

物理学基礎Ⅰ（医・医） 第1回

川崎猛史

名古屋大学理学部物理学科

Last update: April 15, 2021

目次

1 講義について

- 対面講義における注意事項
- 講義担当者と講義方針
- 講義のスケジュール
- シラバス

2 導入

- 物理学とは
- 力学の歴史
- 生命科学と物理学
- 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

3 物体の運動学

- 運動の定量化：スカラー量とベクトル量
- 運動の定量化：単位系
- 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度
- 運動の例：等速直線運動から円運動まで

4 まとめ

目次

1 講義について

- 対面講義における注意事項
- 講義担当者と講義方針
- 講義のスケジュール
- シラバス

2 導入

- 物理学とは
- 力学の歴史
- 生命科学と物理学
- 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

3 物体の運動学

- 運動の定量化：スカラー量とベクトル量
- 運動の定量化：単位系
- 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度
- 運動の例：等速直線運動から円運動まで

4 まとめ

1.1. 対面講義における注意事項

- 座席は1つおきに座ってください（図 1）。前後は空けなくて結構です。



図 1: 着席の目安. ○の部分に座ってください.

- 各自，着席番号を控えておいてください。

1.2. 講義担当者と講義方針

- 担当者：川崎猛史（理学部物理学科非平衡物理学研究室）
email:kawasaki@r.phys.nagoya-u.ac.jp
- TA：黒田裕太さん（大学院理学研究科非平衡物理学研究室 修士2年生）
- 講義の進め方：講義資料を NUCT から配布＋対面・遠隔ハイブリッド講義 **(毎回各自の都合で参加形態を選んでよい)**
- 教科書：新編力学（藤城敏幸著，東京教学社）
- 成績：(1)+(2)
 - (1) レポート課題（Quiz） 50 %
 - 2回ごとに出题（**NUCT から取得・提出**）.
 - 採点結果は NUCT を通して通知.
 - (2) 期末試験 50 %
 - 講義の内容，レポート課題，教科書の章末問題の類題を出题（**実施方法は不明**）
- 履修取り下げ：必ず「履修取り下げ届」を提出してください（評価は「**W（欠席）**」とします）。提出がなく期末試験欠席の場合，評価は「**F（不合格）**」とします。

1.3. 講義のスケジュール

講義資料は各講義**予定日前日迄**にアップロードする。

- 1 4/16：第 1 回
- 2 4/23：第 2 回 (第 1・2 回課題公開)
- 3 4/30：第 3 回 (第 1・2 回課題提出期限)
- 4 5/07：第 4 回 (第 3・4 回課題公開)
- 5 5/14：第 5 回 (第 3・4 回課題提出期限)
- 6 5/21：第 6 回 (第 5・6 回課題公開)
- 7 5/28：第 7 回 (第 5・6 回課題提出期限)
- 8 6/04：第 8 回 (第 7・8 回課題公開)
- 9 6/11：名大祭のため休講
- 10 6/18：第 9 回 (第 7・8 回課題提出期限)
- 11 6/25：第 10 回 (第 9・10 回課題公開)
- 12 7/02：第 11 回 (第 9・10 回課題提出期限)
- 13 7/09：第 12 回
- 14 7/16：第 13 回 (第 11・12・13 回課題公開)
- 15 7/17：予備日 (質問対応等)
- 16 7/23：オリンピックのため休講 (第 11・12・13 回課題提出期限)
- 17 8/6 (予定)： 期末試験

1.4. シラバス

試験範囲は教科書 2 章と 3 章の予定.

- 1 導入：物理学とは，生命科学と物理学．講義の目的．
- 2 質点の運動学：質点の位置，速度，加速度の関係，ならびに，これらの微分（積分）による表現方法を学ぶ．特に，自由落下，斜方投射，等速円運動などを具体的に扱う．
- 3 運動の法則：力の働きと表し方，**運動の 3 法則（慣性の法則，運動方程式，作用・反作用の法則）**を導入する．
- 4 質点の運動方程式の解法：運動方程式を様々なタイプの微分方程式に落とし込み，これらを具体的に解く．特に，減衰運動，単振動，減衰振動，強制振動などを扱う．
- 5 エネルギーとその保存則：エネルギーと仕事の関係から，エネルギー保存則を導入する．
- 6 束縛力：抗力や摩擦力に関する具体的な問題を扱う．
- 7 相対運動と慣性力：座標変換と相対運動を扱い，慣性力を導入する．コリオリ力などを扱う．
- 8 質点系の運動：2 つ以上の質点の運動と衝突から，運動量保存則を導入する．
- 9 質点系の回転運動：回転エネルギーと角運動量保存則を導入する．天体の運動などを例として扱う．
- 10 剛体の動力学：慣性モーメントを導入し，回転する剛体の運動を具体的に扱う．
- 11 授業の総括と期末試験（試験範囲は授業進度を鑑みて，7 月上旬に改めて提示する）

