

物理学 I

— 第 3 回 —

前回の復習

グラフの面積

変化率を積分すると変化が分かる

正負もつけて考える

単位を忘れずに

数値には必ずつける

単位により答をチェックする習慣をつけよう

二次元以上の運動のベクトル表記に慣れよう

概念の理解には図を活用 計算には成分表示が便利

等速円運動は加速度運動

スピードは一定でも速度の方向が変化

成分表示での計算の例としても大事

1

今日の内容

先週まで 運動学

運動の描写・・・「何故は問わず無味乾燥」

今週から 力学

運動の因果関係を理解する

第3章

1. 力について理解しよう

いろいろな種類の力を把握する

力の本質を理解する

2. 運動の基本法則

ニュートンの三法則は力学の基本

運動方程式で何が出来るかをしっかり把握

第3章 力と運動の法則

この章のポイント

1. 力について理解しよう(性質、種類、本質)

いろいろな種類の力を把握する

力の本質を理解する

2. 運動の基本法則

ニュートンの三法則は力学の基本

運動方程式で何が出来るかをしっかり把握

3. 重心の運動を理解する

次回

物体を重心にある質点と見るのが最適

§ 1 力 (3-1~3, 11)

止まっている物体を押したり引いたりすると動く

押したり引いたりしないと動かない

日常経験

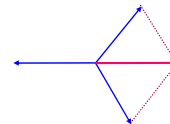
⇒ 運動を引き起こす要因は力

古くからの認識

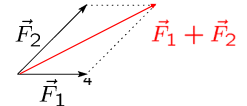
☆力比べ・・・力のつりあい

力は大きさと方向を持つベクトル量

例 3人の綱引き



合力・・・ベクトルの足し算



問1 部屋の机を押してもピクリとも動かなかった。
動かない理由の説明としてふさわしいのは？

1. 押す力が足りなかったため
2. 押したのに机に力が働かなかったため
3. 作用と反作用がつりあったため

正しい認識は合力0

☆古代ギリシャの力の認識

アリストテレス(前384-322)

万学の祖

原因⇒結果 と考える姿勢

運動の原因は「力」

しかし、摩擦力、空気抵抗力、重力の認識が不十分

1. 物体は力が加わっている間だけ動く

現象に捉われすぎ

摩擦でブレーキがかかるという発想なし

投げた石が飛び続けるのは空気が押し続けるため ×

2. 重いものほど速く落ちる

重いものほど、下に落ちようとする「内在の力」が大きい ×

重力の本質、空気抵抗の働きの認識不足⁶

問2 重いものほど速く落ちる？

地表付近で実験するとせよ

1. 重いものも軽いものも落ちる速さは同じ
2. 重いものは実際落ちるのが速い
3. 軽いものの方が速く落ちる場合もある

7

問2 重いものほど速く落ちる？

地表付近で実験するとせよ

答 軽いものの方が速く落ちる場合もある

軽くて小さい物体と少し重くて大きな物体
⇒ 大きな物体は大きな空気抵抗を受けるので遅くなる場合もある

空気抵抗の詳細は4章

8

§ 2 ニュートンの三法則(3-1、2、4~7)

☆内容

ガリレオ ガリレイ(1564-1642)による「力学」への新たな一歩

ニュートンの三法則 (アイザック ニュートン 1642-1727)

ニュートンの第一法則	慣性の法則
ニュートンの第二法則	運動の法則 運動方程式
ニュートンの第三法則	作用反作用の法則

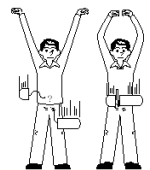
9

☆ガリレオ(16C)のアリストテレス説に対する疑問

1. 水平(地表と平行)運動について
力が働きにくい滑らかな面ほど止まらずに運動
⇒ 同じ速度で動き続けるのが自然法則
運動を妨げる力(摩擦力、抗力)が働いたら停止
⇒ ニュートンの第一法則へ(慣性運動)
2. 鉛直(地表と垂直)運動について
物体を2個に砕いて落とすと??
アリストテレスの説は破綻

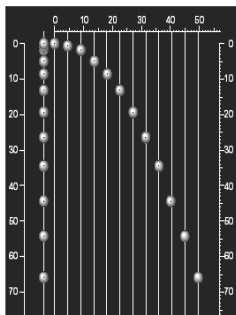


測定(斜面上の落下) →

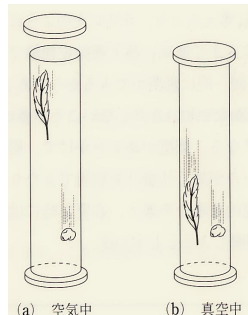


すべての物体は一定の加速度で落下する性質
運動を妨げる力(空気抵抗)により違いが生じる

下向きの加速度が一定



水平方向には一定の速度



11

ガリレイの偉さ

優れた実験と論理により、複雑な現実から、複雑にしているものをそぎ落とし、理想的な状況を考え、本質を導いた。

1. 力には物体を動かすだけでなく、止める作用もある。抵抗という力を導入することにより、力が働かない理想状態では、物体は止まったままか、等速直線運動するかのいずれかであることを喝破した。またこれにより、動くことも止まることも統一的理解が可能になった。
2. 物体の落下においては、理想的な状況では加速度は一定であることを、実験により発見

