Ultimo aggiornamento: November 1, 2026

🗺️ Percorso di quattro anni · Anno 1, Primavera · 🧱 Calcolatore integrato

Informazioni sul corso

Questo corso gratuito ha 8 unità e 8 laboratori. Sono i totali reali, non un programma più lungo accorciato.

Un controllo è un numero o un risultato di codice in una pagina del corso che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero stampato e quello ricalcolato devono coincidere.

> Questo è lo schema di un corso gratuito di autoapprendimento scritto da Saving Planets. Non è un corso universitario, non dà crediti accademici e nessuna scuola è coinvolta.
>
> Il programma segue il primo semestre di fisica universitaria con l'analisi (meccanica classica), il corso che ogni studente di ingegneria o fisica segue per primo. È modellato sui temi e sul livello di materiali aperti come OpenStax University Physics Volume 1 e MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics, a cui rimandiamo in tutto il corso. Queste organizzazioni non sostengono questa pagina.
>
> Cosa aggiungiamo: ogni unità è legata a un vero lavoro aerospaziale e di osservazione della Terra, ogni numero della pagina viene ricalcolato da uno script di verifica prima della pubblicazione, e ogni laboratorio ha una versione casalinga o virtuale perché chiunque possa farlo.
>
> Seguilo in ordine. Ogni unità ha obiettivi, idee chiave, equazioni, esempi passo per passo, esercizi con soluzioni complete, errori comuni, flashcard e un quiz. I tuoi progressi sono salvati solo in questo browser.

Come questo corso aiuta a salvare il pianeta

La meccanica è la fisica del lancio, del volo e dell'orbita. Le stesse equazioni mettono in orbita satelliti di osservazione della Terra come Landsat 9 e GRACE-FO, li tengono puntati e trasformano minime variazioni del loro moto in mappe di acqua, ghiaccio e terre emerse.

A terra, le stesse idee servono a dimensionare le turbine eoliche, a far consumare meno energia ad auto e aerei e ad aiutare gli ingegneri a pianificare lo spostamento di un asteroide. Ogni unità termina con una breve sezione con fonti che mostra come le sue idee aiutano persone e natura.

Per gli insegnanti

Puoi insegnare questo corso, oppure lasciare che uno studente lo faccia da solo. È gratis. Saving Planets non dà un voto né crediti scolastici.

- Questa pagina è l'intero corso: 8 unità e 8 laboratori (PHYS 110 + PHYS 110L).
- Prevedi 15 settimane, circa 6–9 ore a settimana, comprese le settimane di laboratorio.
- Segui il calendario di 15 settimane. Leggi l'unità, fai la pratica su carta, poi apri la risposta. Nella settimana di laboratorio, fai il laboratorio o la versione a casa.
- Un controllo è un numero o un risultato di codice nella pagina che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero che vedi e quello ricalcolato devono coincidere.
- Usa Stampa questa pagina, oppure scarica la guida di studio PDF. Il formulario è verso la fine.
- Chiedi: in che modo questa unità aiuta le persone e il pianeta? Ogni unità ha un riquadro verde con un fatto e la sua fonte.
- Copia il modello di guida per insegnanti e scrivi il nome della classe, il tempo che hai e le domande che farai. Apri il modello di guida per insegnanti

Prima di iniziare

Prerequisiti

- Algebra e trigonometria: risoluzione di equazioni, seno, coseno e tangente, teorema di Pitagora.
- Analisi I, almeno in parallelo: le derivate come tassi di variazione e gli integrali come aree. Questo corso usa dv/dt e $\int v\,dt$ dall'unità 1.
- Vettori in due dimensioni: componenti, modulo e direzione.
- Unità SI e notazione scientifica.

Come studiare

- Leggi l'unità, poi chiudila e prova da solo gli esempi svolti prima di controllare ogni passaggio.
- Fai un disegno per ogni problema. Per qualsiasi problema di forze, disegna un diagramma di corpo libero prima di scrivere un'equazione.
- Risolvi prima con i simboli e metti i numeri alla fine. Poi controlla le unità e se l'ordine di grandezza della risposta ha senso.
- Svolgi ogni esercizio su carta prima di aprire la risposta. Sbagliare e poi correggersi è ciò che fissa il metodo.
- Usa le simulazioni PhET per mettere alla prova l'intuizione: prevedi cosa succederà, poi avviala.
- Rifai i quiz qualche giorno dopo. La pratica distribuita batte una lunga sessione unica.
- Usa $g = 9.81\ m/s^2$ salvo diversa indicazione, e mantieni tre cifre significative.

Attrezzatura di laboratorio (per i laboratori reali)

- Metro rigido e metro a nastro; calibro a corsoio se disponibile.
- Cronometro (va bene un telefono) e, idealmente, un'app del telefono o un sensore scolastico che registri moto o accelerazione.
- Carrello e rotaia a basso attrito (o un'asse liscia), una carrucola e una serie di masse da appendere.

- Una pallina, una rampa, carta carbone o comune per segnare i punti di atterraggio.
- Spago, un pesetto denso (va bene un piombo da pesca) e un goniometro.
- Foglio di calcolo per medie, deviazioni standard e grafici.

Programma suggerito di 15 settimane

Circa 6-9 ore a settimana: lettura, esercizi e, nelle settimane di laboratorio, il laboratorio.