目次

1 講義について

- 対面講義における注意事項
- 講義担当者と講義方針
- 講義のスケジュール
- シラバス

2 導入

- 物理学とは
- 力学の歴史
- 生命科学と物理学
- 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

3 物体の運動学

- 運動の定量化：スカラー量とベクトル量
- 運動の定量化：単位系
- 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度
- 運動の例：等速直線運動から円運動まで

4 まとめ

2.1. 物理学とは

物理学とは

- 個々の現象ではなく、単純化や抽象化を通して、共通性（奥に存在する法則）を抽出.
 - 例：ボールの運動の記述 (1→3 に向けてより単純になる)：
 - 1 弾性体とみなす：物体の位置+向き+変形を考慮
→ 正しい運動を再現するが、変数が多く、現象の本質がわかりにくい！
 - 2 剛体とみなす：物体の位置+向きを考慮
→ 形状の変化を無視．回転運動は考慮．
 - 3 質点とみなす：物体の位置のみを考慮
→ 回転運動も形状の変化も無視．

物体を単純化しても重要性質が失われないならば

→ そこで見えているものが本質

→ 他の現象にも適用可能な普遍的性質（力学）

医学を含む自然科学一般において共通するアプローチ

2.2. 力学の歴史

力学の誕生 (16-18 世紀)

1 運動を観察して各論的に法則が見出された.

- 天体の観察 : Tycho Brahe(1546-1601)
→ 天体 3 法則 : Johannes Kepler (1571-1630)
- 地上での加速運動や慣性の法則 : Galileo Galilei(1564-1642)

2 それらの運動を引き起こしている普遍的原因が見いだされた: 力の発見

- 古典力学 (運動 3 法則, 万有引力) + 微分積分学 : Isaac Newton(1642-1727)
→ エネルギーや運動量などの概念が導かれ, その後の物理学の発展に貢献. **本講義ではこの周辺問題を扱う.**

2.2. 力学の歴史 (2)

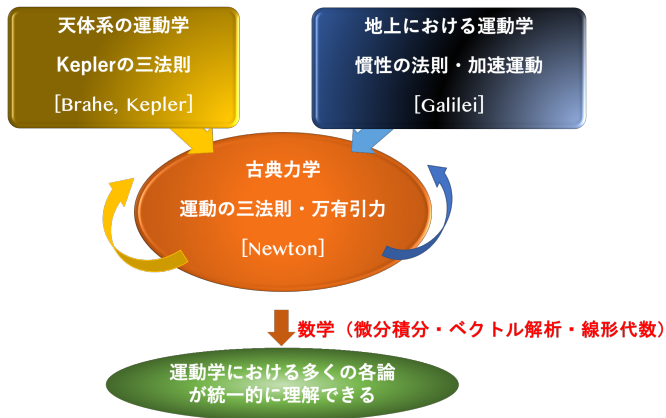


図 2: 古典力学の学問体系

2.3. 生命科学と物理学

- 生命科学において物理学（流体力学，電磁気学，量子力学，原子核物理学など）の知見は広く応用されている．本講義で学ぶ古典力学はその基礎となる．
- 近年，生命医科学を対象にした基礎物理学の学問体系が創生されつつある．（ie., **非平衡物理学，ソフトマター物理学，アクティブマター物理学**）

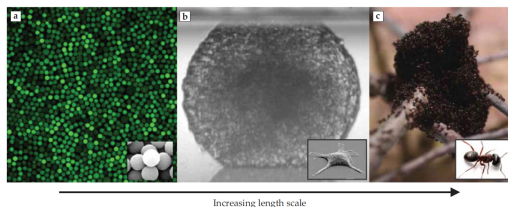


FIGURE 4. GLASSY PHYSICS at many length scales. Atomic liquids and systems composed of larger particles are analogous in many ways. **(a)** Highly concentrated colloidal micrometer-sized spheres resemble the liquid and glass states shown in figure 1. **(b)** A dense viscous droplet composed of living cells squeezed between two plates exhibits many glassy properties. **(c)** A dense swarm of ants retains its shape for a long time, in analogy with an amorphous solid. (Panel a courtesy of Arran Curran; panel b adapted from T. V. Stirbat et al., *Eur. Phys. J. E* **36**, 84, 2013; panel c adapted from M. Tenenbaum et al., *Nat. Mater.*, in press, doi:10.1038/nmat4450.)