☆ ニュートンの三法則発見の元？

ひらめき りんごが落ちるのを見て思いついた？

落下で加速するのは「重力」が原因に違いない

地球に引かれる力

⇒ 水平方向、鉛直方向を区別する必要はない

基本法則の普遍性

☆ ニュートンの第一法則(慣性の法則)

物体の速度は力を受けなければ変化しない

正確には物体に働く合力がゼロであれば
(力を受けていても打ち消しあっている)

力が働かないと { 静止している物体は静止したまま
動いている物体は等速直線運動 (速度一定)

問3 慣性の法則は例外なく成立する？

力が働いてなければ等速運動するように見える？

1. 基本法則なので例外はない
2. 基本法則にも関わらず例外はある

14

答 基本法則にも関わらず例外はある

加速度運動する人にとっては成立しない

太陽の動き、加速中の電車、メリーゴーラウンド等

基本法則に例外があってもいいの？

ちゃんと説明できるー4章4-14、15

慣性の法則が成立する系を **慣性系** と呼ぶ

慣性系ってどんな系？

…厳密にはすごく難しいが、普段は「地表」か「太陽」

第一法則の役割は力学を考える基準の系を与えること

慣性系

☆ ニュートンの第二法則にいたるまで

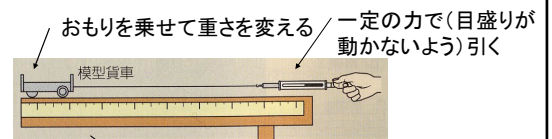
運動を変化させるのは力

変化させ方をしっかり調べてみよう

力と運動の変化(加速度)

1. 重いものほど運動を変化させにくい

重さ…ばねばかりで測れる — 物体に働く重力の大きさ

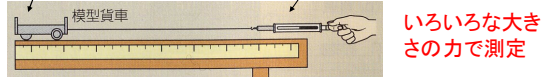


力が一定なら加速度の大きさは重さに反比例

2. 物体の加速度は力に比例する

重さは一定

一定の力で(目盛りが動かないよう)引く



重さが一定なら加速度の大きさは力の大きさに比例

加速度の向きは力の向き 力も加速度もベクトル

3. すべての物体は一定の加速度で落下する性質

重さ(物体に働く重力の大きさ)が違ってても

落下する加速度は同じ

重力加速度の大きさ $g \approx 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$ 場所によって異なる

☆ 質量

1. 力が一定なら加速度の大きさは重さに反比例
2. 重さが一定なら加速度は力に比例 ベクトルとして
3. 重さが違ってても同じ加速度で落下

ニュートンの考え

物体は「動かしにくさ」を特徴付ける質量を持つ

力 \propto 質量 \times 加速度

物体は質量に比例する大きさの重力を受ける

重さ \propto 質量

⇒ 1. と 2. は自明

3. 落下加速度 \propto 重力 / 質量 = 一定

質量は「動かしにくさ」と「重力」という全く違う性質を表現

…奥が深い → 一般相対性理論 18

☆ニュートンの第二法則(運動方程式)

力 ∝ 質量 × 加速度

⇒ この関係を力を測る基本にしよう

力 = 質量 × 加速度 の関係で力の大きさを定義する

質量 : kg 原器の質量を1kgと呼ぶ

基準が決まればその何倍になるか測れる...例: 天秤

加速度: メートル毎秒毎秒 [m/s²] で測る

⇒ 質量1kgの物体を1 m/s² で加速する
力の大きさ ≡ 1 kg·m/s²

... 長いので1Nと呼ぶ
ニュートン

ニュートンの第二法則(運動方程式)

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

質量 m [kg] の物体にかかるすべての力の和 \vec{F} [N] と物体の加速度 \vec{a} [m/s²] の間の関係式

— ベクトルの関係式 加速度の向きは力の向き

☆運動方程式の役割

1. 物体にかかる力から加速度を求める $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$
どんな運動をするか
2. 物体の加速度から働く力を求める 簡単な例
運動の原因の理解 静止している物体は受けている力の合力が0
3. 物体に働く力と加速度から物体の質量を求める
質量分析計—分子の質量測定 ²⁰

☆ニュートンの第三法則(作用・反作用の法則)

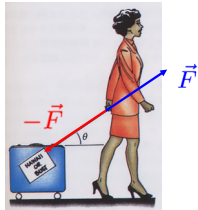
経験則

荷物を引っ張ると \vec{F}

手は引き戻される $-\vec{F}$

大きさは等しく向きは逆

— ばねばかりで確かめられる



ニュートンの第三法則(作用・反作用の法則)

物体Aが物体Bに力(作用) $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ を及ぼすとき、
物体Bは物体Aに力(反作用) $-\vec{F}_{A \rightarrow B}$ を及ぼす

大きさは等しく向きは逆

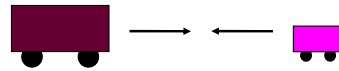
力は必ず対で生じる

それまで認識されていなかった偉大な発見

りんごは地球を引っ張る!

