

物理学IB 2019年度期末試験

2019年7月31日

注意

1. 開始の合図があるまで、問題・解答用紙を開いてはいけません。
2. 問題は表紙の裏から始まり、両面に印刷されています。全部で3枚(表紙1ページ、問題5ページ)です。問題は [1]～[18] まであります。この通りになっていない場合は速やかに申し出て下さい。
3. 学科と学生番号、名前を下の記入欄に忘れずに記入して下さい。
4. 試験開始後30分経てば退室してかまいません。
5. 電卓は使用不可です。携帯電話も机の上に置かないで下さい。
6. 答えが合っていれば[求め方] が白紙でも満点ですが、答えが間違っている場合は[求め方] の記述が部分点の対象になります。

学科 _____

学生番号: _____

氏名: _____

[1] 剛体の重心とはどのような点が説明せよ。図を用いてもよい。

②

そこで支えるとつり合う点,
すべての部分に働く重力が、その点に作用していると考えて良い点

[2] 地表面すれすれの人工衛星の速さ(第1宇宙速度)を求めよ。地球の質量 M_E 、地球の半径 R_E 、重力加速度 g 、重力定数 G のうち、必要なものを用いてよい。

[求め方]

重力が向心力となって円運動するので

$$m \frac{v^2}{R_E} = mg$$

重力を万有引力で表現する別解あり

$$\sqrt{GM_E/R_E}$$

$$v^2 = gR_E$$

答: ② $\sqrt{gR_E}$

[3] 大砲を発射して、地球の重力圏から脱出させて、無限の遠方まで到達ための初速 v_0 の最小値(脱出速度)を求めよ。空気抵抗は無視し、力学的エネルギーは保存するとせよ。自転、公転、太陽の重力は無視し、地球の質量 M_E 、地球の半径 R_E 、重力加速度 g 、重力定数 G のうち、必要なものを用いてよい。

[求め方]

$$E = -G \frac{mM_E}{R_E} + \frac{1}{2}mv_0^2 \geq 0$$

別解 $\sqrt{2gR_E}$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 \geq G \frac{mM_E}{R_E}$$

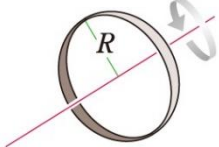
$$v_0^2 \geq \frac{2GM_E}{R_E}$$

② $\sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}}$

答:

[4] 半径 R 質量 M の円環の、重心をとおり円環に垂直な軸(図参照)のまわりの慣性モーメントはいくらか。

慣性モーメントの定義がわかっているれば、計算しなくてもわかります。

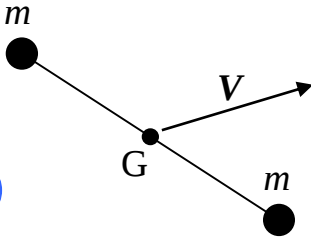


合計⑦

① MR^2

答:

[5] 右のようなバトンが回転しながら(重心Gが)速度 V で運動している。
 バトンの両端には質量 m の球がついている。棒の質量は 0 とし、
 重力は働いていないとする。



(a) 重心の運動エネルギーを求めよ。
 [求め方]

$$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2} 2mV^2 = mV^2 \quad \text{答: } mV^2 \quad \textcircled{2}$$

(b) バトンの回転の角速度 ω とし、棒の長さを l とすると
 回転運動のエネルギーはいくらか。球の大きさは無視せよ。
 [求め方]

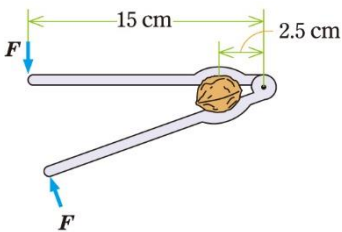
換算質量 $= m/2$ 質点の重心に対する速度 $|\mathbf{v} - \mathbf{V}| = r\omega = \frac{1}{2} l\omega$
 相対速度 $= l\omega$
 相対運動の運動エネルギー $= \frac{1}{2}(m/2)(l\omega)^2 = \frac{1}{4} ml^2\omega^2$

$$\sum_i \frac{1}{2} m |\mathbf{v}_i - \mathbf{V}|^2 = 2 \times \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{2} l\omega \right)^2 = \frac{1}{4} ml^2\omega^2$$

