

本科2期9月度（Aターム）1回目

Z会東大進学教室【体験授業用教材（抜粋版）】

高2東大物理導入



目次

はじめに	2
物理学の根底にあるもの	4
1章 力と運動 (1)	8
2章 力と運動 (2)	14
3章 摩擦力 (1)	20
4章 摩擦力 (2)	25
5章 力のモーメント	30
6章 仕事と運動エネルギー	36
7章 力学的エネルギーの保存 (1)	44
8章 力学的エネルギーの保存 (2)	50
9章 単振動 (1)	56
10章 単振動 (2)	61
11章 単振動 (3)	67
12章 力積と運動量	72
13章 運動量の保存	77

はじめに

1. Z会の教室 理科の指導方針

基本法則・基本知識を確実に理解し、法則の運用方法を身につけること、知識を体系化することを目標とします。また、選び抜かれた入試問題やオリジナル問題を通して、法則・知識の運用能力を高度に養成することを目指します。さらに、高校教育課程にとらわれず、各科目を学ぶのに適したカリキュラム・指導法を用い、公式や解法の暗記に頼らない問題解決能力を養成します。

2. 授業について

予習

予習では、テキストの「要点」に目を通してください。「要点」には、「今回のテーマ」と題し、その回に新たに学習する内容およびその内容に関連して知っておきたい事柄をまとめてあります。授業に先立ち、この部分を必ず熟読しておきましょう。**その回に扱う問題のテーマが把握できていれば、講義に集中でき、解法を誤りなく理解することが可能です。**

なお、特別に指示された場合以外は、**予習の段階で問題を解かないこと**。授業で扱う素材の新鮮さを損なわないようにするためです。

授業中

授業中は、**全神経を集中**して、講義に耳を傾けてください。板書の書き写しにとらわれていると、大切な内容を聞き逃してしまうことがあります。授業中にノートに書くのは復習の際に役立つメモと考えましょう。

また、授業では、必要に応じて問題演習の時間を設ける予定です。その際、問題がその場で解けなくても構いません。授業後の復習で**何を身につけるべきかをつかめればよい**のです。

※授業内ですべての問題を扱うとは限りません。

復習

復習は、**その日のうちに必ず行いましょう**。目標は、講師が黒板に展開した解法を独力で再現できるようになることです。復習の途中で分からなくなった場合は、その箇所を明確にして、積極的に質問をぶつけてください。このようにして一つ一つ解法を身につけていくことが、あらゆる問題を攻略するための真の実力となるのです。

添削課題

高2理科講座では、各タームに1回、添削課題を提出してもらいます。

理科の入試は、計算結果を書く問題だけではありません。結果に至る考え方や計算の過程を書く問題、論述問題、グラフや図を描く問題も課されます。自分の考えを整理して答案にまと

める練習を行い、さらに、答案を第三者に確認してもらうことで、理解不足の点を明らかにし、さらなる実力アップをはかりましょう。

3. テキストの構成

●要点

今回のテーマ：その回に扱う問題のテーマをまとめたものです。

●問題

授業で扱う演習用問題です。

●添削課題

添削課題の取り組み方については、スタッフ・講師からの指示もしくは受講マニュアルに従ってください。

●問題のレベルについて

Z会の教室のテキストでは、問題のレベルを★の個数によって3段階で表します。

★：基礎

★★：標準

★★★：応用（発展）

※映像授業をご受講の皆様

- ・映像で問題演習の指示が出たら、映像を停止して問題に取り組みましょう。
- ・授業をご受講いただく前に、各講座のオリエンテーション映像をご覧ください。

物理学 (physics) の根底にあるもの

要点

これから「物理」の講義を始めます。そもそも「物理」とはいかなる構造をもつ教科なのでしょうか。まずはそこから話を始めることにしましょう。

高等学校で扱う「物理」は4つの分野を柱として成り立っています。

- (1) 力学 (mechanics)
- (2) 電磁気学 (electromagnetism)
- (3) 熱力学 (thermodynamics)
- (4) 波動現象 (wave phenomena)

この4つの分野のうち最も重要な分野は「力学」です。「力学」は物理全体の基礎となるだけでなく、他の自然科学の基礎でもあると言われます。では「力学が基礎である」とは、どのような意味で「基礎」であるのでしょうか。

力学の思考法

「力学」に相当する英単語は「mechanics」です。「mechanics」というと、「力学」という訳語とは違った感じがしますね。「メカ」ときくと、第一に思い浮かぶのは「機械」だと思います。すなわち「mechanics」とは「機械の学」、さらに言葉を補って述べると次のようになります。

