

Urti e momenti

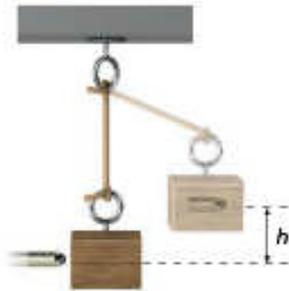
- 69 David lancia orizzontalmente una palla di 200 g con velocità di 20,0 m/s contro una parete fissa verticale. La palla urta contro la parete e rimbalza indietro con velocità di modulo 15,0 m/s. Se la durata del contatto è stata di 40,0 ms, qual è la forza media trasmessa dalla parete alla palla? L'urto fra palla e parete può dirsi elastico? Spiega.

[175 N]

- 70 In una partita di calcio un attaccante effettua un tiro imprimendo al pallone di massa 400 g una velocità di 15 m/s, nella direzione x della porta. Se il pallone rimpallando sul piede di un difensore inverte la direzione del moto e ritorna indietro con una velocità di 20 m/s, qual è il modulo dell'impulso trasmesso dal difensore al pallone? Come è diretto?

[14 kg · m/s; in direzione $-x$]

- 71 Una pallottola di massa 10 g colpisce alla velocità di 280 m/s un pendolo balistico di massa 2,0 kg, restando incorporata nel pendolo, come in figura. Calcola l'altezza h di cui si innalza il pendolo.



[9,9 cm]

- 72 Gli urti totalmente anelastici fra due particelle elementari sono noti, in fisica nucleare, come reazioni di cattura. Calcola la perdita percentuale di energia cinetica nella reazione di cattura di un neutrone con velocità v , da parte di un protone fermo con conseguente formazione di un nucleo di deuterio. [50%]

Guida alla soluzione

Supponi che la velocità v , del neutrone sia molto minore della velocità della luce, cosicché l'urto obbedisca alle leggi della meccanica classica (in caso contrario, sarebbe necessario ricorrere alla teoria relativistica). Per la conservazione della , detta m_n la massa del neutrone ed m_p quella del protone, la velocità v del nucleo di deuterio è:

$$v = \frac{\dots}{\dots + \dots}$$

L'energia cinetica del sistema prima della cattura è solo quella del neutrone:

$$K_i = \frac{1}{2} m_n \dots$$

mentre, dopo la cattura, quella del deuterio è:

$$K_f = \frac{1}{2} (m_n + \dots) v^2 = \frac{\dots v^2}{2(m_n + \dots)} = \frac{m_n}{m_n + \dots} K_i$$

La frazione di energia cinetica perduta è perciò:

$$\frac{K_i - K_f}{K_i} = 1 - \frac{m_n}{m_n + \dots} = \frac{m_p}{m_n + \dots}$$

Poiché protone e neutrone hanno identica massa, cioè $m_n = m_p = m$, la frazione di energia perduta vale:

$$\frac{K_i - K_f}{K_i} = \frac{m}{\dots m} = \dots$$

Dunque, la perdita percentuale è pari al %.

- 73 Alcune sostanze radioattive emettono particelle α (cioè nuclei di elio). Se un nucleo di uranio ^{233}U di massa $3,8 \cdot 10^{-25}$ kg emette una particella α di massa $6,7 \cdot 10^{-27}$ kg e velocità $1,2 \cdot 10^7$ m/s, qual è la sua velocità di rinculo? Calcola inoltre la percentuale di energia cinetica rispetto a quella totale acquistata rispettivamente dall'uranio e dalla particella α in seguito all'emissione considerata.

[$2,1 \cdot 10^5$ m/s; 1,7%; 98%]

- 74  A bomb at rest explodes into three pieces. Two, each of the same mass, fly off in different directions with velocity 80 m/s and 120 m/s, respectively. A third piece is also formed in the explosion, and has twice the mass of the first two pieces. What is the magnitude and direction of its velocity?

[20 m/s, in the opposite direction of the piece moving at 120 m/s]

- 75 Al porto vedi una piattaforma galleggiante la cui estremità sinistra, indicata con S in figura, è a contatto con il muro del molo. Il mare è calmo, così la piattaforma, che è priva di ancoraggio, rimane ferma finché un pescatore, dapprima seduto sulla sua estremità destra, si alza in piedi e inizia a camminare per poi fermarsi una volta giunto in S. Quanto si è discostata la piattaforma dal molo, se questa è lunga 6,5 m e ha massa 200 kg e se il pescatore ha massa 80 kg? Trascura la resistenza offerta dall'acqua al moto della piattaforma.



[1,9 m]

Urti e momenti

Suggerimento

Fissa un asse cartesiano parallelo alla superficie dell'acqua e con origine nell'iniziale punto di contatto fra molo e piattaforma. Lungo l'asse x il sistema formato dalla piattaforma e dal pescatore non risente di alcuna forza esterna, quindi il centro di massa del sistema, che all'inizio è fermo, resta tale anche quando il pescatore si sposta da un'estremità all'altra della piattaforma.

- 76 Un elettrone con energia cinetica $2 \cdot 10^{-24}$ J urta frontalmente un atomo di idrogeno, la cui massa è 1840 volte quella dell'elettrone. Calcola la perdita di energia cinetica dell'elettrone nell'ipotesi che l'urto sia elastico e che l'atomo di idrogeno sia fermo. A quale percentuale dell'energia cinetica iniziale dell'elettrone corrisponde tale perdita?

[$4 \cdot 10^{-27}$ J; 0,2%]

- 77 Un cacciatore di anatre si trova a bordo di una piccola barca, su uno stagno. Al termine di una battuta di caccia infruttuosa, si diverte a fare il seguente esperimento: vuole fermare la barca, che si muove con velocità di 3,0 m/s, sparando dei proiettili di massa 200 g e velocità 180 km/h. Per riuscire nel suo intento il cacciatore sa che deve sparare lungo la stessa direzione del moto della barca, ma è incerto se deve sparare nello stesso verso o in verso opposto al moto. Tu sapresti suggerirglielo? Rappresenta graficamente la situazione. Se la massa dell'intero sistema è 100 kg, quanti proiettili deve sparare il cacciatore?

[30]

- 78 Un grosso pesce avente una massa di 8,0 kg, mentre nuota alla velocità di 0,50 m/s, incontra un altro pesce di massa 0,50 kg che sfortunatamente si muove nella stessa direzione del primo e in verso opposto alla velocità di 2,0 m/s. Calcola modulo, direzione e verso della velocità del pesce più grosso dopo che, in un solo boccone, ha inghiottito quello più piccolo.

[0,35 m/s, nel verso del moto del pesce più grosso]

- 79 A un corpo inizialmente fermo, poggiato sopra un piano orizzontale senza attrito, si applica una forza costante per 4,0 s parallelamente al piano. La forza compie un lavoro di 240 J e il corpo acquista una quantità di moto uguale a 60 kg · m/s.