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
1	Misura, vettori e moto in una dimensione	Unità, incertezza, vettori; laboratorio A	OpenStax 1.1–1.7, 2.1–2.2
2	Misura, vettori e moto in una dimensione	Velocità e accelerazione come derivate; accelerazione costante; caduta libera	OpenStax 3.1–3.5
3	Moto in due dimensioni: proiettili e cerchi	Proiettili, moto relativo, moto circolare; laboratorio B	OpenStax 4.1–4.5
4	Leggi di Newton, attrito e dinamica circolare	Leggi di Newton e diagrammi di corpo libero	OpenStax 5.1–5.7
5	Leggi di Newton, attrito e dinamica circolare	Attrito, corpi collegati, dinamica circolare; laboratori C e D	OpenStax 6.1–6.4
6	Lavoro, energia e potenza	Lavoro, energia cinetica, potenza	OpenStax 7.1–7.4
7	Lavoro, energia e potenza	Energia potenziale e conservazione dell’energia; laboratorio E	OpenStax 8.1–8.5
8	Quantità di moto, urti e razzi	Quantità di moto, impulso, urti, centro di massa, razzi; laboratorio F; esercitazione di metà corso	OpenStax 9.1–9.7
9	Rotazione, momento torcente e momento angolare	Cinematica rotazionale, momento d’inerzia	OpenStax 10.1–10.5
10	Rotazione, momento torcente e momento angolare	Momento torcente, rotolamento, momento angolare; laboratorio G	OpenStax 10.6–10.8, 11.1–11.3
11	Gravitazione e orbite	Legge di gravitazione di Newton, g in quota, satelliti	OpenStax 13.1–13.4
12	Gravitazione e orbite	Leggi di Keplero, velocità di fuga, trasferimenti orbitali	OpenStax 13.5–13.6

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
13	Oscillazioni e introduzione ai fluidi	Moto armonico semplice, pendoli, smorzamento, risonanza; laboratorio H	OpenStax 15.1–15.6
14	Oscillazioni e introduzione ai fluidi	Fluidi: pressione, spinta di Archimede, continuità, Bernoulli	OpenStax 14.1–14.6
15	Ripasso	Ripasso ed esercitazione finale	Tutte le unità

I tuoi progressi

Spunta unità e laboratori man mano che li finisci, e fai i quiz. Progressi e punteggi sono salvati solo in questo browser e non ci vengono mai inviati.

Unità

Misura, vettori e moto in una dimensione

Come misurano i fisici, come i vettori descrivono la direzione, e come posizione, velocità e accelerazione sono legate dall'analisi.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Usare unità SI, cifre significative e un'incertezza dichiarata per ogni valore misurato.
- Sommare vettori per componenti e trovare modulo e direzione.
- Definire la velocità come v = dx/dt e l'accelerazione come a = dv/dt, e leggerle dai grafici.
- Risolvere problemi ad accelerazione costante, inclusa la caduta libera, con le quattro equazioni cinematiche.

Concetti chiave

- Ogni misura ha un'incertezza. Riporta un valore come migliore stima ± incertezza, con le unità, e arrotonda l'incertezza a una o due cifre significative.
- Un vettore ha un modulo e una direzione. Somma i vettori sommando le loro componenti x e y, mai i moduli.
- La velocità è la pendenza di un grafico posizione–tempo; l'accelerazione è la pendenza di un grafico velocità–tempo. L'area sotto un grafico velocità–tempo è lo spostamento.
- Con accelerazione costante, le quattro equazioni cinematiche derivano dall'integrare due volte a = costante.
- Vicino alla superficie terrestre, ogni oggetto in caduta libera (senza resistenza dell'aria) accelera verso il basso a g ≈ 9.81 m/s², qualunque sia la sua massa.

Equazioni chiave

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}$$

`v=dx/dt, a=dv/dt`

Velocità e accelerazione come derivate

$$v = v_0 + at$$

`v=v_0+at`

Velocità dopo un tempo t ad accelerazione costante

$$x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2} a t^2$$

x=x_0+v_0t+12at^2

Posizione dopo un tempo t ad accelerazione costante

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

v^2=v_0^2+2a(x-x_0)

Velocità e distanza, senza il tempo

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(A_y/A_x)$$

| A|=_x^2+A_y^2, θ=^-1(A_y/A_x)

Modulo e direzione dalle componenti

Esempi svolti passo passo

Esempio 1.1 Un'auto parte da ferma e accelera in modo costante a 3.0 m/s² per 8.0 s. Che velocità ha e quanta strada ha percorso?

1. Dati: v_0 = 0, a = 3.0 m/s², t = 8.0 s.
2. v = v_0 + at = 0 + 3.0 × 8.0 = 24 m/s.
3. x = v_0t + ½at² = 0 + ½ × 3.0 × 8.0² = 96 m.

Risposta: 24 m/s (86 km/h) dopo 96 m.

Esempio 1.2 Una palla viene lanciata verso l'alto a 15 m/s. Quanto impiega a raggiungere il punto più alto, e quanto sale?

1. In cima, v = 0. Prendi l'alto come positivo, quindi a = −9.81 m/s².
2. Tempo: 0 = 15 − 9.81t, quindi t = 15 ÷ 9.81 = 1.53 s.
3. Altezza: 0 = 15² − 2 × 9.81 × h, quindi h = 225 ÷ 19.62 = 11.5 m.

Risposta: 1.53 s fino in cima, 11.5 m sopra il punto di lancio.

Esempio 1.3 Un'escursionista cammina 3.0 km verso est e poi 4.0 km verso nord. Qual è il suo spostamento?

1. Componenti: x = 3.0 km, y = 4.0 km.
2. Modulo: √(3.0² + 4.0²) = √25 = 5.0 km.
3. Direzione: $\tan^{-1}$(4.0/3.0) = 53.1° a nord di est.

Risposta: 5.0 km a 53.1° a nord di est. Ha camminato 7.0 km, ma il suo spostamento è di 5.0 km.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un'auto a 27 m/s frena in modo costante a 6.0 m/s². Quanta strada percorre prima di fermarsi, e in quanto tempo?

   Distanza: $0 = 27^2 - 2 \times 6.0 \times d$, quindi $d = 729 \div 12 = 60.8$ m. Tempo: $t = 27 \div 6.0 = 4.5$ s.

2. Un sasso viene lasciato cadere da fermo da un ponte di 20 m. Trascurando la resistenza dell'aria, quanto impiega a toccare l'acqua e a che velocità?