「力学」 = mechanics
= 自然現象を機械の働きと同じにとらえる学問体系

ちなみに「mechanical」といった場合、物理では「機械的」といわずに「力学的」という訳語を用いることが多いです。

「機械」は1つ1つの「部品」を組み合わせてでき上がります。このため、「機械」の働きを設計するには、その「機械」を構成する1つ1つの「部品」についてあらかじめ十分に知っておかなければなりません。逆に、1つ1つの「部品」について十分に知っていれば、それらを組み合わせることで、目的とする働きをするような「機械」を構成できます。このような見方を「要素還元主義」といいます。「力学」は典型的な要素還元主義の学問であり、まさにこの事実によって物理のみならず他の自然科学の基礎であるといわれるのです。

「力学」 = mechanics
= 1つ1つの部品を組み合わせた総体として全体をとらえる学問体系

1つ1つの「部品」となる物体に分けてとらえると、次の2つのことをどうしても知らねばなりません。

- (1) 注目する物体自体には、どのような性質が備わっているのか。
- (2) 物体どうしは相互にどのような影響を及ぼしあうのか。

「力学」の基本法則は、以上に述べた見方と問題意識に立って歴史的に得られたものといえます。それでは、前口上はこれくらいにして、「力学」の本編にとりかかることにしましょう。

力学の基本法則

「力学」の基本法則は3つに整理されています。この3つの基本法則を順に紹介していきましょう。

(1) 慣性 (inertia) の法則

注目する物体がその周囲に存在するほかの物体からいかなる作用も受けない状況では、注目する物体の運動状態を表す「速度 (velocity)」は変化しない。

これは、注目する物体に備わった性質についての言明となっています。「注目する物体が一定の速度を保つのは、その物体に速度を保つ性質がそもそも備わっているからだ!」と考えるわけです。この性質を「慣性」とよぶことにします。

なお、「慣性の法則」はこの後で述べる「運動方程式」を適用するための前提と位置づけることができます。

(2) 運動 (motion) の法則

注目する物体の運動状態が変化して「加速度 (acceleration)」を生じるときは、注目する物体はその周囲に存在する他の物体から「力」を受けていて、生じる加速度は受ける力と比例している。

これは、「力」という単語を「物理の専門用語として意味を制限する」という宣言です。物体の運動状態を変化させるような「外部からの働きかけ」を表すときのみ「力 (force)」という用語を使うことにして、それ以外の意味では使わないように気をつけてください。「力」は外部から作用するものであって、「物体が力を持っている」というような表現はナンセンスです。

以上の約束のもとで、物体が受ける力 \vec{F} を生じる加速度 \vec{a} の関係を表現した方程式を「運動方程式 (equation of motion)」とよびます。

$$\text{運動方程式} \quad \dots \quad m\vec{a}(t) = \vec{F}(t)$$

運動方程式は「力 \vec{F} を受けたことが原因となって加速度 \vec{a} を生じる」ことを表しています。「力 \vec{F} を受けること」と「加速度 \vec{a} を生じること」が原因と結果の関係にあるということも可能でしょう。

「因果関係」という場合に1つだけ注意しておくべき点があります。それは「時間的な前後関係」との区別です。日常の表現では「原因」が「結果」に必ず先立っていて、「因果関係」という表現の裏に「時間的な前後関係」が含まれていますね。ところが運動方程式の主張するのは

「時刻 t で受ける力 \vec{F} によって、同じ時刻 t での加速度 \vec{a} がきまる」ということなのです。そこには「時間的な前後関係」がありません。この違いは十分にこころしておいてください。

ところで、加速度 \vec{a} に掛け算されている「 m 」ですが、これは「物体が何 kg なのか」を表していて「質量 (mass)」とよびます。質量 m は物体を構成する物質の多寡を表しているのです。物体自体に備わっている量の 1 つです。これに対して、「重量 (weight)」は物体が受ける重力の大きさです。重力は物体が地球という外部から受ける作用なので、重量は物体自体に備わっている量ではありません。この 2 つの用語の使い分けにも気をつけておきましょう。

(3) 作用・反作用 (reaction) の法則

注目する物体に力が作用するとき、この力を及ぼしてくる相手の物体は「反作用」の力を受けるが、これら 2 つの力は同一直線上で反対向きに働き、大きさは等しい。

これは直ちに納得できない人もいることでしょう。この法則の真の意味は、力学の学習が進んで、「運動量の保存」および「重心の速度」を扱える段階になったときにはじめて分かります。残念ではありますが、今日のところはこれ以上の深入りをしないことにします。