• Quanto è intensa la forza?

• Quanto pesa il blocco?

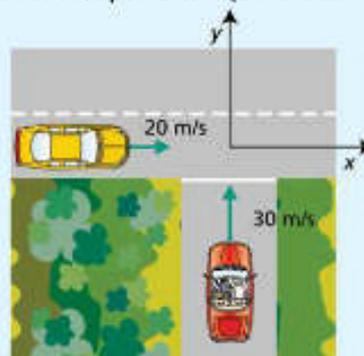
• Al termine dei 4,0 s quanto spazio ha percorso il blocco e qual è la sua velocità?

[15 N; 74 N; 16 m; 8,0 m/s]

- 80 Un fucile di massa 4,00 kg spara una pallottola di massa 10,0 g. Sapendo che la velocità della pallottola relativa al fucile è uguale a 401 m/s, calcola il modulo della velocità di rinculo del fucile e le energie cinetiche acquistate dalla pallottola e dal fucile in seguito allo sparo.

[1,00 m/s; 800 J; 2,00 J]

- 81 Due automobili di massa 1000 kg e 1500 kg, in moto rispettivamente alla velocità di 30 m/s e di 20 m/s, viaggiano su due strade perpendicolari fra loro. All'incrocio delle due strade le auto si urtano restando incastrate l'una nell'altra. Quanto vale, in modulo, la velocità del sistema delle due automobili dopo l'urto? Qual è la sua direzione?



[17 m/s; lungo la bisettrice dell'angolo delle direzioni iniziali delle automobili]

Suggerimento

Fissa un sistema di coordinate con gli assi x e y coincidenti con le direzioni delle velocità iniziali delle automobili e risolvi le due equazioni che esprimono la conservazione delle componenti x e y della quantità di moto totale del sistema.

- 82 Un pallone aerostatico lascia cadere da fermo, a una certa altezza dal suolo, una zavorra di 100 kg. Nell'urto con il suolo, questa imprime alla Terra la velocità di $3,50 \cdot 10^{-21}$ m/s. Ricordando che la massa della Terra è pari a $5,98 \cdot 10^{24}$ kg, calcola l'altezza da cui è caduta la zavorra, trascurando la resistenza dell'aria.



[2,23 km]

- 83 Un'automobile di massa 1000 kg avanza lungo un rettilineo con velocità uguale a 108 km/h. Supponendo che durante una frenata agisca una forza costante e sapendo che il tempo di arresto è di 20,0 s, calcola la forza frenante e lo spazio percorso durante la frenata. [1500 N; 300 m]

Guida alla soluzione

Fissa un'asse cartesiano parallelo alla strada e orientato in verso opposto al senso di marcia dell'auto-

Urti e momenti

- 69** David lancia orizzontalmente una palla di 200 g con velocità di 20,0 m/s contro una parete fissa verticale. La palla urta contro la parete e rimbalza indietro con velocità di modulo 15,0 m/s. Se la durata del contatto è stata di 40,0 ms, qual è la forza media trasmessa dalla parete alla palla? L'urto fra palla e parete può dirsi elastico? Spiega.

[175 N]

- 70** In una partita di calcio un attaccante effettua un tiro imprimendo al pallone di massa 400 g una velocità di 15 m/s, nella direzione x della porta. Se il pallone rimpallando sul piede di un difensore inverte la direzione del moto e ritorna indietro con una velocità di 20 m/s, qual è il modulo dell'impulso trasmesso dal difensore al pallone? Come è diretto?

[14 kg · m/s; in direzione $-x$]

- 71** Una pallottola di massa 10 g colpisce alla velocità di 280 m/s un pendolo balistico di massa 2,0 kg, restando incorporata nel pendolo, come in figura. Calcola l'altezza h di cui si innalza il pendolo.



[9,9 cm]

- 72** Gli urti totalmente anelastici fra due particelle elementari sono noti, in fisica nucleare, come reazioni di cattura. Calcola la perdita percentuale di energia cinetica nella reazione di cattura di un neutrone con velocità v_1 , da parte di un protone fermo con conseguente formazione di un nucleo di deuterio. [50%]

Guida alla soluzione

Supponi che la velocità v_1 del neutrone sia molto minore della velocità della luce, cosicché l'urto obbedisca alle leggi della meccanica classica (in caso contrario, sarebbe necessario ricorrere alla teoria relativistica). Per la conservazione della , detta m_n la massa del neutrone ed m_p quella del protone, la velocità v del nucleo di deuterio è:

$$v = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots + \dots\dots}$$

L'energia cinetica del sistema prima della cattura è solo quella del neutrone:

$$K_i = \frac{1}{2} m_n \dots\dots$$

mentre, dopo la cattura, quella del deuterio è:

$$K_f = \frac{1}{2} (m_n + \dots\dots) v^2 = \frac{\dots\dots v^2}{2(m_n + \dots\dots)} = \frac{m_n}{m_n + \dots\dots} K_i$$

La frazione di energia cinetica perduta è perciò:

$$\frac{K_i - K_f}{K_i} = 1 - \frac{m_n}{m_n + \dots\dots} = \frac{m_p}{m_n + \dots\dots}$$

Poiché protone e neutrone hanno identica massa, cioè $m_n = m_p = m$, la frazione di energia perduta vale:

$$\frac{K_i - K_f}{K_i} = \frac{m}{\dots\dots m} = \dots\dots$$

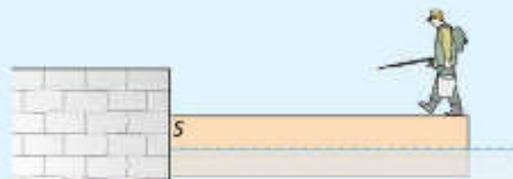
Dunque, la perdita percentuale è pari al %.

- 73** Alcune sostanze radioattive emettono particelle α (cioè nuclei di elio). Se un nucleo di uranio ^{238}U di massa $3,8 \cdot 10^{-25}$ kg emette una particella α di massa $6,7 \cdot 10^{-27}$ kg e velocità $1,2 \cdot 10^7$ m/s, qual è la sua velocità di rinculo? Calcola inoltre la percentuale di energia cinetica rispetto a quella totale acquistata rispettivamente dall'uranio e dalla particella α in seguito all'emissione considerata. [2,1 · 10⁵ m/s; 1,7%; 98%]

- 74**  A bomb at rest explodes into three pieces. Two, each of the same mass, fly off in different directions with velocity 80 m/s and 120 m/s, respectively. A third piece is also formed in the explosion, and has twice the mass of the first two pieces. What is the magnitude and direction of its velocity?