   $t = \sqrt{(2h/g)} = \sqrt{(40 \div 9.81)} = 2.02$ s. $v = gt = 9.81 \times 2.02 = 19.8$ m/s.

3. La posizione di un drone è $x(t) = 2.0t^3 - 3.0t$ (metri, secondi). Trova velocità e accelerazione a $t = 2.0$ s.

   $v = dx/dt = 6.0t^2 - 3.0 = 6.0 \times 4 - 3.0 = 21$ m/s. $a = dv/dt = 12t = 24$ m/s².

4. La velocità in orbita terrestre bassa è di circa 7.8 km/s. Convertila in km/h.

   7.8 km/s × 3600 s/h = 28080 km/h, circa 28000 km/h.

5. Un pannello solare misura 2.50 ± 0.02 m per 1.20 ± 0.01 m. Trova l'area e l'incertezza.

   $A = 2.50 \times 1.20 = 3.00$ m². Incertezze relative: 0.02/2.50 = 0.8% e 0.01/1.20 = 0.83%. Combinale in quadratura: $\sqrt{(0.8^2 + 0.83^2)} = 1.16\%$. $\Delta A = 0.0116 \times 3.00 = 0.035$ m². $A = 3.00 \pm 0.03$ m².

Errori concettuali comuni

Mito: Se la velocità è zero, anche l'accelerazione deve esserlo.

In realtà: Nel punto più alto del volo una palla lanciata ha $v = 0$ ma $a = -9.81$ m/s². La sua velocità sta ancora cambiando.

Mito: Gli oggetti più pesanti cadono più in fretta.

In realtà: Senza resistenza dell'aria tutti gli oggetti cadono con la stessa accelerazione g. È la resistenza dell'aria, non il peso, a far cadere lentamente una piuma.

Mito: Distanza e spostamento sono la stessa cosa.

In realtà: Lo spostamento è un vettore dall'inizio alla fine. Un giro di pista di atletica dà una distanza di 400 m e uno spostamento nullo.

Flashcard

Spostamento

Variazione di posizione, un vettore: $\Delta x = x_{final} - x_{initial}$.

Velocità

Tasso di variazione della posizione, $v = dx/dt$ (m/s).

Accelerazione

Tasso di variazione della velocità, $a = dv/dt$ (m/s^2).

Caduta libera

Moto sotto la sola gravità; $a = g \approx 9.81$ m/s^2 verso il basso.

Incertezza

L'intervallo entro cui probabilmente si trova il valore vero, riportato come ± con le unità.

Componenti di un vettore

$A_x = A \cos\theta$, $A_y = A \sin\theta$.

Quiz di autoverifica

1. La pendenza di un grafico velocità–tempo dà la…

posizione

spostamento

accelerazione

strappo (jerk)

accelerazione. $a = dv/dt$, la pendenza di $v(t)$. L'area sotto $v(t)$ è lo spostamento.

2. Una palla lanciata verso l'alto è nel punto più alto della traiettoria. Cosa è vero?

$v = 0$ e $a = 0$

$v = 0$ e $a = -9.81$ m/s^2

v è massima

a punta verso l'alto

$v = 0$ e $a = -9.81\ m/s^2$. La gravità tira verso il basso per tutto il tempo, quindi $a = -g$ anche quando $v = 0$.

3. Si sommano vettori di 3 N verso est e 4 N verso nord. La risultante è…

7 N

1 N

5 N

12 N

5 N. Componenti perpendicolari: $\sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5$ N.

4. Se $x(t) = 5t^2$, la velocità a $t = 3$ s è…

15 m/s

30 m/s

45 m/s

10 m/s

30 m/s. $v = dx/dt = 10t = 30$ m/s.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

I satelliti di osservazione della Terra servono solo se sappiamo esattamente dov'erano quando è stata scattata ogni immagine. Le loro posizioni derivano dall'integrazione di velocità e accelerazione nel tempo, la stessa analisi di questa unità, verificata con il GPS.

Landsat 9 orbita a 705 km sopra la Terra. Conoscerne la posizione al metro permette agli scienziati di confrontare immagini riprese a anni di distanza e misurare la perdita di foreste, il ritiro dei ghiacciai e la salute delle colture, aiutando a gestire il territorio e proteggendo gli habitat.

L'incertezza conta altrettanto: una variazione misurata vale solo se è maggiore dell'incertezza della misura.

Su Saving Planets: Landsat 9 · Guida di fisica

Fonti: NASA: Landsat 9 (in inglese) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/) · JCGM: Guida all'espressione dell'incertezza (in inglese) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 3.1 Position, Displacement and Average Velocity (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): Sezione di manuale gratuita con esempi svolti.
- OpenStax University Physics 1, 3.4 Motion with Constant Acceleration (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration): Derivazioni ed esercizi.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (in inglese) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): Video delle lezioni, appunti ed esercizi gratuiti del MIT per tutto il corso.
- PhET: The Moving Man (https://phet.colorado.edu/en/simulations/moving-man): Collega i grafici di posizione, velocità e accelerazione.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Somma vettori per componenti.

Guarda la lezione

Vectors in Multiple Dimensions (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-2) (in inglese)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licenza: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condizioni d'uso (https://oyc.yale.edu/terms). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Moto in due dimensioni: proiettili e cerchi

Dividere il moto in parti orizzontale e verticale indipendenti, poi aggiungere il moto circolare, la chiave di ogni orbita.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trattare separatamente il moto orizzontale e verticale di un proiettile e trovare tempo di volo, gittata e altezza massima.
- Trovare la velocità relativa con la somma vettoriale.
- Calcolare l'accelerazione centripeta e spiegare perché punta verso il centro.

