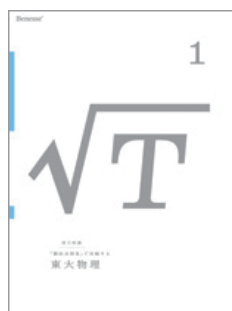


東大特講√T紹介

東大入試での合格ライン突破に向けた3か月完成集中講座。

東大入試ならではの問題の正しい「解法ルート」が身につく、今までになかった東大合格の確実がある。

開始月自由 3か月完成 1講座から



【原理帰着】で攻略する東大物理

【受講期間】

3か月(3回)完成・毎月添削課題つき

【受講費】

15,000円(3回分一括払い・消費税込)

【お届け教材】

1巻:テキストB5版約145P、解答解説約45P

2巻:テキストB5版約110P、解答解説約30P

3巻:テキストB5版約110P、解答解説約30P

添削課題: 3回

※各月(各回)テキスト1冊、添削課題1回をお届け。

【制作チーム】

四天王寺中・高等学校 川内 正先生

聖光学院中・高等学校 寺田 義昌先生 ほか

※所属は※2008年4月現在

パターン習得では解けない、物理の本質を問う出題に対して、原理の積み重ねを見抜いて解く力を3か月(3回)で身につける。

東大物理では、受験生が物理の本質を理解しているかどうかを試すために、問題集などでは目にしないような現象を扱ったり、通常問われることのない問われ方で出題される。つまり過去に類似の問題を経験したことがないために、解法の見通しが立てられなくなりがちである。しかし、物理は基本事項や原理の積み重ねで成り立っており、初見の問題でもどの原理がどのように組み合わせられているのかを見抜ければ、あとは正確に立式して解いていくことで解答が導ける。本講座では、問題を読み解いて原理の積み重ね方を見抜く方法、すなわち「原理帰着」の手法を学び、徹底してトレーニングすることによって身につけ、東大物理を攻略できるようにする。

特長

●「5つの視点」を使った、「原理帰着」の仕方をトレーニング

原理帰着のためには、例えば「原因と結果の因果関係を探る」など視点をもったうえで問題を解釈するトレーニングが大切。この教材では、その視点を5つに絞り、解説する。結果、見たことがないと思われた設定や現象を含んだ、すぐには解き方がわからない問題でも、既知の基本事項や原理の組み合わせであることを正しく分析でき、知っている法則や公式が適用できるようになる。また、この視点は力学や電磁気などの分野を超えて共通して使えるものであり、その応用方法を問題演習を実践しながら学ぶことができる。このように共通性で問題を捉え整理することが、物理の本質的な理解に有効である。

●パターン学習でなく、物理の本質から思考する力を養成する

東大物理は、自然現象を物理的原理の積み重ねで理解しようとする物理学の基本姿勢を問っている。一般的に、物理の受験対策は様々な形式の問題演習を積み重ねることと言われがちだが、それだけでは、こういった基本姿勢を身につけるには不足である。本講座は、「原理帰着」して思考するという、まさに物理学の基本姿勢そのものから身につけることを狙った教材である。問題の選定基準・解答解説の指針も、すべてこの姿勢を貫いている。

第1章 物体の運動①

運動方程式(束縛条件の利用)

東大レベル完成問題

図1-1のように水平面に対して 45° の角度をなす斜面上に質量 M の直角二等辺三角形の物体Aを斜辺の面が斜面と接するように置く。直角二等辺三角形の等しい2辺の長さを d とする。Aの上面に質量 m で、大きさの無視できる小さな物体Bを置く。斜面上に原点Oをとり、水平右向きに x 軸、鉛直下向きに y 軸をとる。はじめ、Aは上面が $y=0$ となる位置にあり、BはAの上面の右端、すなわち、 $(x, y)=(d, 0)$ の位置にある。空気の抵抗および斜面とAの間の摩擦は無視できるものとする。重力加速度を g とする。

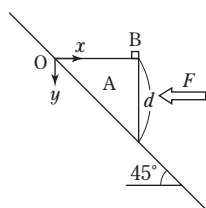


図1-1

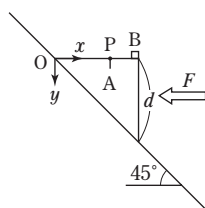


図1-2

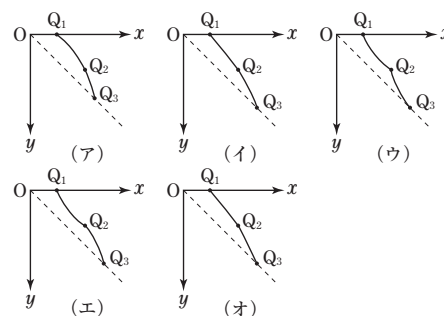


図1-3

I AとBの間の摩擦も無視できる場合に以下の間に答えよ。

- (1) 図1-1のようにAの右面に水平左向きに力 F を加えたところ、2つの物体は最初の位置に静止したままであった。 F の大きさを求めよ。
- (2) 力 F を取り除いたところ、AとBは運動を開始した。その後、BはA上面の左端に達した。この瞬間のBの y 座標を求めよ。
- (3) BがA上面の左端に達する直前のBの速さ v を求めよ。