[20 m/s, in the opposite direction of the piece moving at 120 m/s]

- 75** Al porto vedi una piattaforma galleggiante la cui estremità sinistra, indicata con S in figura, è a contatto con il muro del molo. Il mare è calmo, così la piattaforma, che è priva di ancoraggio, rimane ferma finché un pescatore, dapprima seduto sulla sua estremità destra, si alza in piedi e inizia a camminare per poi fermarsi una volta giunto in S . Quanto si è discostata la piattaforma dal molo, se questa è lunga 6,5 m e ha massa 200 kg e se il pescatore ha massa 80 kg? Trascura la resistenza offerta dall'acqua al moto della piattaforma.



[1,9 m]

Urti e momenti

Suggerimento

Fissa un asse cartesiano parallelo alla superficie dell'acqua e con origine nell'iniziale punto di contatto fra molo e piattaforma. Lungo l'asse x il sistema formato dalla piattaforma e dal pescatore non risente di alcuna forza esterna, quindi il centro di massa del sistema, che all'inizio è fermo, resta tale anche quando il pescatore si sposta da un'estremità all'altra della piattaforma.

- 76** Un elettrone con energia cinetica $2 \cdot 10^{-24}$ J urta frontalmente un atomo di idrogeno, la cui massa è 1840 volte quella dell'elettrone. Calcola la perdita di energia cinetica dell'elettrone nell'ipotesi che l'urto sia elastico e che l'atomo di idrogeno sia fermo. A quale percentuale dell'energia cinetica iniziale dell'elettrone corrisponde tale perdita?

[$4 \cdot 10^{-27}$ J; 0,2%]

- 77** Un cacciatore di anatre si trova a bordo di una piccola barca, su uno stagno. Al termine di una battuta di caccia infruttuosa, si diverte a fare il seguente esperimento: vuole fermare la barca, che si muove con velocità di 3,0 m/s, sparando dei proiettili di massa 200 g e velocità 180 km/h. Per riuscire nel suo intento il cacciatore sa che deve sparare lungo la stessa direzione del moto della barca, ma è incerto se deve sparare nello stesso verso o in verso opposto al moto. Tu sapresti suggerirglielo? Rappresenta graficamente la situazione. Se la massa dell'intero sistema è 100 kg, quanti proiettili deve sparare il cacciatore?

[30]

- 78** Un grosso pesce avente una massa di 8,0 kg, mentre nuota alla velocità di 0,50 m/s, incontra un altro pesce di massa 0,50 kg che sfortunatamente si muove nella stessa direzione del primo e in verso opposto alla velocità di 2,0 m/s. Calcola modulo, direzione e verso della velocità del pesce più grosso dopo che, in un solo boccone, ha inghiottito quello più piccolo.

[0,35 m/s, nel verso del moto del pesce più grosso]

- 79** A un corpo inizialmente fermo, poggiato sopra un piano orizzontale senza attrito, si applica una forza costante per 4,0 s parallelamente al piano. La forza compie un lavoro di 240 J e il corpo acquista una quantità di moto uguale a $60 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

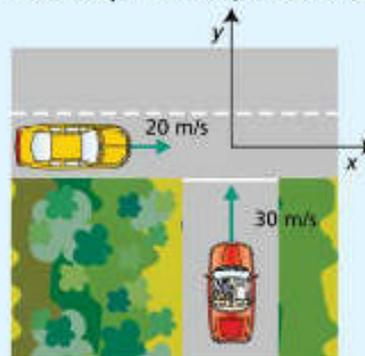
- Quanto è intensa la forza?
- Quanto pesa il blocco?
- Al termine dei 4,0 s quanto spazio ha percorso il blocco e qual è la sua velocità?

[15 N; 74 N; 16 m; 8,0 m/s]

- 80** Un fucile di massa 4,00 kg spara una pallottola di massa 10,0 g. Sapendo che la velocità della pallottola relativa al fucile è uguale a 401 m/s, calcola il modulo della velocità di rinculo del fucile e le energie cinetiche acquistate dalla pallottola e dal fucile in seguito allo sparo.

[1,00 m/s; 800 J; 2,00 J]

- 81** Due automobili di massa 1000 kg e 1500 kg, in moto rispettivamente alla velocità di 30 m/s e di 20 m/s, viaggiano su due strade perpendicolari fra loro. All'incrocio delle due strade le auto si urtano restando incastrate l'una nell'altra. Quanto vale, in modulo, la velocità del sistema delle due automobili dopo l'urto? Qual è la sua direzione?



[17 m/s; lungo la bisettrice dell'angolo delle direzioni iniziali delle automobili]

Suggerimento

Fissa un sistema di coordinate con gli assi x e y coincidenti con le direzioni delle velocità iniziali delle automobili e risolvi le due equazioni che esprimono la conservazione delle componenti x e y della quantità di moto totale del sistema.

- 82** Un pallone aerostatico lascia cadere da fermo, a una certa altezza dal suolo, una zavorra di 100 kg. Nell'urto con il suolo, questa imprime alla Terra la velocità di $3,50 \cdot 10^{-21}$ m/s. Ricordando che la massa della Terra è pari a $5,98 \cdot 10^{24}$ kg, calcola l'altezza da cui è caduta la zavorra, trascurando la resistenza dell'aria.



[2,23 km]

- 83** Un'automobile di massa 1000 kg avanza lungo un rettilineo con velocità uguale a 108 km/h. Supponendo che durante una frenata agisca una forza costante e sapendo che il tempo di arresto è di 20,0 s, calcola la forza frenante e lo spazio percorso durante la frenata. [1500 N; 300 m]

Guida alla soluzione

Fissa un'asse cartesiano parallelo alla strada e orientato in verso opposto al senso di marcia dell'auto-

Test e problemi



1 Il momento angolare e la causa della sua variazione

- 1 Stabilisci se le seguenti affermazioni sono vere (V) o false (F).
- Su un punto materiale, che si muove di moto circolare, la forza centripeta può produrre un momento meccanico in grado di modificarne la velocità angolare. **V/F**
 - Il momento angolare è una grandezza scalare che si misura in $J \cdot s$. **V/F**
 - Il momento angolare di un sistema formato da due particelle è la somma vettoriale dei momenti angolari delle singole particelle. **V/F**
 - Il momento angolare e la quantità di moto di un punto materiale sono vettori perpendicolari fra loro. **V/F**
 - Quando un punto materiale compie un moto circolare, il modulo del suo momento angolare rispetto al centro della traiettoria è direttamente proporzionale al momento di inerzia e inversamente proporzionale alla velocità angolare. **V/F**
- 2 Qual è la corretta equazione dimensionale del momento di inerzia?
- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| a $[I] = [m] [l]$ | c $[I] = [m] [l^2]$ |
| b $[I] = [m^2] [l^2]$ | d $[I] = [m] [l^{-2}]$ |
- 3 Nel SI il momento angolare viene misurato in:
- | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| a $kg \cdot m^2$ | b $kg \cdot m^2/s$ | c $kg \cdot s/m^2$ | d $kg \cdot m/s$ |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|

FISICA PER IMMAGINI

- 4 In attesa di essere autorizzato all'atterraggio, al di sopra dell'aeroporto un aereo, di massa $1,7 \cdot 10^5$ kg, segue una traiettoria circolare del diametro indicato in figura. Qual è il suo momento angolare?