図 3: ソフトマターやアクティブマターの例．(a) コロイド分散系 (PMMA)，(b) 細胞集団系（癌細胞），(c) 蟻の集団 [L. Berthier and M. D. Ediger, Facets of Glass Physics, *Physics Today* **69**, 40 (2015)]

2.3. 生命科学と物理学 (2)

NATURE MATERIALS DOI: 10.1038/NMAT4450

LETTERS

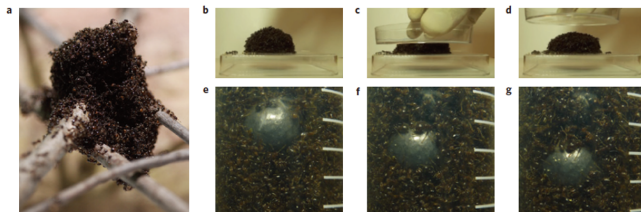


Figure 1 | Liquid-like and solid-like behaviour of fire ant aggregations. **a**, A fire ant aggregation composed of workers sitting on sticks. **b–d**, A Petri dish compresses an ant aggregation, which is then left unperturbed. The time lapse between images is 0.2 s. This experiment exemplifies the elastic nature of the ant aggregation in two ways: the aggregation approximately returns to its original shape after being compressed and the aggregation maintains a specific shape. **e–g**, A lead sphere of diameter, 1.1 cm, and density $\rho_{\text{sp}} \approx 11 \text{ g cm}^{-3}$, is placed on top of an ant aggregation $\rho \approx 0.3 \text{ g cm}^{-3}$, inside a test tube. The test tube is vertical and gravitational acceleration is $g \approx 10^3 \text{ cm s}^{-2}$. As time passes, the sphere falls through the aggregation. The time lapse between images is 90 s. The ants flow around the sphere, allowing it to fall at a speed $u \approx 2 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$, exemplifying the viscous nature of the ant aggregation at sufficiently long times.

図 4: アクティブマター物理学の一例。 蟻の集団 (蟻団子) の力学測定。 これに力を加えると、液体・固体の中間的振る舞いが見られる。力を外すと蟻団子はおおよそ元の形に戻る (固体的) が、内部に埋め込まれた鉛の小球は元の位置に戻ってこない (液体的)。[M. Tennenbaum, Z. Liu, D. Hu, and A. Fernandez-Nieves, *Nature Materials* **15**, 1 (2016).]

2.3. 生命科学と物理学 (3)

医学に立脚したアクティブマター物理学の学理構築の展望

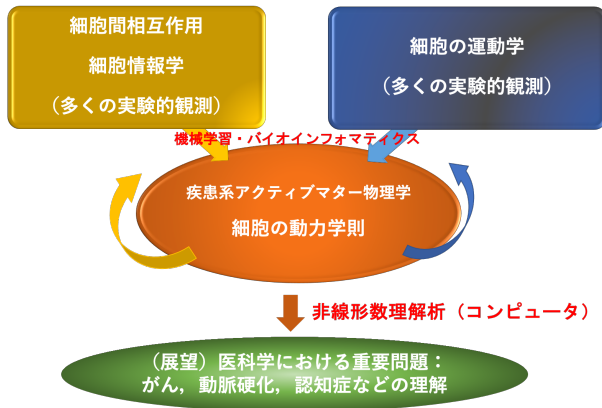


図 5: 医学に立脚した疾患系アクティブマター物理学の学理構築の展望 [with 医学部免疫学：西川教授]

2.4. 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

- 物理学は極めてシンプルな**基本原理**を**起点**として、現象を理解する学問である．この様なアプローチ方法は、自然科学全般において共通しており、医学においても例外ではない．従って、本講義を通して、この様な問題解決のアプローチ方法の習得を目的とする．
- 本講義では、微積分やベクトル解析を積極的に用いて議論を進める．その中で自然科学を扱う上で必須となる数理解析力の習得も目的とする．