Concetti chiave

- Senza resistenza dell'aria, un proiettile ha velocità orizzontale costante e accelerazione costante g verso il basso. Le due direzioni sono indipendenti e condividono solo il tempo.
- Su terreno piano la gittata è R = v_0^2 sin 2θ / g, massima a 45°.
- Un oggetto che si muove su un cerchio a velocità costante in modulo sta accelerando, perché la sua direzione cambia. L'accelerazione a = v^2/r punta verso il centro.
- Le velocità si sommano come vettori: la velocità di una barca rispetto alla riva è la sua velocità rispetto all'acqua più la velocità dell'acqua.

Equazioni chiave

$$x = v_0 \cos\theta \, t, \quad y = v_0 \sin\theta \, t - \tfrac{1}{2} g t^2$$

`x=v_0θ t, y=v_0θ t-12gt^2`

Posizione di un proiettile

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`R=(v_0^22θ)/(g)`

Gittata su terreno piano

$$H = \frac{(v_0 \sin\theta)^2}{2g}$$

`H=((v_0θ)^2)/(2g)`

Altezza massima

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

a_c=(v^2)/(r)=ω^2r

Accelerazione centripeta

Esempi svolti passo passo

Esempio 2.1 Una palla viene lanciata a 20 m/s, 30° sopra un terreno piano. Trova tempo di volo, gittata e altezza massima.

1. Componenti: v_x = 20 cos 30° = 17.3 m/s; v_y = 20 sin 30° = 10.0 m/s.
2. Tempo di volo: t = 2v_y/g = 20.0 ÷ 9.81 = 2.04 s.
3. Gittata: R = v_xt = 17.3 × 2.04 = 35.3 m.
4. Altezza: H = v_y^2/2g = 100 ÷ 19.62 = 5.10 m.

Risposta: 2.04 s, 35.3 m, 5.10 m.

Esempio 2.2 Un pacco viene lanciato orizzontalmente a 12 m/s da una scogliera di 45 m. Dove atterra?

1. Verticale: 45 = ½ × 9.81 × t^2, quindi t = √(90 ÷ 9.81) = 3.03 s.
2. Orizzontale: x = 12 × 3.03 = 36.3 m.

Risposta: A 36.3 m dalla base della scogliera, dopo 3.03 s.

Esempio 2.3 Un satellite gira attorno alla Terra a 420 km di quota a 7.66 km/s. Qual è la sua accelerazione centripeta? (Raggio terrestre 6371 km.)

1. Raggio dell’orbita r = 6371 + 420 = 6791 km = 6.791 × 10^6 m.
2. a = v^2/r = $(7{,}660)^2$ ÷ 6.791 × 10^6 = 8.64 m/s^2.

Risposta: 8.64 m/s^2, circa l’88% di g in superficie. Quell’accelerazione è la gravità stessa: il satellite è in caduta libera attorno alla Terra.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Con quale angolo un proiettile va più lontano su terreno piano, e quanto lontano arriva se lanciato a 20 m/s?

   45°. $R = v_0^2/g = 400 \div 9.81 = 40.8$ m.

2. Una barca punta dritta verso l'altra riva a 4.0 m/s rispetto all'acqua. La corrente scorre a 3.0 m/s. Trova la velocità della barca rispetto alla riva e la sua direzione.

   $\sqrt{(4.0^2 + 3.0^2)} = 5.0$ m/s, a $\tan^{-1}(3.0/4.0) = 36.9°$ verso valle rispetto alla traversata diritta.

3. Un'auto affronta una curva di raggio 50 m a 15 m/s. Qual è la sua accelerazione centripeta?

   $a = 15^2 \div 50 = 4.5$ m/s².

4. A che velocità si muove un punto dell'equatore per la rotazione terrestre? (Raggio equatoriale 6378 km, un giro in 86164 s.)

   $v = 2\pi r/T = 2\pi \times 6.378 \times 10^6 \div 86164 = 465$ m/s. I razzi lanciati verso est vicino all'equatore ottengono questa velocità gratis.

Errori concettuali comuni

Mito: Un proiettile sparato orizzontalmente tocca terra dopo uno lasciato cadere dalla stessa altezza.
In realtà: Il moto verticale non dipende da quello orizzontale. Entrambi toccano terra nello stesso istante (trascurando la resistenza dell'aria e la curvatura terrestre).

Mito: Un oggetto in moto circolare a velocità costante non accelera.
In realtà: La sua velocità cambia direzione, quindi accelera verso il centro di v^2/r.

Mito: Nel punto più alto della traiettoria di un proiettile la sua velocità è zero.
In realtà: Solo la componente verticale è zero. Quella orizzontale non cambia.

Flashcard

Proiettile

Oggetto che si muove sotto la sola gravità dopo il lancio.

Gittata

Distanza orizzontale su terreno piano: $R = v_0^2 \sin 2\theta / g$.

Accelerazione centripeta

$a = v^2/r$ verso il centro di un cerchio.

Velocità angolare ω

Velocità di rotazione in rad/s; $v = \omega r$.

Velocità relativa

v_A rispetto al suolo = v_A rispetto a B + v_B rispetto al suolo.

Periodo T

Tempo per un giro completo: $T = 2\pi r/v$.

Quiz di autoverifica

1. Per un proiettile senza resistenza dell'aria, la velocità orizzontale...

diminuisce costantemente

resta costante

aumenta

è zero in cima

resta costante. Nessuna forza orizzontale significa nessuna accelerazione orizzontale.

2. Due angoli di lancio danno la stessa gittata su terreno piano. Quale coppia?

30° e 60°

20° e 45°

10° e 50°

45° e 90°

30° e 60°. $\sin 2\theta$ è uguale per angoli complementari: $\sin 60° = \sin 120°$.

3. Se la velocità su un cerchio raddoppia a parità di raggio, l'accelerazione centripeta...

raddoppia

si dimezza

quadruplica

resta uguale

quadruplica. $a = v^2/r$, quindi $2^2 = 4$ volte.