- | | |
|--|--|
| a $3,8 \cdot 10^{11} J \cdot s$ | c $2,4 \cdot 10^{13} J \cdot s$ |
| b $6,9 \cdot 10^8 J \cdot s$ | d $1,9 \cdot 10^{11} J \cdot s$ |

- 5 Al parco divertimenti, un'attrazione per bimbi consiste di un trenino a forma di bruco che percorre a velocità costante una rotaia circolare di raggio 15 m. A pieno carico, il trenino ha una massa di 2800 kg; quanto vale la sua velocità, se il suo momento angolare è $2,1 \cdot 10^4$ $kg \cdot m^2/s$?

[0,50 m/s]

- 6 Mila e il suo cane corrono lungo il bordo di un'aiuola circolare di diametro 10 m. Quanto vale il momento di inerzia di ciascuno rispetto al centro dell'aiuola, se Mila ha una massa di 56 kg e il cane ha una massa di 12 kg?

[1400 $kg \cdot m^2$; 300 $kg \cdot m^2$]

- 7 Il pianeta Giove, di massa $1,9 \cdot 10^{27}$ kg, ruota attorno al Sole ogni 4300 giorni, percorrendo un'orbita quasi circolare di raggio $7,8 \cdot 10^8$ km. Quanto vale il momento di inerzia di Giove rispetto al Sole? Quanto vale il suo momento angolare?



[$1,2 \cdot 10^{51} kg \cdot m^2$; $2,0 \cdot 10^{43} J \cdot s$]

- 8  A science museum hosts a scale model of the hydrogen atom, with an electron orbiting around the nucleus. The electron is represented by a 5.0 kg sphere, linked to a central engine through a very light arm (which you will assume to be massless) with a length of 1.0 m. The sphere is initially at rest, when the engine applies a torque of 2.5 N · m for 3.0 s to start its motion. What is the final angular momentum of the sphere? What is its final angular speed?

[7.5 $kg \cdot m^2/s$; 1.5 rad/s]

PIÙ MATEMATICA

La relazione vettoriale fra il momento di una forza e la variazione del momento angolare

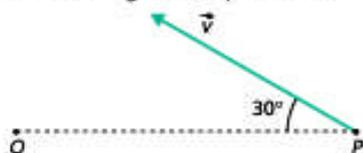
- 9 Il momento angolare \vec{L} rispetto a un punto O di un corpo puntiforme, il cui vettore posizione rispetto a O è \vec{r} e la cui quantità di moto è \vec{Q} , è:
- | | |
|--|--|
| a $\vec{L} = -\vec{Q} \times \vec{r}$ | c $\vec{L} = \vec{r} \cdot \vec{Q}$ |
| b $\vec{L} = \vec{Q} \times \vec{r}$ | d $\vec{L} = r Q \sin \alpha$ |
- 10 In un determinato istante un punto materiale di massa pari a 2,0 kg si trova, rispetto a un sistema cartesiano Oxy assegnato, nella posizione di coordinate $x = 5,0$ m, $y = 2,5$ m, con velocità di componenti $v_x = 3,0$ m/s e $v_y = 2,0$ m/s. Quali sono le

Urti e momenti

componenti L_x , L_y ed L_z del momento angolare \vec{L} rispetto all'origine O del sistema di riferimento?

- a $L_x = 0; L_y = 0; L_z = 0$
- b $L_x = 0; L_y = 0; L_z = 5,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
- c $L_x = 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}; L_y = 5,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}; L_z = 0$
- d nessuna delle precedenti risposte è corretta

- 11 Se il punto P mostrato in figura ha massa 100 g, dista 50 cm da O e si muove con velocità di 2,2 m/s, il suo momento angolare rispetto a O :



- a è perpendicolare al piano del disegno nel verso entrante e ha modulo pari a $0,055 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
- b è perpendicolare al piano del disegno nel verso uscente e ha modulo pari a $0,055 \text{ J} \cdot \text{s}$
- c giace nel piano del disegno e ha modulo pari a $0,10 \text{ J} \cdot \text{s}$
- d è parallelo a \vec{v} , ma non ci sono dati a sufficienza per determinarne il modulo

- 12 Una particella di massa m si muove di moto rettilineo uniforme con velocità \vec{v} lungo l'asse x di un sistema di riferimento cartesiano. Quanto vale, in modulo, il momento angolare della particella rispetto all'origine O del sistema, quando questa si trova a distanza d da O ?

- a $m v d$ b $m v/d$ c 0
- d per rispondere bisognerebbe sapere se la particella si muove nel verso delle x positive o negative

RISPONDI IN BREVE (in un massimo di 10 righe)

- 13 Per un corpo puntiforme in moto circolare, quali sono la direzione e il verso del momento angolare calcolato rispetto al centro della traiettoria?
- 14 Ha senso definire il momento angolare di un corpo puntiforme rispetto a un punto O , se il corpo non segue una traiettoria circolare intorno a O ? Giustifica la tua risposta.
- 15 Quale effetto produce su un corpo in rotazione il momento risultante delle forze rispetto a un punto fissato?

2 Momento di inerzia e momento angolare di un corpo esteso

- 16 Stabilisci se le seguenti affermazioni sono vere (V) o false (F).

- a. Il momento d'inerzia di una sbarra sottile, rispetto a un asse di rotazione perpendicolare alla sbarra e passante per il suo centro, è direttamente proporzionale alla lunghezza della sbarra. **V F**
- b. Dato un corpo esteso, il momento angolare definito rispetto a un asse e il momento angolare definito rispetto a un punto dell'asse sono due grandezze completamente indipendenti fra loro. **V F**

- c. L'asse di rotazione di un corpo esteso non può variare nel tempo. **V F**

- d. Il momento di inerzia di un corpo rispetto all'asse dipende da come la sua massa è distribuita intorno all'asse. **V F**

- e. Se si conosce il momento di inerzia di un corpo rispetto a un asse passante per il suo centro di massa, il momento di inerzia dello stesso corpo rispetto a un secondo asse, parallelo al primo, si può ricavare se sono noti massa del corpo e distanza fra i due assi. **V F**

- 17 Associa a ciascuno dei seguenti solidi simmetrici, tutti di massa m e raggio r , la formula che esprime il loro momento di inerzia rispetto all'asse di simmetria.