将来新しい学問体系を構築できる人材の育成に貢献したい．

目次

1 講義について

- 対面講義における注意事項
- 講義担当者と講義方針
- 講義のスケジュール
- シラバス

2 導入

- 物理学とは
- 力学の歴史
- 生命科学と物理学
- 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

3 物体の運動学

- 運動の定量化：スカラー量とベクトル量
- 運動の定量化：単位系
- 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度
- 運動の例：等速直線運動から円運動まで

4 まとめ

3.1. 運動の定量化：スカラー量とベクトル量

ここでは、実験的に得られた物体の位置などの情報から運動の特徴を抽出し、定量化することを考える．その上で重要な「量」に関する2つの概念を導入する．

- スカラー量（大きさのみを持つ量） 例：速さ v ．
- ベクトル量（大きさと向きをもつ量） 例：速度 $\vec{v}$ ．なお、ベクトル量は大学物理では矢印記号の代わりに**ボールド体（太字）**で描かれることが多い ($\vec{v} = \mathbf{v}$)．

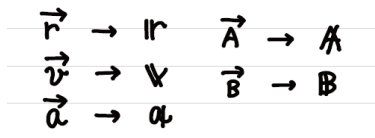


図 6: 手書きでボールド体のベクトルを書く際は、上に示したように縦二重線で書く．書き方に任意性が生じるが、多少の差違は問わない．

3.2. 運動の定量化：単位系

単位系 [教科書 p25]

物理量は一般的に単位を含む。本講義では、広く用いられている国際単位系 (International System of Units: 通称 SI 単位) を採用する。

- 1 SI 単位：重さは kg ，長さは m ，時間は s (秒) を基本とし，この組み合わせにより様々な物理量が表現される。



図 7: SI 単位 [Wikipedia]

例:

- 速度は「変位/時間」から，その単位は m/s .
- 加速度は「速度/時間」から，その単位は m/s^2 .
- (発展) 単位同士の微分は割り算，積分は掛け算.

3.3. 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度

物体運動を記述する基本概念 [教科書：p33-43]

各時刻における質点の位置 $\mathbf{r}(t)$ が観測された時，ここから抽出可能な物理量を考えよう．最も簡単なものから，

1 平均速度（時刻 $[t, t']$ 間）

$$\bar{\mathbf{v}}(t, t') = \frac{\mathbf{r}(t') - \mathbf{r}(t)}{t' - t} \quad (1)$$

2 瞬間速度（時刻 $[t, t + \Delta t]$ 間）

$$\mathbf{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \equiv \dot{\mathbf{r}}(t) \quad (2)$$

と表される．つまり速度は，位置の時間に関する 1 階の導関数（時間微分）である．

3.3. 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度 (2)

(補足) 時間微分記号

- スカラーやベクトル変数の頭についているドット記号 (e.g., $\dot{\mathbf{A}}(t)$): 変数の時刻 t に関する 1 階の導関数.
- ツードット記号 (e.g., $\ddot{\mathbf{A}}(t)$): 変数の時刻 t に関する 2 階の導関数.

(補足) 位置ベクトルの時間微分

位置ベクトル $\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$ の各成分に対して，独立に微分を実行：

$$\dot{\mathbf{r}}(t) = \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{z}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ v_z(t) \end{pmatrix}$$

3.3. 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度 (3)

3 瞬間の加速度（速度の変化率）¹

$$\mathbf{a}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{v}(t + \Delta t) - \mathbf{v}(t)}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = \dot{\mathbf{v}}(t) = \ddot{\mathbf{r}}(t). \quad (3)$$

つまり加速度は，速度の時間に関する 1 階の導関数，位置の時間に関する 2 階の導関数である．

4 逆操作：加速度 $\mathbf{a}(t)$ から速度 $\mathbf{v}(t)$ ，位置 $\mathbf{r}(t)$ を求める為には，時間に関する積分を以下のように段階的に施せばよい．

$$\int \mathbf{a}(t) dt = \mathbf{v}(t) + \mathbf{C}_1, \quad (4)$$

$$\int (\mathbf{v}(t) + \mathbf{C}_1) dt = \mathbf{r}(t) + \mathbf{C}_1 t + \mathbf{C}_2 \quad (5)$$