MEMO

1章 力と運動 (1)

要点

今回のテーマ

一定加速度の運動の具体例として、投射された物体の運動に注目し、時刻 t における位置を具体的に求めること。

物体の運動を数式化して取り扱うために、3つの記号を準備します。

- (1) 注目する量 X の変化分 (differential) ... ギリシャ文字 Δ を用いて ΔX
- (2) 注目する量 X の極限值 (limit) ... 記号 \lim を用いて $\lim X$
- (3) 注目する量 X の合計値 (summation) ... ギリシャ文字 Σ を用いて ΣX

ここでは x 方向の運動に注目して、これらの記号がどのように利用できるのかについて整理しておくことにします。

まず、「時刻 t における速度」を考えてみましょう。「時刻 t における速度」を確定するためには2つの手続きが必要です。

- ① 微小な時間 Δt で、その間の変位 Δx を割ること ... $\frac{\Delta x}{\Delta t}$
- ② 注目する微小な時間 Δt を 0 に近づけること ... $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$

この2つの手続きをまとめて書くと次のようになります。

$$\text{時刻 } t \text{ における速度 (velocity) } \cdots v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

同じ手順をふむことで、「時刻 t における加速度」を確定することができます。

- ① 微小な時間 Δt で、その間の速度変化 Δv を割ること ... $\frac{\Delta v}{\Delta t}$
- ② 注目する微小な時間 Δt を 0 に近づけること ... $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$

この2つの手続きをまとめて書くと次のようになります。

$$\text{時刻 } t \text{ における加速度 (acceleration) } \cdots a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

「極限」の記号 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$ をいちいちつけるのは面倒なので、 Δt を「十分に微小な時間」と考えることにして、 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$ を省いてしまうこともあります。厳密さにこだわる人にとって $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$ を省くことは気持ちが悪いかも知れませんが、物理では、数学と違って「数学的な厳密性」が最優先ではないのです。

ここで、今回の目標を確認しておくことにしましょう。

一定加速度の運動に注目して、時刻 t における位置を具体的に求めること。

この目標を達成するための手段として「 $v-t$ グラフ」を利用することができます。 $v-t$ グラフは次の2つの特徴を備えています。

- (1) グラフの「傾き」 $\dots \frac{\Delta v}{\Delta t}$ すなわち加速度
- (2) グラフと t 軸の間の「面積」 $\dots \sum(v\Delta t)$ すなわち変位

それではこれらの特徴をいかして2方向それぞれの運動を考えることにより、投射された物体の運動を考えていくことにしましょう。

問題

■演習

★

【1】

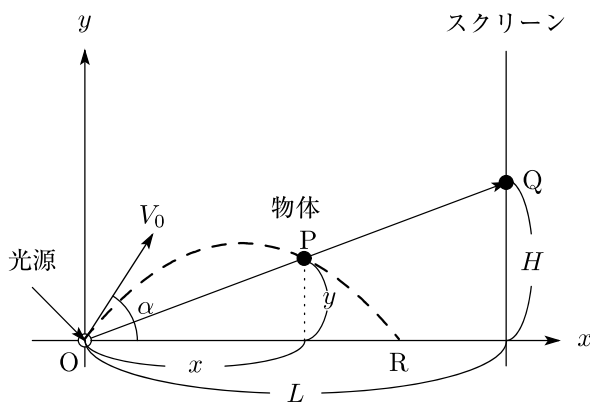
空気の抵抗を無視し，重力加速度の大きさを g とし，次の設問に答えよ．

I 図のように，水平方向に x 軸，鉛直上向きに y 軸をとる．質量 m の物体を，地表上の原点 O から仰角 α で大きさ V_0 の初速度で投げたところ，物体は地表上の点 $R(r, 0)$ に達した．物体は $x - y$ 平面内を点 R まで運動するものとし，物体を投げてから経過した時間を t とする．

- (1) 初速度の x 成分， y 成分を求めよ．
- (2) 時刻 t での速度の x 成分， y 成分を求めよ．
- (3) 時刻 t での物体の位置 $P(x, y)$ を求めよ．

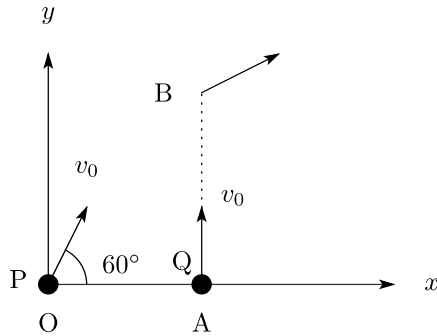
II 次に，図のように，原点 O に光源を置き，原点から距離 $L(L > r)$ だけ離れた位置に， x 軸に垂直にスクリーンを置いた．物体を運動させたとき，スクリーン上に物体の影が現れ，影は等速直線運動で落下するように見えた．