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| a. sfera omogenea | 1. ... $I = m r^2/2$ |
| b. cilindro | 2. ... $I = m r^2$ |
| c. anello sottile | 3. ... $I = 2 m r^2/5$ |
| d. guscio sferico sottile | 4. ... $I = 2 m r^2/3$ |

- 18 Il momento angolare di un corpo esteso che ruota intorno a un asse fisso è uguale:

- a al prodotto della sua quantità di moto per la velocità angolare con cui ruota
- b al rapporto del suo momento di inerzia rispetto all'asse di rotazione per la velocità angolare con cui ruota
- c al prodotto del suo momento di inerzia rispetto all'asse di rotazione per la velocità angolare con cui ruota
- d al prodotto del suo momento di inerzia rispetto all'asse di rotazione per l'impulso della forza peso

- 19 Un disco di raggio 12 cm e massa 500 g sta ruotando alla velocità angolare di 1,5 rad/s, quando comincia a essere frenato con una forza tangenziale di intensità 0,10 N agente sul bordo. Quanto tempo impiega il disco per fermarsi?

- a 0,45 s b 0,90 s c 2,2 s
- d si ferma immediatamente

- 20 Al circo, una foca fa roteare una palla sulla punta del naso. La palla ha un raggio di 20,0 cm e una massa di 2,0 kg. Qual è il suo momento d'inerzia, se la massa è distribuita in modo omogeneo all'interno della palla? E se è concentrata sulla superficie (per esempio nel caso di una palla gonfiabile)?

[$0,032 \text{ kg} \cdot \text{m}^2; 0,053 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$]

- 21  A helicopter's twin blades rotate at a pace of 440 times a minute. Each of them is 17 metres long, with the rotor hub exactly in the middle, and has a mass of 23 kg. What is their overall angular momentum?

[$5,1 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{s}$]



- 22 Tre masse di 1,5 kg ciascuna sono poste ai vertici di un triangolo equilatero di lato 50 cm. Qual è il momento di inerzia del sistema rispetto a un asse perpendicolare al piano del triangolo e passante per un vertice? E se invece l'asse passasse per il punto medio di un lato? [0,75 kg · m²; 0,47 kg · m²]

Urti e momenti

- 23** Una forza di intensità 15 N viene applicata a una corda avvolta intorno a una carrucola, assimilabile a un disco omogeneo di massa 4,0 kg e di raggio 0,30 m, come in figura. La carrucola può ruotare intorno a un asse orizzontale passante per il suo centro con attrito trascurabile ed è inizialmente ferma. Qual è la velocità angolare acquistata dalla carrucola, dopo che la forza ha agito su di essa per 3,0 s? Quanto vale, considerando sempre il medesimo istante, la velocità di un punto posto sul bordo della carrucola? [75 rad/s; 23 m/s]



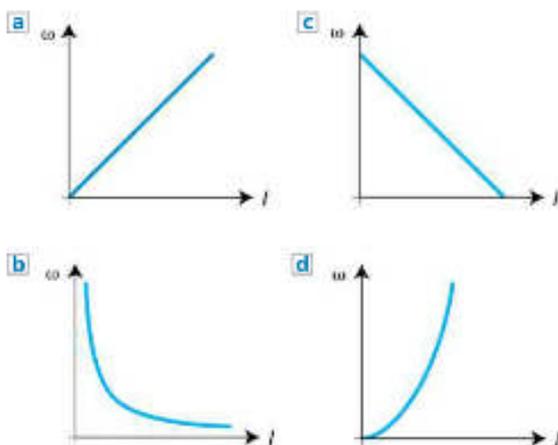
- 24** In un gioco a premi televisivo, i concorrenti tentano la sorte mettendo in moto una grande ruota verticale, di raggio 2,5 m e massa 35 kg, suddivisa in spicchi che corrispondono ai diversi premi in palio. Un concorrente fa partire la ruota con una velocità angolare pari a 2,5 rad/s. Quanto tempo impiega la ruota per fermarsi, se le forze di attrito esercitano su di essa un momento meccanico costante pari a 25 N · m? [11 s]
- 25** Un cilindro, che ruota intorno al suo asse di simmetria con velocità angolare uguale a 150 rad/s, è soggetto a un momento sull'asse di intensità 10 N · m. Se il raggio del cilindro misura 60 cm e la sua massa è pari a 120 kg, quanto tempo impiega per fermarsi? [5,4 min]

3 La conservazione del momento angolare

- 26** Il momento angolare di un sistema si conserva se:
- le forze agenti sul sistema sono conservative
 - il sistema ruota per effetto di una coppia di forze il cui momento è costante
 - il momento delle forze agenti sul sistema è nullo
 - il sistema è isolato e in nessun altro caso

FISICA PER IMMAGINI

- 27** Quale dei seguenti grafici rappresenta la velocità angolare al variare del momento d'inerzia, nel caso di un sistema su cui non agiscono forze esterne?



- 28** Nelle prime fasi della vita del Sistema Solare, i pianeti hanno subito un processo di differenziazione: i composti chimici più pesanti si sono concentrati nel loro interno, fino a formare grandi nuclei metallici dall'elevata densità, mentre gli elementi più leggeri sono rimasti prossimi alla superficie. In questo processo il momento di inerzia di ciascun pianeta:

- è aumentato, dunque la velocità di rotazione è aumentata
- è aumentato, dunque la velocità di rotazione è diminuita
- è diminuito, dunque la velocità di rotazione è aumentata
- è diminuito, dunque la velocità di rotazione è diminuita

- 29** Una pattinatrice, tenendo le braccia in posizione orizzontale, ruota su se stessa con una velocità angolare uguale a 14,0 rad/s, allorché in un certo istante abbassa le braccia portandole a contatto con il corpo. Sapendo che nella nuova configurazione il momento d'inerzia della pattinatrice rispetto all'asse di rotazione diminuisce del 30%, calcola la nuova velocità angolare. Quanti giri compie, per unità di tempo, in ciascuna delle due posizioni considerate?