4. La direzione dell’accelerazione centripeta è…

lungo la velocità

verso l’esterno

verso il centro

verso il basso

verso il centro. Punta sempre verso il centro del cerchio.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Un’orbita è un proiettile che non atterra mai: lanciato di lato abbastanza veloce, cade verso la Terra allo stesso ritmo con cui la superficie terrestre si incurva. Per questo il satellite dell’esempio 2.3 accelera di v^2/r senza mai avvicinarsi.

I siti di lancio sfruttano la rotazione terrestre. Lanciare verso est vicino all’equatore aggiunge fino a circa 465 m/s, risparmiando propellente a ogni lancio di un satellite meteo o climatico.

Ragionare per proiettili protegge anche le persone a terra: le stesse equazioni, più la resistenza, servono a prevedere dove potrebbe cadere uno stadio o un detrito in rientro.

Su Saving Planets: Calcolatore di moto del proiettile con resistenza · Guida alle orbite

Fonti: OpenStax University Physics 1, 4.4 Circular Motion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion) · ESA: detriti spaziali (in inglese) (https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 4.3 Projectile Motion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-3-projectile-motion): Sezione di manuale gratuita con esempi ed esercizi.
- OpenStax University Physics 1, 4.4 Uniform and Nonuniform Circular Motion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion): L’accelerazione centripeta in dettaglio.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): Cambia angolo, velocità e resistenza dell’aria.

Guarda la lezione

3.4 Projectile Motion (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/3-3/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d’uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Leggi di Newton, attrito e dinamica circolare

Le forze causano accelerazione. I diagrammi di corpo libero e ΣF = ma risolvono quasi ogni problema del corso.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Enunciare le tre leggi di Newton e riconoscere le coppie azione–reazione.
- Disegnare un diagramma di corpo libero e applicare ΣF = ma lungo assi scelti.
- Risolvere problemi di piano inclinato, carrucole e corpi collegati con attrito statico e dinamico.
- Applicare la seconda legge di Newton al moto circolare.

Concetti chiave

- Prima legge: un oggetto mantiene la sua velocità a meno che agisca su di esso una forza netta.
- Seconda legge: ΣF = ma. È la forza netta, non una singola forza, a determinare l'accelerazione.
- Terza legge: le forze vanno a coppie, uguali in intensità e opposte in direzione, che agiscono su oggetti diversi.
- L'attrito statico può valere qualsiasi cosa fino a $\mu_s N$; l'attrito dinamico è $\mu_k N$ e si oppone allo scivolamento.
- Nel moto circolare la forza netta verso l'interno è $m\,v^2/r$. È fornita da forze reali come tensione, attrito, reazione normale o gravità.

Equazioni chiave

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

`F=m a`

Seconda legge di Newton

$$W = mg$$

`W=mg`

Peso

$$f_s \le \mu_s N, \quad f_k = \mu_k N$$

`f_sμ_sN, f_k=μ_kN`

Attrito statico e dinamico

$$\sum F_r = \frac{mv^2}{r}$$

`F_r=(mv^2)/(r)`

Seconda legge per il moto circolare

Esempi svolti passo passo

Esempio 3.1 Un'auto di 1500 kg passa da 0 a 25 m/s in 10 s. Quale forza netta agisce su di essa?

1. a = Δv/Δt = 25 ÷ 10 = 2.5 m/s².
2. ΣF = ma = 1,500 × 2.5 = 3,750 N.

Risposta: 3750 N in avanti.

Esempio 3.2 Una scatola di 5.0 kg scivola su una rampa a 30° con μ_k = 0.20. Trova la sua accelerazione.

1. Assi lungo la rampa e perpendicolari a essa.
2. Perpendicolare: N = mg cos 30°.
3. Lungo la rampa: ma = mg sin 30° − μ_k mg cos 30°.
4. a = 9.81 × (0.500 − 0.20 × 0.866) = 3.21 m/s². La massa si semplifica.

Risposta: 3.21 m/s² lungo la rampa verso il basso.

Esempio 3.3 Una macchina di Atwood appende 3.0 kg e 2.0 kg a una carrucola leggera senza attrito. Trova accelerazione e tensione.

1. Il lato più pesante scende. Per 3.0 kg: 3.0g − T = 3.0a. Per 2.0 kg: T − 2.0g = 2.0a.
2. Sommando: 1.0g = 5.0a, quindi a = 9.81 ÷ 5 = 1.96 m/s².
3. T = 2.0 × (9.81 + 1.96) = 23.5 N.

Risposta: a = 1.96 m/s², T = 23.5 N.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una persona di 70 kg sta su una bilancia in un ascensore che accelera verso l'alto a 1.5 m/s². Cosa segna la bilancia?

$N - mg = ma$, quindi $N = 70 \times (9.81 + 1.5) = 792$ N (segna come se la massa fosse 80.7 kg).

2. Una cassa di 40 kg poggia su un pavimento con $\mu_s = 0.50$. Quale spinta orizzontale la mette appena in moto?

   $F = \mu_s mg = 0.50 \times 40 \times 9.81 = 196$ N.

3. Un razzo di massa 5.0×10^5 kg ha 7.6×10^6 N di spinta al decollo. Trova la sua accelerazione iniziale.

   $a = (T - mg)/m = 7.6 \times 10^6 \div 5.0 \times 10^5 - 9.81 = 15.2 - 9.81 = 5.39$ m/s² verso l'alto. Il suo rapporto spinta/peso è 1.55.

4. Una spinta di 10 N agisce su un blocco di 2.0 kg che spinge un blocco di 3.0 kg su un pavimento senza attrito. Trova l'accelerazione e la forza tra i blocchi.

   $a = 10 \div 5.0 = 2.0$ m/s². La forza sul blocco di 3.0 kg è $3.0 \times 2.0 = 6.0$ N.

5. Qual è la velocità massima di un'auto in una curva piana di raggio 40 m se $\mu_s = 0.60$?

   L'attrito fornisce la forza verso l'interno: $\mu_s mg = mv^2/r$, quindi $v = \sqrt{(\mu_s g r)} = \sqrt{(0.60 \times 9.81 \times 40)} = 15.3$ m/s.