- (4) 点 $P(x, y)$ に物体があるとき，スクリーン上の点 $Q(L, H)$ に物体の影ができた． H を x, y, L で表せ．
- (5) 物体の位置 $P(x, y)$ は (3) で求められている．これより，時刻 $t(t > 0)$ での物体の影の高さ H を α, V_0, t, g, L を用いて求めよ．
- (6) スクリーン上の影の速さを求めよ．



★
【2】

図に示すように、 O を原点とし、水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸をとる。質量 m の小球 P を O から x 軸と 60° の角をなす方向に初速 v_0 で投げ上げた。少し遅れて、質量 $\frac{m}{3}$ の小球 Q を x 軸上の A 点から P と同じ初速で鉛直上方に投げ上げた。 Q は上昇中に、 P の鉛直方向の速さがゼロになった B 点で P と衝突し、合体して運動を始めた。空気抵抗を無視し、重力加速度の大きさを g として、次の問いに答えよ。



- (1) P が O から B 点に達するまでに要した時間を求めよ。
- (2) B 点の高さを求めよ。
- (3) P と衝突する直前の Q の速さを求めよ。
- (4) Q は P よりどれほど遅れて投げ上げられたか、その時間を求めよ。

(東海大)

★★

【3】

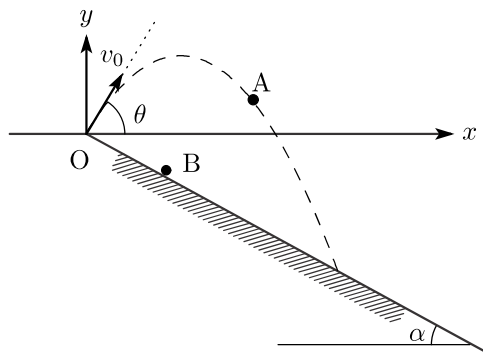
次の文章の(ア)から(コ)に適切な数式または数値を入れよ。

図のように、水平面となす傾斜角が α の斜面があり、斜面上の1点Oを原点として、 x 軸と y 軸をそれぞれ水平方向と鉛直方向にとる。 xy 平面(紙面)は斜面に垂直である。重力加速度の大きさを g とする。また、斜面はなめらかである。

- (1) 大きさの無視できる質量 m の物体Aを、時刻 $t = 0$ に初速度の大きさ v_0 で、図のように、原点Oから x 軸となす投射角 θ で xy 平面内に投げ上げた。ここで、投射角は $0^\circ < \theta < 90^\circ$ とする。物体Aが斜面に衝突するまでの運動を考える。時刻 t での物体Aの速度の x 成分は(ア)、 y 成分は(イ)である。また、このときの x 座標は(ウ)、 y 座標は(エ)である。
- (2) 原点Oに大きさの無視できる質量 M の物体Bをおき、時刻0sに静かに離すと斜面をすべりはじめた。時刻 t での速さは(オ)である。このときの原点Oから物体Bまでの距離は(カ)であり、物体Bの x 座標は(キ)、 y 座標は(ク)である。
- (3) 時刻0sに、初速度の大きさ v_0 、投射角 θ で、原点Oから物体Aを xy 平面内に投げ上げた。それと同時に、原点Oに物体Bをおき静かに離した。時刻 t に物体Aと物体Bが斜面上で衝突するための条件は、

$$\begin{cases} (ウ) = (キ) \\ (エ) = (ク) \end{cases}$$

である。これらの式を連立させて解くと、 v_0 を含まない $\tan \theta =$ (ケ)の関係が求まる。この関係から、物体Aと物体Bが斜面上で衝突するための条件は、 $\alpha + \theta =$ (コ)である。この条件が満たされていれば、 v_0 がどんな値であっても物体Aと物体Bは斜面上で衝突する。



(北海道大 改)

★★
[4]

空欄に適する式または数値を答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

I 図1のように、両端 B, C の角がそれぞれ 60° , 30° の台 ABC が、水平面上の x 軸に沿って固定されている。A を通る鉛直線を y 軸にとり、 x 軸と y 軸との交点を原点 O とする。また、水平面からの A の高さを h とする。