[20,0 rad/s; 2,23 Hz; 3,18 Hz]

Guida alla soluzione

Trascura l'attrito fra pattini e pista nonché la resistenza dell'aria. In queste condizioni sulla pattinatrice non agiscono momenti di forze esterne e il suo rispetto all'asse di rotazione si conserva. Indicando con I_0 e ω_0 il momento d'inerzia e la velocità angolare nella posizione iniziale e con I e ω le corrispondenti grandezze nella posizione finale, risulta:

$$I_0 \dots\dots\dots = I \dots\dots\dots$$

Allora, quando la pattinatrice diminuisce il suo momento d'inerzia avvicinando le braccia al corpo, la sua velocità angolare Se il momento d'inerzia diminuisce del 30% dalla posizione iniziale a quella finale, puoi scrivere:

$$\frac{I - I_0}{I_0} = -\dots\dots$$

da cui $I = I_0 - \dots\dots I_0 = \dots\dots I_0$

Pertanto

$$\omega = \frac{I_0}{I} \omega_0 = \frac{I_0}{\dots\dots I_0} \omega_0 = \frac{\dots\dots \text{rad/s}}{\dots\dots} = \dots\dots \text{rad/s}$$

Poiché un giro corrisponde a 2π rad, indicando con f_0 ed f_1 il numero di giri al secondo, cioè la frequenza, rispettivamente nella posizione iniziale e finale, ottieni:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\dots \text{ rad/s}}{2\pi} = \dots \text{ Hz}$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{\dots \text{ rad/s}}{2\pi} = \dots \text{ Hz}$$

- 30** Un satellite artificiale ruota intorno a Venere su un'orbita ellittica. Nel punto in cui è più vicino a Venere, il satellite dista dal centro del pianeta $8,2 \cdot 10^3$ km e si muove con velocità $7,5$ km/s. Se, nel punto più lontano, il satellite dista dal centro del pianeta $1,5 \cdot 10^4$ km, quale sarà la sua velocità in quel punto? E quanto varrà la sua velocità angolare?

[$4,1$ km/s; $2,7 \cdot 10^{-4}$ rad/s]

Suggerimento

Assimila il satellite a un punto materiale. Quanto vale il momento della forza gravitazionale, che tiene in orbita il satellite, rispetto al centro di Venere?

PIÙ MATEMATICA

La relazione vettoriale fra il momento angolare e la velocità angolare

- 31** Il vettore velocità angolare di una trottola in rotazione punta verso Nord; se il momento meccanico agente sulla trottola è nullo, in che direzione punta il vettore momento angolare rispetto all'asse di rotazione?
- verso Nord
 - verso Nord se la trottola gira in senso antiorario, verso Sud se gira in senso orario
 - può puntare in qualsiasi direzione
 - non si può rispondere se non si conosce il momento di inerzia della trottola
- 32** La velocità angolare $\vec{\omega}$ e il momento angolare \vec{L} di un corpo in rotazione:
- hanno sempre la stessa direzione e lo stesso verso
 - hanno entrambi la stessa direzione, ma possono avere verso opposto a seconda del segno di I
 - possono assumere qualunque orientazione reciproca
 - non sono mai collineari
- 33** "Un oggetto che ruoti intorno a un suo asse di simmetria non cambia asse di rotazione finché non gli viene applicato un momento angolare." Questa frase è sbagliata. Perché?

RISPONDI IN BREVE (in un massimo di 10 righe)

- 34** Che cos'è una forza centrale? Che cosa puoi dire a proposito del momento angolare di un corpo soggetto a una forza centrale?
- 35** Quali principi di conservazione conosci? Enunciali.

4 La dinamica rotazionale di un corpo rigido

- 36**  If a rigid body is subject to a constant moment of force with respect to a given axis, we can conclude that its angular acceleration around that axis:

- increases overtime
- is constant overtime, and different than zero
- is equal to zero
- decreases overtime

- 37** Dato un corpo rigido in rotazione intorno a un asse fisso z , una modificazione di L_z può corrispondere a una variazione:

- del solo momento di inerzia
- del momento di inerzia o della velocità angolare
- della sola velocità angolare
- simultanea del momento di inerzia e della velocità angolare

- 38** Stabilisci se le seguenti affermazioni sono vere (V) o false (F).

- Il momento d'inerzia di un corpo non può mai subire variazioni. **V F**
- Per un corpo rigido, la variazione del momento angolare rispetto all'asse z è direttamente proporzionale all'accelerazione angolare istantanea del corpo. **V F**
- L'accelerazione angolare di un corpo rigido in rotazione intorno all'asse z è direttamente proporzionale alla componente z del momento meccanico cui il corpo è soggetto. **V F**
- Per descrivere il moto rototraslatorio di un corpo è sufficiente conoscere il moto di traslazione del suo centro di massa. **V F**
- Per un fissato valore del momento di inerzia I di un corpo in rotazione, l'accelerazione angolare α e il momento M_z sono inversamente proporzionali fra loro. **V F**

- 39** Un ciclista, partendo da fermo, accelera uniformemente per 10 s fino a raggiungere la velocità di $4,0$ m/s. Quanto vale l'accelerazione angolare delle ruote della bicicletta, se il loro raggio è di 40 cm?

[$1,0$ rad/s²]

- 40** Un disco di raggio 60 cm e massa 25 kg può ruotare intorno a un asse fisso che passa per il suo centro con attrito trascurabile. Se tirando una cinghia avvolta intorno al bordo del disco, inizialmente fermo, viene applicata a esso una forza tangenziale di intensità 12 N, quanto vale l'accelerazione angolare acquisita dal disco?

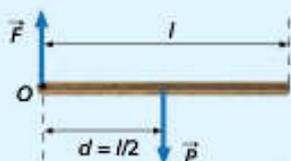
[$1,6$ rad/s²]

- 41** Il cestello di una lavatrice sta girando a 1200 giri al minuto, quando il programma di lavaggio giunge al termine e la lavatrice si spegne. Il cestello si ferma in $8,5$ s. Se il momento d'inerzia del cestello carico vale $0,17$ kg \cdot m², qual è il momento meccanico associato alle forze d'attrito?

[$2,5$ N \cdot m]

Urti e momenti

- 42** Una sbarra omogenea lunga 0,840 m può ruotare su un piano verticale intorno al perno da cui è trattenuta per un'estremità. La sbarra dapprima è mantenuta orizzontale, poi è lasciata andare. Con quale accelerazione angolare inizia a ruotare intorno al perno?



[17,5 rad/s²]

Guida alla soluzione

La sbarra è soggetta al suo peso \vec{P} e alla forza vincolare \vec{F} sviluppata dal perno. Rispetto alla posizione O del perno, ha sempre momento Il peso \vec{P} , invece, ha un momento che dipende dall'orientazione della sbarra. Essendo la sbarra omogenea, il suo baricentro, in cui deve considerarsi applicato \vec{P} , coincide con il punto medio, posto a distanza $d = l/2$ da O . Quando la sbarra è orizzontale il braccio di \vec{P} coincide con d . Poiché il momento del peso rispetto a O è parallelo all'asse z di rotazione, la sua componente z è:

$$M_z = P d = \dots$$

Inoltre poiché la sbarra gira intorno a un asse fisso, la sua rotazione è descritta dall'equazione $M_z = I \alpha$ dove $I = \frac{1}{3} m l^2$ è il momento di inerzia della sbarra rispetto all'asse passante per un suo estremo. Uguagliando le due espressioni di M_z , si può ricavare l'accelerazione angolare della sbarra:

$$\alpha = \frac{M_z}{I} = \frac{m \dots}{2 \dots} = \frac{3 \dots}{2 \dots} = \frac{3 \dots}{2(0,840 \text{ m})} = \dots \text{ rad/s}^2$$