ここで，ベクトル量の積分は，微分の時と同様に，各成分を独立に計算することが可能である．また，上記の通り，積分の度に積分定数 ($\mathbf{C}_1$ や $\mathbf{C}_2$) が現れる．この様に，積分定数を含む解を，**一般解** といい，一方，解を一意に定めるためには，条件（主

3.3. 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度 (4)

に **初期条件**) を与える必要がある．条件を与え，一意に定めた解を，
特殊解 (特解) という．

→ 以下，いくつかの簡単な運動の例を用いて，これらの扱いについて確認しよう．

¹以後，単に加速度と呼ぶ

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで

運動の例

質点に関する様々な運動例を考える．ただし，そのような運動が生じる根本原因については今回は議論しないことにする．また，空気抵抗は無視することにする．

1 1次元等速直線運動

最も簡単な例として，1次元等速直線運動を考える．等速直線運動の特徴は，速度が時間に対して常に一定であり運動が直線的であることである．速度が向きを変えずに一定であることは，加速度が零である．いま，時刻 t における位置を $x(t)$ ，速度を $v(t)$ ，加速度を $a(t)$ としよう．軌道を一意に定めるためには，初期条件（境界条件）が必要であることに注意し，問題の条件を以下にまとめる．

1 次元等速直線運動の条件設定

- 時刻 t における加速度 $a(t) = 0$
- 初期条件 (境界条件) $x(0) = x_0$ (定数), $v(0) = v_0$ (定数)

上の条件を出発点として，速度と位置を求めてみよう．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (2)

- 速度は，加速度の時間積分であるので

$$v(t) = \int a(t) dt = C_1. \quad (6)$$

ここで C_1 は積分定数である．初期条件 ($v(0) = v_0$) を用いれば

$$v(0) = C_1 = v_0 \quad (7)$$

となり積分定数が一意に定まる．よって，

$$\boxed{v(t) = v_0} \quad (8)$$

と速度が一定であるという自明な結果で得られる．

また，別解として定積分を用いてもよい．定積分を用いるなら，

$$\boxed{v(t) = v(0) + \int_0^t a(t') dt'} \quad (9)$$

と表すことが可能である．なお，定積分の被積分関数の変数を t' とし，時刻 t とは区別した．以下行う計算では，基本的に不定積分を用いるが，別解で示したように定積分を用いてもよい．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (3)

- 位置は速度の時間積分であるので

$$\begin{aligned}x(t) &= \int v(t) dt \\ &= v_0 t + C_2.\end{aligned}\tag{10}$$

ここで C_2 は積分定数である．初期条件 ($x(0) = x_0$) を与えれば，

$$x(0) = C_2 = x_0\tag{11}$$

となり積分定数が具体的に決まる．従って，時刻 t における位置は

$$x(t) = x_0 + v_0 t$$

と一意に定まる．

初期条件を与える意義

積分を 1 回実行する度に，積分定数が 1 つ現れる．これを決めるために初期条件（境界条件）が 1 つ必要になる！ 加速度 $a(t)$ から位置 $x(t)$ を求める為には時間積分を 2 度行う必要がある為初期条件が 2 つ必要である．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (4)

2 1次元等加速度運動

次に、1次元上を物体が加速度一定で運動する場合を考える．ここでも時間 t における位置を $x(t)$ 、速度を $v(t)$ 、加速度を $a(t)$ とする．軌道を一意に決めるためには初期条件が2つ必要になることに注意して、この問題の条件を以下の通り整理する．

1 次元等加速度運動の条件設定

- 時間 t における加速度: $a(t) = a_0$ (一定)
- 速度と位置の初期条件: $v(0) = v_0$, $x(0) = x_0$

上の条件を出発点として、速度と位置を求める．速度は加速度の積分、位置は速度の積分であることから、

- 速度：

$$\begin{aligned} v(t) &= \int a(t) dt \\ &= a_0 t + C_1. \end{aligned} \tag{12}$$

ここで、 C_1 は積分定数である．初期条件 $v(0) = C_1 = v_0$ であることから、積分定数が具体的に定まり

$$\boxed{v(t) = a_0 t + v_0} \tag{13}$$

が得られる．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (5)