II 図1-2に示すようにA上面の点Pを境にして右側の表面が粗く、この部分でのAとBの間の静止摩擦係数および動摩擦係数はそれぞれ μ, μ' (ただし $\mu > \mu'$)である。A上面の点Pより左側は、なめらかなままである。問I(1)と同様に、力 F を加えて両物体を静止させた。力 F を取り除いた後の両物体の運動について以下の間に答えよ。

- (1) μ が十分に大きい場合、BはA上面を滑り出さず、両物体は一体となって斜面を滑りおりる。このときの両物体の x 方向の加速度 a_x と y 方向の加速度 a_y を求めよ。
- (2) μ がある値 μ_0 より大きければBはA上面を滑り出さず、小さければ滑り出す。その値 μ_0 を求めよ。

- (3) μ が μ_0 より小さい場合に, B が最初の位置 $(x, y) = (d, 0)$ から A 上面の左端に達するまでの軌跡として最も適当なものを図 1-3 の(ア)~(オ)の中から一つ選べ。ここで Q_1, Q_2, Q_3 はそれぞれ, B の最初の位置, B が A 上面の点 P に達した瞬間の位置, B が A 上面の左端に達した瞬間の位置を表す。また破線は直線 $y = x$ を示す。

(2004 東京大 前期)

I (3)

解説

Bは鉛直方向にのみ等加速度直線運動をする(自由落下ではない)。このとき、BはAから鉛直上向きに垂直抗力を受けているので重力との合力を求め、運動方程式を立て、加速度を求める。また、視点2 変わらないもの・等しいものに着目する を使って次のようなこともいえる。

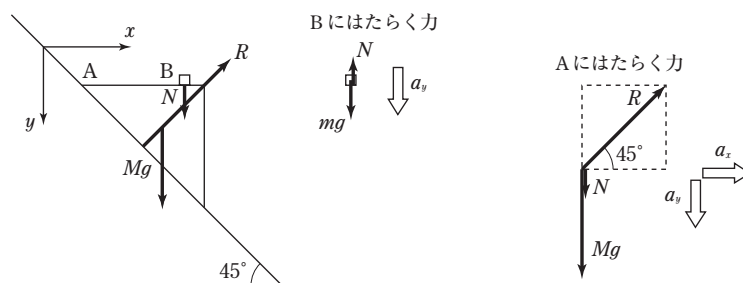
ここへ原理帰着

- ・離れずに運動する2つ以上の物体の、ある方向の変位、速度、加速度は互いに等しい。
(物体どうしが互いに接触しながら運動するとき、それぞれの物体の速度、加速度の間に加えられる制限がある。このことを「束縛条件」という。)

したがって、AとBは離れずに運動することから、AとBの鉛直方向の加速度は等しいことも考える。

構築

Aが斜面から受ける垂直抗力を R 、BがAから受ける垂直抗力を N とし、AとBにはたらく力を描くと下図のようになる。AはBから垂直抗力 N を受ける(作用反作用の法則)。



Aの x 方向の加速度を a_x 、AとBの y 方向の加速度を a_y とする。

$$Aのx方向の運動方程式は \quad Ma_x = R \cos 45^\circ \quad \cdots \textcircled{4}$$

$$Aのy方向の運動方程式は \quad Ma_y = Mg + N - R \sin 45^\circ \quad \cdots \textcircled{5}$$

$$Bのy方向の運動方程式は \quad ma_y = mg - N \quad \cdots \textcircled{6}$$

と書ける。

ここで、Aは傾角 45° の斜面上をすべり落ちるので、 $a_x = a_y = \frac{a}{\sqrt{2}}$ が成り立つ。このことを考えて、

$$\textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} \text{式より、} \quad (2M + m)a_y = (M + m)g \quad \text{であり、}$$

$$a_y = \frac{M + m}{2M + m} g \quad \text{と求められる。}$$

Bは y 方向には等加速度直線運動をすることから、 $v^2 - 0^2 = 2a_y d$ となり、

$$v = \sqrt{\frac{2(M + m)}{2M + m} g d} \quad \text{と求められる。}$$

【別解】

物体 A, B にはたらく力は重力と斜面から A にはたらく垂直抗力, A と B の間にはたらく垂直抗力である。N が B にする仕事は $-Nd$, N が A にする仕事は Nd で, これらを合わせると 0 になるので, A と B の全体で力学的エネルギーが保存される。

求める B の速さを v とすると, A と B は離れずに運動しているので, A の y 方向の速さも v である。また, A は傾角 45° の斜面上をすべっているので, x 方向の速さも v に等しい (視点2 変わらないもの・等しいものに着目する)。したがって, A の速さは $\sqrt{2}v$ と書ける。

力学的エネルギー保存の法則より,

$$(M+m)gd = \frac{1}{2}M(\sqrt{2}v)^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{であることから,}$$

$$v = \sqrt{\frac{2(M+m)}{2M+m}gd} \quad \text{と求められる。}$$

II (1)

