべるストーン

この例から、物体には本来、その速度を保とうとする性質(慣性)があり、仮に摩擦や空気抵抗が全くない水平面上で物体を動かしたとき、物体は等速直線運動をすることが考えられる。これを 慣性の法則 という。

慣性の法則

2 物体に力がはたらいていないとき、または物体にはたらく力がつりあっているとき、物体は静止または等速直線運動を続ける。

▶ 中学校との関連

中学校理科と関連する学習内容について、既習事項を確認できるようにしています。

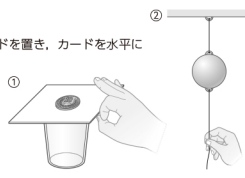
加速 東向きは静止の状態を続けようとして、後ろに傾く。減速 東向きは運動の状態を続けようとして、前に傾く。

図13 慣性の例(バスの加速・減速)

やってみよう 慣性

3 コップの上にコインをのせたカードを置き、カードを水平に指で勢いよくはじくと、コインはどうなるだろうか。

② 糸のついた重い金属球をつるし、下の糸を引いて上の糸だけ、または下の糸だけを切るには、それぞれどのようにすればよいだろうか。

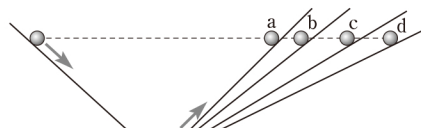


62 第1部 物体の運動とエネルギー

実験、やってみようの進め方や留意点を解説しています。

次の

図のようななめらかな斜面においては、斜面を転がりおりた物体は、aの斜面を転がり上がり、元の高さまで上がる。b, c, dと斜面の角度を変えても物体は同じ高さまで上がる(これについては、中学校理科で力学的エネルギー保存に関係して、振り子の糸の長さを途中で変えても同じ高さまで上がることを学んでいるので、類推はできるであろう)。では、斜面をeのように水平にしたらどうなるだろうか。空気抵抗や摩擦などがなければ、球は一直線上を一定の速さで進むと考えられる。このような思考実験も物理では有益であることを示しておくといよい。



他にも

板書例 発問例 よくある質問と回答などのコーナーを設けた、充実の解説書となっています。

B 運動の法則

慣性の法則によると、力がはたらかなければ物体の速度は変化しない。では、力がはたらくと物体の速度はどのように変化するのだろうか。ここでは、一定の力が物体にはたらく場合について考えてみよう。

2

一定の力がはたらくときの物体の運動を実験で調べるために、次のステップで実験の準備をしよう。

予想 斜面をくだる物体など身の回りの現象から、物体に一定の力がはたらき続ける場合、どのような運動になるかを予想しよう。

4 **決定** さらに、物体にはたらく力の大きさや物体の質量を変えると、それぞれ運動はどのように変わるだろうか。仮説を立ててみよう。

計画の立案 (仮説の検証)で立てた仮説は、どのような条件で測定をすれば確かめられるだろうか。実験の計画を立ててみよう。

まずは(1) 探究2で、物体に一定の大きさの力を加え続けたときの物体の運動について調べてみよう。

A 探究2 一定の力がはたらくときの物体の運動①

目的 一定の力がはたらくときの物体の運動の様子を調べる。

準備 力学台車、ゴムひも、ものさし、記録タイマー、記録テープ

方法 図のように、1本のゴムひもを一定の長さで保ちながら力学台車を引く。このときの台車の運動を記録タイマーで記録する。

処理 記録テープを分析して速さ v を求め、 $v-t$ グラフを描く。

考察 $v-t$ グラフの形から、一定の力を加え続けたときの物体の運動についてどのようなことがいえるか。班で話し合っ発表しよう。



図2-1 台車を一定の力で引く

●ビデオカメラなどで台車の運動を撮影し、そのデータをもとに $v-t$ グラフを描いてもよい。

第2章 力と運動 63

3 やってみよう 慣性

(所要時間 5分)

ねらい 慣性の法則を実感させる。

①では、はじかれた(力を加えられた)カードが飛び出しても、力がつり合った状態のコインはほとんど動かないことに着目させる。だるま落としも原理は同じである。

②では、糸をゆっくりと引くと、金属球にはたらく重力の分だけ上の糸の張力が大きいので、上の糸が先に切れる。糸を素早く引くと、金属球が慣性のためにすぐには動かず、下の糸の張力だけが急激に大きくなるので、下の糸が先に切れる。

準備 コップ、カード(名刺など)、コイン、糸、金属球、スタンド、クッション(金属球が落下するところに置く)

注意点 金属球の落下による事故のないよう、十分に

深めよう

教科書紙面に掲載している、学習内容を深めるための問いかけです。

教授資料では、生徒の回答例を掲載しています。

① 運動の向きに力がはたらき続けると、物体の速さ

探究の流れ

探究の流れと評価を行う場面を整理して確認できるようにしました。

DVD-ROM 収録の「探究の指導と評価の計画例」と対応しています。

探究の流れ

探究2 一定の力がはたらくときの物体の運動①

A 見通し

◆斜面をくだる物体など身の回りの現象から、物体に一定の力がはたらき続ける場合、どのような運動になるか考えさせる。

✓ 評価の場面 主体

✓ 評価の場面 思・判・表

B 活動

◆実験を行い、記録テープの分析から速さ v を求めさせ、 $v-t$ グラフを作成させる。

✓ 評価の場面 知・技

C 整理・考察

◆ $v-t$ グラフの形から、一定の力を加え続けたときの物体の運動について考察させ、物体が等加速度直線運動をすることを見いだしさせる。

◆等加速度直線運動の $v-t$ グラフ(図p.32 図16)と同様のグラフの形になっていること、グラフの傾きは加速度を表すことなどを確認させる。

✓ 評価の場面 思・判・表

D 振り返り

◆見通し～整理・考察を振り返り、自己評価を行わせる。

→付録 DVD 探究のワークシート・自己評価

✓ 評価の場面 主体

E 学習内容の理解

◆一定の力がはたらくとき、物体がどのような運動をするかについて、グラフをもとに説明させる。

✓ 評価の場面 主体

探究のまとめ

・直線上を運動する物体に一定の大きさの力が同じ向きに加わり続けたとき、物体には力の向きに一定の大きさの加速度が生じ、等加速度直線運動をする。

4 深めよう

[予想] 身の回りの現象をもとに、物体に一定の力がはたらき続ける場合、どのような運動になるかを予想させる。

〈回答例〉

・物体の速度は大きくなる

・物体は一定の方向に加速し続ける

など