Errori concettuali comuni

Mito: Un oggetto in moto ha bisogno di una forza per continuare a muoversi.

In realtà: Solo per vincere attrito o resistenza. Nello spazio una sonda viaggia per anni a motori spenti.

Mito: Azione e reazione si annullano, quindi niente può accelerare.

In realtà: Agiscono su oggetti diversi, quindi non si annullano mai su un unico oggetto.

Mito: La reazione normale è sempre uguale a mg.

In realtà: Solo su una superficie orizzontale senza accelerazione verticale. Su una rampa è $mg \cos \theta$; in un ascensore che accelera cambia.

Flashcard

Prima legge di Newton

La velocità resta costante a meno che agisca una forza netta.

Seconda legge di Newton

$\Sigma F = ma$.

Terza legge di Newton

Diagramma di corpo libero

Le forze vanno a coppie uguali e opposte su oggetti diversi.

Schizzo di un solo oggetto con tutte le forze che agiscono su di esso.

Coefficiente d’attrito μ

Rapporto tra forza d’attrito e reazione normale; adimensionale.

Newton (N)

1 N = 1 kg·m/s².

Quiz di autoverifica

1. Un veicolo spaziale viaggia a motori spenti lontano da ogni pianeta. La sua velocità…

diminuisce lentamente

resta costante

aumenta

scende a zero

resta costante. Nessuna forza netta significa nessuna accelerazione (prima legge).

2. Un razzo spinge i gas di scarico all’indietro. Cosa spinge il razzo in avanti?

L’aria dietro di lui

Il suolo

I gas di scarico che spingono su di lui

Niente; non viene spinto

I gas di scarico che spingono su di lui. Terza legge: il gas spinge il razzo con una forza uguale e opposta. Ecco perché i razzi funzionano nel vuoto.

3. Su una rampa senza attrito di angolo θ, un blocco accelera a…

g

g cos θ

g sin θ

g tan θ

g sin θ. Solo la componente della gravità lungo la rampa, mg sin θ, non è bilanciata.

4. Cosa fornisce la forza centripeta a un’auto che curva su una strada piana?

Il motore

L’attrito statico della strada

La gravità

La forza centrifuga

L’attrito statico della strada. L’attrito statico tra pneumatici e strada punta verso il centro della curva.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La terza legge di Newton spiega come funziona ogni razzo: spinge i gas all’indietro e i gas lo spingono in avanti. Quei lanci portano i satelliti che monitorano meteo, incendi, livello del mare e gas serra.

Attrito e resistenza si portano via gran parte della nostra energia. Pneumatici e cuscinetti a minore attrito, e veicoli più aerodinamici, richiedono meno forza alla stessa velocità e quindi meno carburante o batteria.

Il rapporto spinta/peso è il primo numero che gli ingegneri controllano su qualsiasi lanciatore: sotto 1 non può decollare.

Su Saving Planets: Calcolatore del rapporto spinta/peso · Osservazione della Terra

Fonti: OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton’s Second Law (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law) · DOE degli Stati Uniti: Vehicle Technologies Office (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton’s Second Law (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax University Physics 1, 6.2 Friction (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): Attrito statico e dinamico con esempi.

- OpenStax University Physics 1, 6.3 Centripetal Force (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force): Curve sopraelevate e dinamica circolare.
- PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics): Forza netta, attrito e accelerazione.
- PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp): Forze su un piano inclinato con attrito.

Guarda la lezione

Newton's Laws of Motion (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-3) (in inglese)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licenza: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condizioni d'uso (https://oyc.yale.edu/terms). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Lavoro, energia e potenza

L’energia è la contabilità che rende facili i problemi di forze difficili, e la lingua di ogni centrale, batteria e motore.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Calcolare il lavoro come W = ∫F·dx, anche per una molla.
- Usare il teorema dell’energia cinetica e la conservazione dell’energia meccanica.
- Tener conto dell’energia persa per attrito e calcolare potenza e rendimento.
- Stimare la potenza del vento con P = ½ρAv³.

Concetti chiave

- Il lavoro è la forza per lo spostamento lungo la forza: W = Fd cos θ per una forza costante.
- Il lavoro netto su un oggetto è uguale alla variazione della sua energia cinetica.
- Gravità e molle sono forze conservative: il loro lavoro può essere immagazzinato come energia potenziale e restituito.
- L’attrito trasforma energia meccanica in energia termica; l’energia totale resta conservata.
- La potenza è il ritmo con cui si compie lavoro, in watt (J/s).

Equazioni chiave

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

`W= F· d x`

Lavoro di una forza

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2, \quad W_{net} = \Delta K$$

`K=12mv^2, W_net=Δ K`

Energia cinetica e teorema dell’energia cinetica

$$U_g = mgh, \quad U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

`U_g=mgh, U_s=12kx^2`

Energia potenziale gravitazionale ed elastica

$$K_i + U_i = K_f + U_f + E_{th}$$

K_i+U_i=K_f+U_f+E_th

Conservazione dell'energia con attrito

$$P = \frac{dW}{dt} = Fv$$

P=dW/dt=Fv

Potenza

$$P_{wind} = \tfrac{1}{2}\rho A v^3$$

P_wind=12ρ Av^3

Potenza trasportata dal vento attraverso un'area A

Esempi svolti passo passo

Esempio 4.1 Un'auto di 1200 kg a 20 m/s frena con una forza d'attrito costante di 6000 N. Quanta strada percorre?

1. K = ½ × 1,200 × 20² = 240,000 J.
2. Il lavoro dell'attrito la elimina tutta: 6000 × d = 240000.
3. d = 40 m.

Risposta: 40 m.

Esempio 4.2 Un ottovolante parte da fermo 30 m sopra il fondo di una discesa. Senza attrito, che velocità ha in fondo?