- 43** L'estremità di un'asta di legno inchiodata a una parete verticale, può ruotare liberamente intorno al chiodo che funge da perno. Trattenuta inizialmente in posizione orizzontale, l'asta, che è lunga 50 cm, viene poi lasciata andare. Nell'istante in cui forma un angolo di 60° con la verticale, quanto vale la sua accelerazione angolare? Man mano che l'asta si avvicina alla posizione verticale, la sua accelerazione angolare tende ad aumentare o a diminuire? Spiega. [25 rad/s²]

5 Energia cinetica, lavoro e potenza nel moto rotatorio

- 44** Il piatto girevole del forno a microonde, di diametro 30 cm e massa 2,5 kg, compie un giro su se stesso ogni 4,0 s. Quanto vale la sua energia cinetica? [3,5 · 10⁻² J]
- 45** Quanti giri compie al minuto un motorino che fornisce una coppia di 150 N · m e che ha una potenza di 5,00 kW? [318]

- 46** Quando la ruota di un carrello della spesa rotola senza strisciare sul pavimento di un supermercato:

- a tutti i punti della ruota hanno la stessa velocità istantanea rispetto al pavimento
- b il punto centrale della ruota, poiché appartiene all'asse di rotazione, rimane fermo
- c il punto di contatto fra ruota e pavimento è sempre lo stesso
- d tutti i punti della ruota hanno la stessa velocità angolare

- 47** "Il lavoro compiuto da un momento meccanico costante su un corpo in rotazione è direttamente proporzionale alla velocità angolare del corpo." Questa frase è sbagliata. Perché?

- 48** Il momento meccanico necessario per girare la chiavetta di un carillon a corda è pari a 0,040 N · m. Quanto lavoro bisogna compiere per far fare alla chiavetta quattro giri completi? [1,0 J]

- 49**  At a kebab shop, the rotating meat roll makes a full spin around its vertical axis every 5.0 s. If its moment of inertia is 1.5 kg · m², what is its kinetic energy?

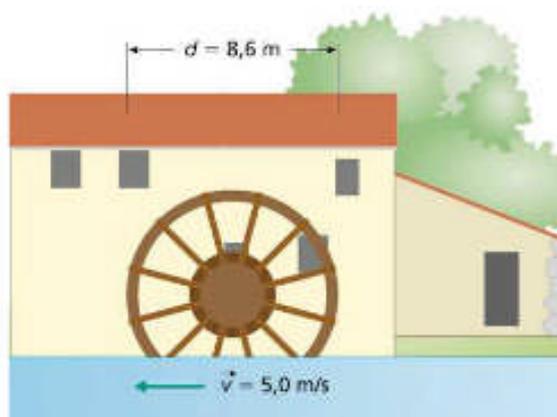
- a 3.0 · 10⁻² J c 1.2 J
- b 0.95 J d 7.5 J



- 50** Un teatro d'opera è dotato di una macchina da scena che consiste di un grande disco piano, sul quale sono installate le diverse scenografie destinate ad apparire nel corso della rappresentazione; la rotazione del disco, a sipario chiuso, permette di alternare rapidamente i fondali e gli arredi da palco fra una scena e l'altra. Se il motore della macchina da scena è in grado di fornire una coppia di 2,0 · 10⁶ N · m, quale potenza media è necessaria per compiere una rotazione di 180° in 30 s? [2,1 · 10⁵ W]

FISICA PER IMMAGINI

- 51** Quanto vale la potenza sviluppata da questo mulino, se l'acqua esercita sulla ruota un momento meccanico costante di 3,3 · 10⁵ N · m?



[380 kW]

Urti e momenti

- 52** La massa complessiva del ciclista e della bicicletta è di 75 kg; in particolare, le ruote hanno una massa di 1,5 kg ciascuna. Qual è l'energia cinetica complessiva del sistema?



Suggerimento

Devi tenere conto dell'energia cinetica traslazionale della bicicletta e dell'energia cinetica rotazionale delle due ruote. Per ricavare il momento di inerzia, puoi assimilare la ruota a un anello sottile. Ricorda inoltre che, nel caso di rotolamento senza strisciamento, la velocità di traslazione e quella angolare sono legate dalla relazione $v = r\omega$.

- 53** Il rotore di una macchina industriale ha momento di inerzia pari a $0,50 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Qual è il modulo del suo momento angolare e qual è la sua energia cinetica quando sta ruotando a 1600 giri al minuto? Quale momento meccanico e quale potenza occorrono per raggiungere, da fermo, una tale frequenza di rotazione in 5,5 s?

[$84 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$; $7,0 \cdot 10^3 \text{ J}$; $15 \text{ N} \cdot \text{m}$; $1,3 \cdot 10^3 \text{ W}$]

RISPONDI IN BREVE (in un massimo di 10 righe)

- 54** Qual è la relazione fra il lavoro compiuto per accelerare un corpo in rotazione intorno a un asse fisso e lo spostamento angolare di quel corpo?
- 55** Il moto di rotolamento è la combinazione di due moti simultanei. Quali?
- 56** È possibile che un oggetto che rotola possieda solo energia cinetica di rotazione? Spiega.

Problemi di unità

- 57** Marco lancia sul tavolo una moneta da un euro, in modo da farla roteare attorno al proprio diametro verticale alla velocità di 6,00 giri al secondo. La moneta da un euro ha un diametro di 23,3 mm e pesa 7,50 g. Sapendo che il momento di inerzia di un disco che ruota sul proprio diametro vale $\frac{1}{4} m r^2$, quanto vale il momento angolare della moneta?

[$9,59 \cdot 10^{-6} \text{ J} \cdot \text{s}$]

- 58** Un DVD ha massa 15 g e diametro 12 cm. Quanta energia è necessaria affinché i dispositivi interni di un lettore DVD possano portarlo, da fermo, a ruotare a 1500 giri al minuto? [0,33 J]

- 59** Una sbarra sottile lunga 60 cm e di massa pari a 2,0 kg si trova su un piano orizzontale liscio, dove può ruotare senza attrito intorno a un perno P collocato in corrispondenza di un suo estremo, come mostrato in figura. A un certo istante una freccetta di massa 5,0 g sopraggiunge in direzione perpendicolare alla sbarra con velocità di modulo 4,0 m/s, colpendola a una distanza di 40 cm dal perno. Se la freccetta dopo l'urto rimane conficcata nella sbarra, quale sarà la velocità angolare del sistema dopo l'urto? L'urto fra freccetta e sbarra è elastico o anelastico?