 ② $\frac{1}{4} ml^2\omega^2$
 答: $\frac{1}{4} ml^2\omega^2$

(c) バトンの全運動エネルギーを求めよ。
 [求め方]

① 答: $mV^2 + \frac{1}{4} ml^2\omega^2$



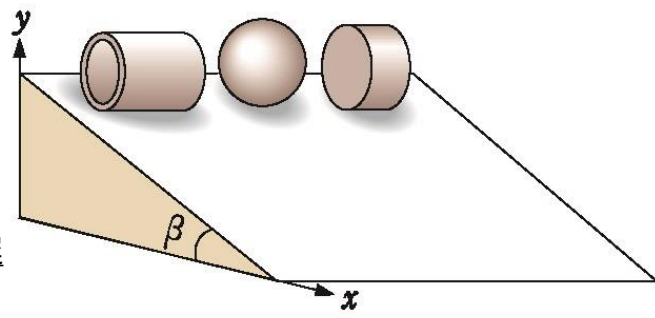
[6] ある種類の木の実を割るには、その両側から 3 kgf 以上の力を加える必要がある。下の図道具を使うと、木の実を割るために必要な力 F の大きさはいくらか。

① 答: 0.5 kgf

[7] 体重 100 kg の宇宙飛行士(含宇宙服)が 30 m の綱で 900 kg の宇宙船と結ばれている。飛行士と宇宙船は静止しており、綱はまっすぐ(直線)とする。飛行士が綱をたぐりよせて宇宙船と一緒にになった。宇宙船はこの間にどれだけ動くか(無重量状態とする)。

① 答: 3 m

[8] 右図のように斜面上で円筒(中は中空)と球と円柱を転がす。速く転がる順に並べよ。



①
 速 ← 球 円柱 円筒 → 遅
 合計⑧

[9] こま(やタイヤ)の回転が高速になるほど、回転の軸は変わりにくくなる(安定する)。例:ジャイロ
その理由を説明せよ。図を用いてもよい。

②

角運動量 L は、 $I\omega$ なので速く回転すると、角運動量が大きくなる。
こまやタイヤに力のモーメント N が Δt の時間作用すると、
角運動量 L は回転運動の法則により $N\Delta t$ だけ変化するが、
 L が大きい(速く回転する)と、 L の向きの変化も小さくなり、安定する。

[10] 質量 100 g の物体の重さをエレベータの中でばね秤で測ったら 120 gf (120グラム重)であった。このエレベータの加速度の向きと大きさはいくらか。

答: 向き: **上向き** ① 大きさ: **2 m/s²** ①

[11] 球が斜面を転がり落ちるのと、同じ傾きの摩擦の無い斜面を滑り落ちるのでは、どちらが速いか。
理由も含めて答えよ。

滑り落ちる方が速い ①

滑り落ちる場合は、物体の位置エネルギーがすべて重心運動のエネルギーになるが、
転がり落ちる場合は、エネルギーの一部が回転のエネルギーになってしまうから

①

[12] 角運動量保存則を例を挙げて説明せよ。図を用いてもよい。

②

地球の太陽のまわりの角運動量は保存している。
地球には太陽との間の万有引力のみが作用しているが、
万有引力の作用線は太陽を通るので、太陽のまわりの万有引力のモーメント N は
0 であり(万有引力は中心力)、回転運動の法則より、角運動量 L は一定となる。

[13] 慣性系・非慣性系とはそれぞれ、どのような系か説明せよ。

[14] 一様な円柱(半径 R , 質量 M) のまわりに糸を巻きつけ、図のように糸の端を天井に固定してはなした。糸の張力を S 、重力加速度の大きさを g とする。

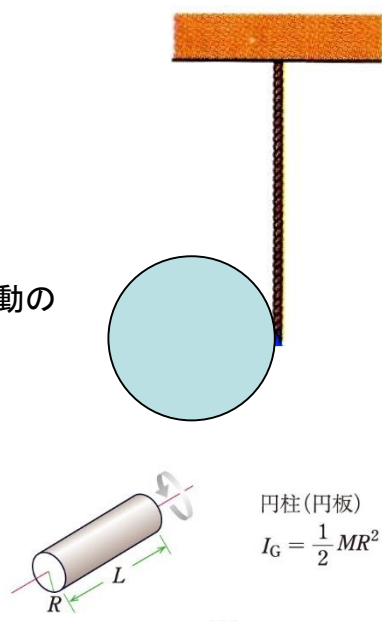
(a) 下向きを x 軸の正の向きとして、円柱の重心の x 座標の X に関する運動方程式をかけ。

$$M \frac{d^2 X}{dt^2} = Mg - S \quad \textcircled{1} \quad S - Mg: 0.8$$

答: _____

(b) 円柱の重心のまわりの回転角を θ とし(反時計回りが正)、円柱の回転運動の方程式をかけ。右図の円柱の慣性モーメントの公式を用いてよい。

$$\frac{1}{2} MR^2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} = SR \quad \textcircled{1}$$