■ 位置：

$$x(t) = \int v(t) dt \quad (14)$$

$$= \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + C_2. \quad (15)$$

ここで、 C_2 は積分定数である．初期条件 $x(0) = C_2 = x_0$ であることから，積分定数が具体的に定まり

$$x(t) = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0 \quad (16)$$

が得られる．この様に，2 回の時間積分と 2 つの初期条件を用いて位置を一意に決めることができた．

3 鉛直投げ上げ運動（1 次元等加速度運動の例）

次に，1 次元等加速度運動の一例である鉛直投げ上げ運動を考える．時刻 t における位置を $x(t)$ ，速度を $v(t)$ ，加速度を $a(t)$ とし，図 8 の様に座標系を取る（原点から重力に逆らって投げ上げる）．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (6)

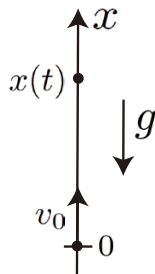


図 8: 鉛直投げ上げ運動. [教科書 p37 例題 2]

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (7)

ここでは、加速度が重力加速度で一定とし、以下の様に条件を設定する．重力加速度を $g (= 9.8\text{m/s}^2)$ とすれば

鉛直投げ上げ運動の条件設定 (例)

- 時間 t における加速度: $a(t) = -g$ (一定).
- 速度と位置の初期条件 (例): $v(0) = v_0 > 0$, $x(0) = 0$ (原点とした)

上の条件を出発点として速度と位置を求める．基本的に 1 次元等加速度運動の結果がそのまま使えるので、

- 速度：

$$\boxed{v(t) = v_0 - gt}, \quad (17)$$

- 位置：

$$\boxed{x(t) = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2} \quad (18)$$

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (8)

が得られる．例えば最高点に達する時間 t_1 は

$$v(t_1) = v_0 - gt_1 = 0 \quad (19)$$

より， $t_1 = \frac{v_0}{g}$ と求まる．最高点の高さは，

$$x(t_1) = v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{v_0^2}{2g} \quad (20)$$

となる．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (9)

- 4 2次元斜方投射 [教科書 p48 例題 1] (1次元等加速度運動と1次元等速直線運動の融合)
時刻 $t = 0$ において、地上の一点 (原点 $(0, 0)$ とする) から水平面 (x 軸と平行) とのなす角 $\theta (< \frac{\pi}{2})$ の方向に速さ v_0 で物体を投げる. 重力加速度は y 軸方向に $-g$ であるとし, 図 9 の様に座標系を取る. 物体の軌道 (図の点線) を以下の手順で求めよう.

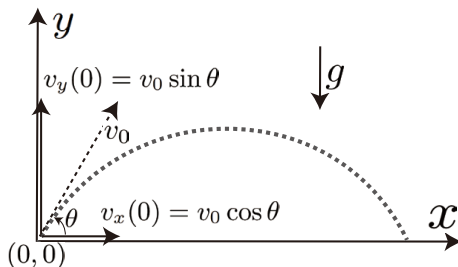


図 9: 2次元斜方投射. 物体の点線の曲線は軌道. 初速度 v_0 を x 成分, y 成分に分解したものを表示.

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (10)

時刻 t において、加速度 $\mathbf{a}(t) = \begin{pmatrix} a_x(t) \\ a_y(t) \end{pmatrix}$ ，速度 $\mathbf{v}(t) = \begin{pmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \end{pmatrix}$ ，位置 $\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$ とし，初速度が

$$\mathbf{v}(0) = v_0 \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} \quad (21)$$

であることに注意すると，以下の様に問題を整理することができる．

2 次元斜方投射の条件設定

- x 成分 加速度 $a_x(t) = 0$ の等速直線運動.
初期条件: $v_x(0) = v_0 \cos \theta$, $x(0) = 0$.
- y 成分 加速度 $a_y(t) = -g$ の等加速度運動.
初期条件: $v_y(0) = v_0 \sin \theta$, $y(0) = 0$.