[$3,3 \cdot 10^{-2} \text{ rad/s}$]

Suggerimento

Nell'istante dell'urto il momento angolare del sistema formato dalla sbarra e dalla freccetta (che puoi assimilare a un punto materiale) coincide con il momento angolare di quest'ultima, poiché la sbarra non ruota; invece, dopo l'urto, sbarra e freccetta ruotano intorno al perno P con la stessa velocità angolare e il momento angolare del sistema è pari alla somma dei momenti dei due corpi. Calcola sempre i vari momenti angolari rispetto al punto P .

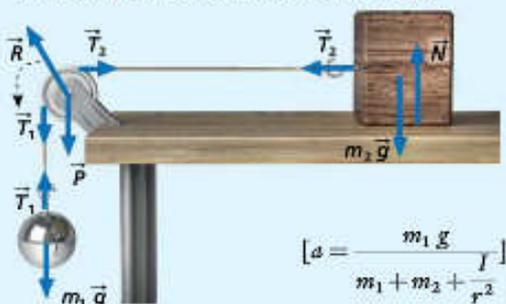
- 60** Una sottile medaglia circolare, di diametro 2,0 cm e massa 4,0 g, rotola lungo un piano inclinato compiendo 5,5 giri ogni secondo.
- Qual è l'energia cinetica della medaglia, se si considera solo il suo moto di traslazione?
 - Qual è la sua energia cinetica, se si considera solo il moto di rotazione?
 - Da quale altezza bisognerebbe lasciare cadere la medaglia, affinché toccando terra possieda la stessa energia di quando rotola lungo il piano inclinato?
- [$2,4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$; $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$; 9,2 mm]

- 61**  In a wall clock, the hour hand is 4.5 cm long and has a mass of 80 g; the minute hand is 7.5 cm long and has a mass of 95 g; the second hand is 8.0 cm long and has a mass of 110 g. What is the overall rotational kinetic energy of the three hands? Are some of the components negligible? [1,3 · 10⁻⁶ J]



Urti e momenti

- 62** Una sfera di massa m_1 e un blocco di massa m_2 sono collegati da una fune inestensibile di massa trascurabile, che passa su una carrucola di raggio r e momento d'inerzia I , rispetto al suo asse. Il blocco m_2 scivola su un piano orizzontale privo di attrito. Sapendo che la carrucola ruota intorno al suo asse con attrito trascurabile e che la fune non slitta sul bordo della carrucola, determina le accelerazioni dei due corpi.



$$\left[a = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2 + \frac{I}{r^2}} \right]$$

Guida alla soluzione

Quando il sistema è lasciato libero, la sfera comincia a scendere verticalmente verso il basso, la carrucola a ruotare in verso antiorario e il blocco a spostarsi verso sinistra. Scegli dunque quello indicato dalla freccia tratteggiata in figura come verso positivo del moto del sistema.

Il peso P e la reazione R del perno sulla carrucola hanno momento nullo rispetto all'asse di rotazione, poiché le loro rette di azione passano per l'asse.

La tensione T_1 esercita sulla carrucola il momento $M_1 = r T_1$ rispetto all'asse e la tensione T_2 il momento $M_2 = -r T_2$. L'equazione del moto di rotazione della carrucola è allora, detta α l'accelerazione angolare:

$$r T_1 - r T_2 = \dots \alpha$$

Il secondo principio della dinamica, applicato rispettivamente alla sfera e al blocco, porta alle equazioni:

$$m_1 g - T_1 = m_1 a_1 \quad \text{e} \quad T_2 = m_2 a_2$$

Poiché la fune è inestensibile, l'accelerazione a_1 della sfera verso il basso è uguale in modulo all'accelerazione a_2 del blocco verso sinistra. Chiamata a l'accelerazione comune dei due corpi. Poiché la corda non scivola sul bordo della carrucola, a è anche il valore dell'accelerazione tangenziale dei punti del bordo della carrucola. Hai allora

$\alpha = \frac{a}{r}$ e le tre equazioni possono essere riscritte:

$$\begin{cases} \dots - T_2 = I \frac{a}{r^2} \\ \dots g - T_1 = m_1 a \\ \dots = m_2 a \end{cases}$$

Eliminando T_1 e T_2 da queste tre equazioni e risolvendo rispetto ad a , ottieni:

$$a = \frac{m_1 \dots}{m_1 + \dots + \frac{I}{\dots}}$$

- 63** La figura mostra due masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ ed $m_2 = 3 \text{ kg}$ collegate da una corda inestensibile di massa trascurabile che passa sopra una carrucola di raggio $R = 0,2 \text{ m}$ e momento d'inerzia $I = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ rispetto al suo asse. Sapendo che la carrucola ruota con attrito trascurabile intorno all'asse e che la corda non slitta sul bordo della carrucola, calcola le accelerazioni a_1 e a_2 delle due masse.



$$\left[\begin{aligned} a_1 &= 3 \text{ m/s}^2, \text{ verso l'alto;} \\ a_2 &= 3 \text{ m/s}^2, \text{ verso il basso} \end{aligned} \right]$$

- 64** Un cilindro omogeneo scende rotolando senza strisciare lungo un piano inclinato di un angolo di 30° rispetto all'orizzontale. Calcola l'accelerazione del centro di massa del cilindro. $[3,27 \text{ m/s}^2]$

Suggerimento

Poiché l'asse di rotazione del cilindro, passante per il centro di massa, non è fisso, insieme all'equazione del moto rotatorio considera l'equazione del moto del centro di massa. Dalle proprietà del moto di rotolamento, puoi facilmente ricavare la relazione fra l'accelerazione angolare del cilindro e l'accelerazione lineare del suo centro di massa.

- 65** Stefania lascia cadere il suo yo-yo, tenendolo in mano l'estremità della cordicella di massa trascurabile. Quanto tempo impiega la cordicella a svolgersi completamente, se è lunga 50 cm e all'inizio della caduta è completamente avvolta attorno allo yo-yo? $[0,4 \text{ s}]$

Suggerimento

La cordicella si srotola senza slittare sul bordo del disco dello yo-yo, pertanto essa ha accelerazione uguale all'accelerazione tangenziale dei punti sul bordo del disco, ossia $a = r \alpha$. Una volta trovato il valore di a , sfrutta la legge oraria del moto uniformemente accelerato per stabilire in quanto tempo la cordicella si srotola completamente.

- 66**  A rotating mass of air over the Atlantic ocean is slowly growing into a dangerous hurricane. As air from the outer parts of the vortex gets pulled towards the low pressure area in the hurricane eye, the storm's moment of inertia decreases and its angular velocity increases due to the conservation of angular momentum. If the diameter of the stormy area decreases by 25% , what is its increase in angular velocity?



$[78\%]$