時刻 $t = 0$ に、質量 m の小球 P を初速 v_0 で、B→A の向きに沿って A から投射した。

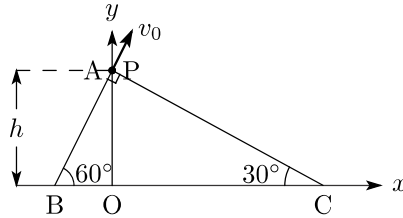


図1

(1) 台または水平面に到達する前の時刻 t における P の位置は、 $x = (\text{ア})$, $y = h + (\text{イ})$ と表される。

(2) P が A から直接 C に落下するためには $v_0 = (\text{ウ}) \times \sqrt{gh}$ でなければならない。
このとき、P が C に達する時刻は $(\text{エ}) \times \sqrt{\frac{h}{g}}$, C に達する直前における P の速さは $(\text{オ}) \times \sqrt{gh}$ である。

II 今度は、図2のように、時刻 $t = 0$ に P を初速 v で B→A の向きに沿って A から投射すると同時に、C から質量 M の小球 Q を、鉛直面内で x 軸の負の向きから 60° をなす向きに初速 V で投射した。

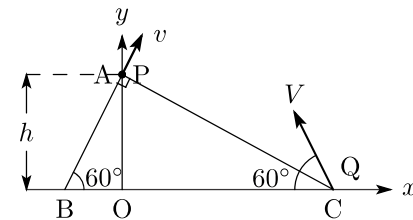


図2

(3) Q が台または水平面に到達する前の時刻 t における Q の位置は、 $x = (\text{カ})$, $y = (\text{キ})$ と表される。

(4) P と Q が衝突するためには、 $V = (\text{ク}) \times v$ でなければならない。このとき、衝突地点の x 座標は $(\text{ケ}) \times h$ である。

体験授業をご受講いただく皆さんへ

体験授業をお申し込みいただきありがとうございます。

Z会の教室の授業は、学力を効果的に上げていくためのカリキュラム・内容となっております。次回以降もぜひ継続して受講することをおすすめします。

《体験授業後の流れ》

お申し込み方法

引き続き継続して受講される場合は、各教室窓口・お電話でお申し込みが可能です。
※体験授業終了直後に窓口で申し込んでお帰りになることもできます。
※認定が必要な講座をご希望の方はテストを受験していただく場合があります。
※予習が必要な講座は次回までの予習がありますので、余裕を持ってお申し込みください。
※本科授業は、「クラス授業」「映像授業」が選べます。
※映像授業の体験も承ります。一部の講座では映像授業のご用意がありません。予めご了承ください。

通話料
無料

0120-2828-76

月曜日～土曜日 12:00～20:00
(休室日を除く)

各教室電話番号

御茶ノ水教室	03-5296-2828	池袋教室	03-5985-2828
渋谷教室	03-5774-2828	横浜教室	045-313-2828
新宿教室	03-5304-2828	葛西教室	03-5878-0844

月曜日～土曜日
14:00～21:00
(休室日を除く)

お申し込み後の流れ

お申し込みから1週間以内に手続書類(入会書類、お支払いについて、会員証など)をお送りします。

※受講料のお支払い期日が次回授業よりも後の場合でも、次回授業へのご参加は可能です。
※体験授業後にご受講いただく場合、「Z会の教室」では「月度」単位で受講料を請求させていただいているため、体験授業分も受講料をご請求する場合があります。くわしくは教室スタッフまでお問い合わせください。

お申し込み後、テキストを各教室窓口にてお受け取りください。

※葛西教室にて高1・高2講座・受験講座、Z会進学教室大学受験部立川教室にて高1・高2・受験生講座を開講しております。

講座選択に迷ったら…

学習相談は随時承っています。お電話でのご相談も可能です。

受講に際して不明点、不安な点がある方は、各教室の窓口、または上記番号までお気軽にお問い合わせください。

Z会の教室の受講サポート — 万全のシステムで効果的な学習をサポートします —

1. 講師への質問

授業前後の時間や休み時間を利用して、担当講師に直接質問をすることができます。
疑問点をそのままにすることなく、その場で解消することができます。

2. 振替受講

本科のクラス授業で欠席する回の授業を、同一週・同一講座の他のクラスで振替受講することができます。
他教室への振替、映像授業(教室・自宅での受講)への振替も可能です。前日までに各教室窓口、お電話にてお申し出下さい。

※振替手続は一週前の月曜から可能です。

3. 進路・学習・入試相談

各教室の学習アドバイザーが皆さんのご相談を随時承っています。

4. 自習室

本科生の方は休室日を除いて、全教室の自習室をいつでもご利用いただけます。