1. mgh = ½mv², quindi la massa si semplifica.
2. v = √(2gh) = √(2 × 9.81 × 30) = 24.3 m/s.

Risposta: 24.3 m/s, qualunque sia la forma del percorso.

Esempio 4.3 Una turbina eolica ha pale di 50 m. Quanta potenza trasporta un vento di 10 m/s attraverso l'area spazzata, e qual è il massimo che una turbina potrebbe estrarre?

1. A = πr² = π × 50² = 7,854 m².
2. P = ½ρAv³ = ½ × 1.225 × 7,854 × 10³ = 4.81 × 10⁶ W.
3. Il limite di Betz dice che nessuna turbina può catturarne più di 16/27 (59.3%): 0.593 × 4.81 MW = 2.85 MW.

Risposta: Il vento trasporta 4.81 MW; al massimo se ne potrebbero catturare 2.85 MW. Le turbine reali ne ottengono meno.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una molla con k = 200 N/m compressa di 0.10 m lancia una pallina di 0.050 kg. A che velocità parte la pallina?

   Energia immagazzinata $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times 0.01 = 1.0$ J. $v = \sqrt{(2 \times 1.0 \div 0.050)} = 6.32$ m/s.

2. Una forza di 50 N tira una slitta per 10 m a 30° sopra l'orizzontale. Quanto lavoro compie?

   $W = Fd \cos\theta = 50 \times 10 \times 0.866 = 433$ J.

3. Quanta potenza serve per sollevare 70 kg di 3.0 m in 2.0 s?

   $P = mgh/t = 70 \times 9.81 \times 3.0 \div 2.0 = 1030$ W.

4. Un'auto di 1500 kg frena da 25 m/s fino a fermarsi. Quanta energia cinetica viene sottratta? Se la frenata rigenerativa ne immagazzinasse il 60%, quanto sarebbe?

   $K = \frac{1}{2} \times 1{,}500 \times 25^2 = 468{,}750$ J ≈ 469 kJ. Il 60% è 281 kJ.

5. Se la velocità del vento scende da 10 m/s a 7 m/s, di quale frazione cala la potenza del vento?

   La potenza va come v^3: $(7/10)^3 = 0.343$, quindi scende a circa il 34% dell'originale.

Errori concettuali comuni

Mito: Portare una scatola pesante attraverso una stanza a velocità costante compie molto lavoro su di essa.

In realtà: La gravità e la tua forza verso l'alto sono perpendicolari al moto, quindi non compiono lavoro sulla scatola.

Mito: L'energia si perde per attrito.

In realtà: Viene convertita in energia termica, non distrutta. Si perde solo come energia meccanica utile.

Mito: Una turbina con diametro doppio ottiene il doppio della potenza.

In realtà: La potenza cresce con l'area, quindi raddoppiare il diametro dà quattro volte la potenza.

Flashcard

Lavoro

$W = Fd \cos\theta$; energia trasferita da una forza (J).

Energia cinetica

$K = \frac{1}{2}mv^2$.

Energia potenziale

Energia immagazzinata dovuta alla posizione: mgh, $\frac{1}{2}kx^2$.

Teorema dell'energia cinetica

$W_{net} = \Delta K$.

Potenza

Ritmo di trasferimento di energia, $P = dW/dt$ (W).

Limite di Betz

Nessuna turbina eolica può catturare più di $16/27 \approx 59.3\%$ della potenza del vento.

Quiz di autoverifica

1. Se la velocità di un'auto raddoppia, la sua energia cinetica...

raddoppia

triplica

quadruplica

resta uguale

quadruplica. $K = \frac{1}{2}mv^2$, quindi $2^2 = 4$.

2. L'unità SI della potenza è il...

joule

watt

newton

chilowattora

watt. 1 W = 1 J/s. Un chilowattora è un'energia.

3. La potenza del vento attraverso una turbina varia con la velocità del vento come...

v

v^2

v^3

$\sqrt{v}$

v^3. Portata in massa $\propto$ v ed energia cinetica per kg $\propto v^2$, quindi P $\propto v^3$.

4. Il lavoro dell'attrito dinamico su un blocco che scivola è...

positivo

zero

negativo

dipende solo dalla massa

negativo. L'attrito si oppone al moto, quindi sottrae energia cinetica.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Le turbine eoliche trasformano l'energia cinetica dell'aria in moto in elettricità. Poiché la potenza del vento cresce con il cubo della velocità e con il quadrato della lunghezza delle pale, gli ingegneri costruiscono torri più alte e pale più lunghe: ecco perché le turbine offshore sono così grandi.

I veicoli elettrici e ibridi usano la frenata rigenerativa: il motore funziona da generatore e trasforma parte dell'energia cinetica dell'auto in energia immagazzinata nella batteria invece che in calore.

La contabilità energetica è il modo in cui gli ingegneri confrontano in modo equo le opzioni di energia pulita, in joule e watt anziché in promesse.

Su Saving Planets: Calcolatore della potenza del rotore in hovering · Calcolatori

Fonti: DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · DOE degli Stati Uniti: basi dei veicoli elettrici (in inglese) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 7.3 Work–Energy Theorem (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/7-3-work-energy-theorem): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax University Physics 1, 8.3 Conservation of Energy (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy): Diagrammi dell'energia ed esempi.
- PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park): Guarda energia cinetica, potenziale e termica scambiarsi.

Guarda la lezione

Work-Energy Theorem and Law of Conservation of Energy (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-5) (in inglese)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licenza: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condizioni d'uso (https://oyc.yale.edu/terms). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Quantità di moto, urti e razzi

La quantità di moto si conserva in ogni urto ed esplosione. Spiega i razzi, e come un veicolo spaziale ha spostato un asteroide.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Collegare l'impulso alla variazione della quantità di moto, J = ∫F dt = Δp.
- Applicare la conservazione della quantità di moto agli urti elastici e anelastici in una dimensione.
- Trovare il centro di massa di un sistema.
- Usare l'equazione del razzo Δv = v_e ln(m_0/m_f).