答: _____

(c) X と θ の関係式を書け。ただし、 $\theta = 0$ のとき、 $X = 0$ とする。

答: $X = R\theta \quad \textcircled{1}$

(d) 糸の張力 S と円柱の重心の加速度 A を求めよ。
[求め方]

1 or 2 回微分した形でもOK

$$\frac{1}{2} MR \frac{d^2 \theta}{dt^2} = S \quad \dots \textcircled{2}'$$

②' を①に代入 $M \frac{d^2 X}{dt^2} = Mg - \frac{1}{2} MR \frac{d^2 \theta}{dt^2}$

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = g - \frac{1}{2} R \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

③より $\frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{1}{R} \frac{d^2 X}{dt^2}$ これを上式に代入して

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = g - \frac{1}{2} \frac{d^2 X}{dt^2}$$

$$\frac{3}{2} \frac{d^2 X}{dt^2} = g$$

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = A = \frac{2}{3} g$$

①に代入 $M \frac{2}{3} g = Mg - S$

$$S = \frac{1}{3} Mg$$

答: 糸の張力 $S =$ $\textcircled{1}$ 重心の加速度 $A =$ $\textcircled{1}$

[15] 遠心力とは何か説明せよ。図を用いてもよい。

②

等速円運動している物体の加速度は向心加速度 a である。

等速円運動している物体と共に加速度運動している座標系は、非慣性系である。

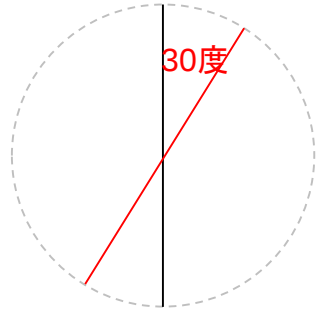
このような系では、慣性力 $-ma$ を導入すると運動の法則が成り立つ。

このとき、 ma は向心力であり、慣性力は向心力と同じ大きさで逆向きのちからである。

この慣性力が遠心力である。

[16] 右図は、北極点に置いたフーコーの振り子を真上から見た図である。あるとき振り子の振動面が右図の実線であるとき、2時間の振動面はどのようになっているか図に書き込め。角度の変化を数値で書いてもよい。

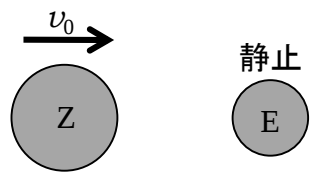
②



角度がOK向き逆①

[17] 静止している質量 m の球Eに質量 $3m$ の球Zが速度 v_0 で正面衝突する。衝突は弾性衝突として、衝突後の球Eの速度 v_E と球Zの速度 v_Z を求めよ。(速度は右向きが正である。)

[求め方]



衝突前の全運動量: $3mv_0$

速度差の代わりに
運動エネルギー保存則を使うと
BがAを追い越す解が出てくる

① $m v_E + 3m v_Z = 3m v_0$

② $v_E - v_Z = v_0$

①' $v_E + 3v_Z = 3v_0$

②' $v_E = v_Z + v_0$

$v_Z + v_0 + 3v_Z = 3v_0$

$4v_Z = 2v_0$

$v_Z = 0.5v_0$

$v_E = 1.5v_0$

答: $v_E =$ ① $v_Z =$ ①

[18] 物体に作用する保存力 $F(x)$ (力は x 軸に平行) とその保存力の位置エネルギー $U(x)$ の関係式を書け(一次元問題)。位置エネルギーの基準点は原点 $x = 0$ とする。授業では、2つ説明した。1つで8割、2つ満点である。

$$U(x) = \int_x^0 F(x) dx = - \int_0^x F(x) dx$$

$$F(x) = - \frac{dU}{dx}$$

②

答: _____