上記の条件から，時刻 t における速度，位置はそれぞれ，これまで得た運動の例 (等速直線運動，等加速度運動) の結果を援用すれば，

■ 速度：

$$\mathbf{v}(t) = \begin{pmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_0 \cos \theta \\ v_0 \sin \theta - gt \end{pmatrix} \quad (22)$$

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (11)

■ 位置：

$$\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (v_0 \cos \theta)t \\ (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \end{pmatrix} \quad (23)$$

が得られる．式 (23) において， t は媒介変数であり，これを消去すれば， $x(t)$ と $y(t)$ の関係式（物体の軌道）

$$y(t) = (\tan \theta)x(t) - \frac{gx(t)^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \quad (24)$$

が得られる．これは放物線を表す．

5 2次元等速円運動 [教科書 p39-41 例題 3-5]

ここでは，これまでと趣向を変えて，時刻 $t = 0$ において $(x, y) = (r, 0)$ にある質点が，半径 r の円軌道上を等しい速さ v_0 で変位する運動（2次元等速円運動）を考えよう．

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (12)

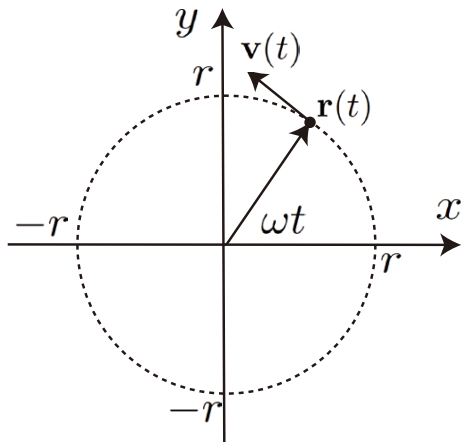


図 10: 2次元等速円運動. 時刻 t における質点の位置ベクトル $\mathbf{r}(t)$ と速度ベクトル $\mathbf{v}(t)$.

3.4. 運動の例：等速直線運動から円運動まで (13)

時刻 t における位置を $\mathbf{r}(t)$, 速度を $\mathbf{v}(t)$, 加速度を $\mathbf{a}(t)$ とし, 図 10 の様に座標系をとる. 質点の位置ベクトルと x 軸で張られる角度の時間変化率 (角速度という) は $\omega = v_0/r$ であり [教科書 p39 例題 3], これを用いると

- 位置は

$$\mathbf{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cos(\omega t) \\ r \sin(\omega t) \end{pmatrix} \quad (25)$$

と図 10 から幾何学的に求めることができる.

- 速度は, 位置の時間微分であるので

$$\mathbf{v}(t) = \dot{\mathbf{r}}(t) = \begin{pmatrix} -r\omega \sin(\omega t) \\ r\omega \cos(\omega t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -v_0 \sin(\omega t) \\ v_0 \cos(\omega t) \end{pmatrix}. \quad (26)$$

この結果は図 10 の速度ベクトルから幾何学的に求めることができる.

- 加速度は, 速度の時間微分であるので,

$$\mathbf{a}(t) = \dot{\mathbf{v}}(t) = \begin{pmatrix} -r\omega^2 \cos(\omega t) \\ -r\omega^2 \sin(\omega t) \end{pmatrix} = -\omega^2 \mathbf{r}(t) \quad (27)$$

となる. つまり等速円運動は, 等速であるのにも関わらず, 加速度は非零かつ中心方向を向いていることがわかる².

²等速であるが, 時々刻々と速度の「向き」が変わっているので加速度は零ではない!

目次

1 講義について

- 対面講義における注意事項
- 講義担当者と講義方針
- 講義のスケジュール
- シラバス

2 導入

- 物理学とは
- 力学の歴史
- 生命科学と物理学
- 本講義の目的：物理学を学ぶことにより身につけたい力

3 物体の運動学

- 運動の定量化：スカラー量とベクトル量
- 運動の定量化：単位系
- 運動を記述する基本概念：位置，速度，加速度
- 運動の例：等速直線運動から円運動まで

4 まとめ

4. まとめ

- 物理学を学ぶ意義：自然科学に共通する問題解決のアプローチ方法の習得。
- 質点の位置，速度，加速度の関係，ならびに，これらの微分（積分）による表現方法を学び（図 11），特に，自由落下，斜方投射，等速円運動などを具体的に扱った。

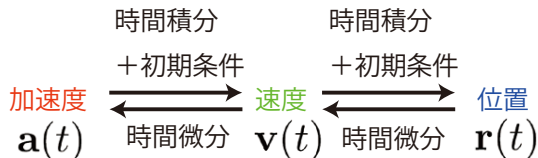


図 11: 位置，速度，加速度の関係。

次回の内容

- **運動の法則**：力の働きと表し方，運動の3法則（慣性の法則，運動方程式，作用・反作用の法則）を導入する。
- **質点の運動方程式の解法**：運動方程式を様々なタイプの微分方程式に落とし込み，これらを具体的に解く．特に，減衰運動を扱う。