問4 大型車と軽自動車衝突して、軽自動車ははね飛ばされて大破した。衝突の際、大型車と軽自動車の間に働いた力は?

1. 軽自動車が大型車から受ける力の方が大きい
2. 大型車が軽自動車から受ける力の方が大きい
3. お互いが及ぼす力は同じである

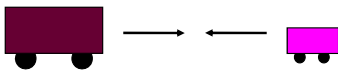


お互いが及ぼす力は同じである

作用反作用の法則はどんな場合も成立

問4' 大型車と軽自動車衝突して、軽自動車ははね飛ばされて大破した。力が同じなのに、軽自動車ははね飛ばされた理由は?

1. 軽自動車の方が作りが悪いから
2. 両者の質量の違い
3. たまたま軽自動車の方が運が悪かったから



お互いが及ぼす力は同じでも、加速度は質量による

作用反作用の法則はどんな場合も成立

☆力の本質 (3-11)

自然界にはあと二種類
強い力と弱い力

日常経験する力の本質は二種類

重力

万有引力

遠隔力

すべての物体の間には引力

少なくとも一方が惑星スケールでないと弱すぎて気付かない
...それぞれの質量に比例

ここで大事なのは離れていても働く力という点

電磁気力

正負の電荷や磁極、電流により働く力

元々は遠隔力

分子間力の源

分子間力

接触力

少し離れている分子の間には引力 「分子は皆友達」

接近しすぎた分子の間には斥力 「縄張りを守る」

☆様々な接触力

接触する物質間には力が働くと思え

1. 固体と固体の間に働く力

A) 変形が無視できるとき

垂直抗力

他の物体の進入を防ぐ

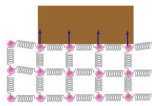
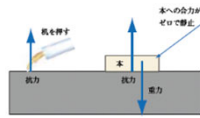
固体の分子間力はバネのイメージ

「縄張りに侵入しようとして硬いバネ」に押し返される

押す力に対する抵抗力

変形は無視できるだけで、現実の物質は必ず

力に対し微小な変形を起こしていることにも注意しておく

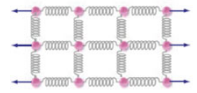


25

張力 引く力に対する抵抗力

ひもや棒を引っ張る

⇒ どの断面でも互いに引く力



この左右の二つの部分に注目すると

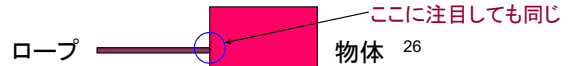


力のつり合いにも注目

右の部分が元の形を保とうとして左の部分を引く



左の部分が元の形を保とうとして右の部分を引く



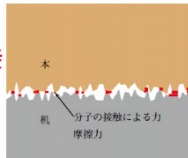
26

摩擦力 接触面のずれに対する抵抗力

接触面はミクロにみると無数の凹凸

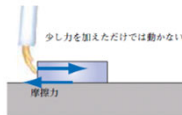
⇒ 一部分だけが分子レベルで近接

接触面の分子がずれて離れようすると分子間の引力が妨害



粗い面では突起がくぼみに入り込む効果の影響も大きくなり複雑に

ずれに対する抵抗力の働き



B) 変形が無視できないとき

バネの力(弾性力)

小さな変形に対しては元の形に戻ろうとする復元力が働く

分子が元の位置に戻ろうとする作用の結果

垂直抗力や張力も変形を無視しただけのこと

バネに限らず物質の伸び縮みやねじれの変形でも

復元力が働く

ゴム製品など

28

2. 固体と流体(液体、気体)の間に働く力

抗力 固体の運動方向と反対向きに働く ブレーキ

固体の運動に注目する観点からは

流体中の固体の移動を妨げる力だけを考えればよい

抗力の原因

1. 流体分子を押しのけるのに必要な力

圧力抵抗 または 慣性抵抗...垂直抗力に対応

2. 流体分子がまとわりついてずれを妨げる

粘性抵抗 または 摩擦抵抗...摩擦力に対応

29

問5 次のうちニュートンの第2法則における力と呼べるのはどれか

1. 忍耐力
2. 揚力
3. 馬鹿力
4. 圧力
5. 遠心力

30

「力」という言葉はいろいろな場合に使われる

1. 物理学的な力

ベクトル量

力の単位「N」(ニュートン)で測られる・・・次節

物質間の力の名称 垂直抗力 など

性質に注目した表現 揚力、浮力、推力、撃力 など

2. 能力を表す日常用語

忍耐力、馬鹿力、腕力、語学力 など

3. 力ではない物理用語

圧力、電力 など・・・単位が違う別の物理量

遠心力、慣性力など・・・非慣性系に現れる「力」(4章)

4. その他

入力、水力、風力 など

31

今日のまとめ

ニュートンの三法則

三法則がどのように確立したか⇒法則の深い理解

三法則の果たす役割をしっかりと理解しよう

内容は本文参照

(第三法則については次回)

いろいろな力

重力と電磁気力(→分子間力)が本質

遠隔力・・・重力

接触力・・・物質と物質の接触面には必ず力

32