解説

このとき A と B の間には静止摩擦力がはたらいており, B は A と一体となって運動する (物体 B は物体 A 上をすべらない)。そして, 両物体の x, y 方向それぞれの加速度が等しいことを考慮して, それぞれの物体の x, y 方向に運動方程式を立てる。なお, B が A 上ですべりはじめるとは考えていない (静止摩擦力は, 最大摩擦力より小さい) ので, 静止摩擦力の大きさは f としておく。視点1 原因と結果の因果関係を探る を使って, 静止摩擦力の向きを考えよう。

この場合, 「静止摩擦力がはたらく」ことが原因となって「A と B が一体となって運動する」という現象が起こる (結果)。このようなとき, もし「摩擦力がはたらいていなければ」と考えると, B は A 上をすべって水平方向には動かない (A 上の観測者から見ると B は A 上を左にすべる) ことが容易に想像できる。すなわち, B が水平方向右向きに動きはじめる (右向きの加速度をもつ) ためには, 右向きの力が必要であり, B が A から受ける摩擦力 (この場合はすべらないので「静止摩擦力」) がその力となるのがわかる。また, 作用反作用の法則より, A は B から左向きに静止摩擦力を受けることになる。

ここへ原理帰着

- ・摩擦力は, 物体がすべろうとする向きと逆向きにはたらく。
- ・2つの物体間で互いに及ぼしあう力では, 作用反作用の法則が必ず成り立つ。

したがって, B にはたらく静止摩擦力の向きは右向きであり, A にはたらく静止摩擦力は左向きである。さらに物体 A が傾角 45° の斜面上をすべるので, x 方向と y 方向の加速度の大きさも等しい。

発信

羅線のみが引かれている東大の解答用紙のスペース内に、「根拠・立式・答え」を書いて合格答案にまとめる方法を学ぶ。

答案用紙にこうまとめよう

I (1) Aが斜面から受ける垂直抗力を R_0 , BがAから受ける垂直抗力を N_0 とすると,	から受ける垂直抗力を N , AとBの間にはたらく静止摩擦力の大きさを f とする。
物体Aにはたらく力の水平方向のつりあいより,	Aの x 方向の運動方程式は,
$R_0 \cos 45^\circ - F = 0$	$Ma_x = R \cos 45^\circ - f$
鉛直方向のつりあいより,	Aの y 方向の運動方程式は,
$R_0 \cos 45^\circ - N_0 - Mg = 0$	$Ma_y = Mg + N - R \sin 45^\circ$
物体Bにはたらく力のつりあいより,	Bの x 方向の運動方程式は, $ma_x = f$
$N_0 - Mg = 0$	Bの y 方向の運動方程式は, $ma_y = mg - N$
以上の式から, $F - (M+m)g$ …(答)	ここで, $a_x = a_y$ であるので, $a_x = a_y = \frac{1}{2}g$ …(答)
(2) Bには水平方向の力がはたらかないので, Bは鉛直下向きに運動する。また, Aは直角二等辺三角形であるから, $y = d$ …(答)	(2) 前問(1)の結果より, $f = m \cdot \frac{1}{2}g$, $N = \frac{1}{2}mg$ と求められる。
(3) Aが斜面から受ける垂直抗力を R , BがAから受ける垂直抗力を N , Aの x 方向の加速度を a_x , AとBの y 方向の加速度を a_y とする。	ここで, AとBが一体となって動く最小の静止摩擦係数が μ_0 であるので,
Aの x 方向の運動方程式は,	$m \cdot \frac{1}{2}g = \mu_0 \cdot \frac{1}{2}mg$ より, $\mu_0 = 1$ …(答)
$Ma_x = R \cos 45^\circ$	(3) Pまでの間はBには x 方向に動摩擦力, y 方向に重力と垂直抗力の一定の力がはたらき, それぞれの方向に等加速度運動をする。初速度は0であるので軌跡はその合成した加速度の方向への直線となる。
Aの y 方向の運動方程式は,	Pを通過した後は x 方向に動摩擦力がはたらかず, Bの加速度は y 方向のみとなる。Pを通過したとき x 方向に速度をもっているため, その軌跡は放物線を描く。よって, グラフの形は (イ)。
$Ma_y = Mg + N - R \sin 45^\circ$	
Bの y 方向の運動方程式は $ma_y = mg - N$	
$a_x = a_y$ であり, Bは等加速度運動をすることから,	
$v^2 - 0 = 2a_y d$	
$v = \sqrt{\frac{2(M+m)}{2M+m}gd}$ …(答)	
II (1) Aが斜面から受ける垂直抗力を R , BがA	

合格答案のポイント!

- 未知の物理量を仮定したことを記し, 運動方程式(力のつりあいの式)を立てていく。
- 解答が導き出される根拠を書く。
- II(3)のようにグラフを選択する問題についても, 答えだけでなく, その根拠を必ず記す。(Pを通過する前後における x , y 方向それぞれにはたらく力を書き, それぞれの方向の運動を書いておかなければならない。)