Concetti chiave

- La quantità di moto p = mv è un vettore. Senza forza esterna netta, la quantità di moto totale di un sistema resta costante.
- In un urto elastico si conserva anche l'energia cinetica; in uno anelastico una parte diventa calore, suono e deformazione. In un urto perfettamente anelastico gli oggetti restano uniti.
- Un tempo d'urto più lungo significa una forza media minore per la stessa variazione di quantità di moto. È così che funzionano airbag e zone a deformazione.
- Un razzo acquista velocità espellendo massa all'indietro. La sua variazione di velocità dipende dalla velocità di scarico e dal rapporto tra massa iniziale e finale, non da quanto in fretta brucia il propellente.

Equazioni chiave

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad \vec{J} = \int \vec{F}\, dt = \Delta\vec{p}$$

```
p=m v, J= F dt=Δ p
```

Quantità di moto e impulso

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

```
m_1v_1i+m_2v_2i=m_1v_1f+m_2v_2f
```

Conservazione della quantità di moto (1D)

$$x_{cm} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

```
x_cm=( m_ix_i)/( m_i)
```

Centro di massa

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

```
Δ v=v_e(m_0)/(m_f)
```

Equazione del razzo di Ciolkovskij

Esempi svolti passo passo

Esempio 5.1 Una palla da baseball di 0.145 kg arriva a 40 m/s e lascia la mazza a 50 m/s in verso opposto. Il contatto dura 1.0 ms. Trova l’impulso e la forza media.

1. Prendi come positivo il verso di uscita: Δp = 0.145 × (50 − (−40)) = 0.145 × 90 = 13.1 kg·m/s.
2. F = Δp/Δt = 13.05 ÷ 0.0010 = 13,000 N.

Risposta: Impulso 13.1 kg·m/s; forza media circa 13000 N.

Esempio 5.2 Un’auto di 1000 kg a 20 m/s tampona un’auto ferma di 1500 kg e restano agganciate. Trova la loro velocità e l’energia cinetica persa.

1. Quantità di moto: 1000 × 20 = 2500 × v, quindi v = 8.0 m/s.
2. K prima: ½ × 1000 × 20² = 200 kJ. K dopo: ½ × 2500 × 8.0² = 80 kJ.
3. Persa: 120 kJ, il 60% dell’originale.

Risposta: 8.0 m/s; 120 kJ trasformati in deformazione, calore e suono.

Esempio 5.3 Uno stadio di razzo ha velocità di scarico di 3000 m/s e rapporto di massa $m_0/m_f = 5$. Quale variazione di velocità può dare, trascurando gravità e resistenza?

1. $\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f) = 3{,}000 \times \ln 5$.
2. $\ln 5 = 1.609$, quindi $\Delta v = 4{,}830$ m/s.

Risposta: Circa 4.83 km/s. Raggiungere l’orbita a circa 7.8 km/s richiede di più, ed è per questo che i razzi usano stadi.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un carrello di 2.0 kg a 3.0 m/s urta un carrello di 1.0 kg fermo in un urto perfettamente elastico. Trova entrambe le velocità finali.

   $v_1 = (m_1 - m_2)/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 1.0$ m/s; $v_2 = 2m_1/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 4.0$ m/s. Verifica: K prima 9.0 J, dopo 1.0 + 8.0 = 9.0 J.

2. Un fucile di 4.0 kg spara un proiettile di 0.010 kg a 400 m/s. Trova la velocità di rinculo del fucile.

   $0 = 0.010 \times 400 - 4.0v$, quindi v = 1.0 m/s all'indietro.

3. Una massa di 2.0 kg è in x = 0 e una di 3.0 kg in x = 5.0 m. Dov'è il centro di massa?

   x_cm = (2.0 × 0 + 3.0 × 5.0) ÷ 5.0 = 3.0 m.

4. Uno stadio con velocità di scarico di 3.5 km/s deve fornire da solo Δv = 9.0 km/s. Quale rapporto di massa serve?

   $m_0/m_f = e^{(9.0/3.5)} = e^{2.571} = 13.1$. Solo il 7.6% circa della massa iniziale potrebbe essere qualcosa di diverso dal propellente.

Errori concettuali comuni

Mito: Un razzo ha bisogno di aria su cui spingere.

In realtà: Spinge sui propri gas di scarico. I razzi funzionano meglio nel vuoto.

Mito: In un urto anelastico si perde quantità di moto.

In realtà: La quantità di moto si conserva in ogni urto senza forza esterna. Ciò che si perde è l'energia cinetica.

Mito: Una forza maggiore significa sempre una variazione di quantità di moto maggiore.

In realtà: L'impulso è forza × tempo. Una piccola forza per un tempo lungo può cambiare la quantità di moto quanto una grande forza per un tempo breve.

Flashcard

Quantità di moto

p = mv (kg·m/s), un vettore.

Impulso

$J = \int F\,dt = \Delta p$.

Urto elastico

Si conservano sia la quantità di moto sia l'energia cinetica.

Urto perfettamente anelastico

Gli oggetti restano uniti; massima perdita di energia cinetica.

Centro di massa

Posizione media di un sistema pesata con le masse.

Equazione del razzo

$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$.

Quiz di autoverifica

1. Cosa si conserva sempre in un urto senza forza esterna?

Energia cinetica

Quantità di moto

La velocità

Sia l’energia cinetica sia la quantità di moto

Quantità di moto. La quantità di moto sempre; l’energia cinetica solo negli urti elastici.

2. Gli airbag riducono le lesioni soprattutto...

riducendo la variazione di quantità di moto

allungando il tempo di arresto

aumentando la forza

riducendo la tua massa

allungando il tempo di arresto. Stesso Δp in un tempo più lungo significa una forza media minore.

3. Nell’equazione del razzo, raddoppiare la velocità di scarico...

raddoppia Δv

quadruplica Δv

dimezza Δv

non cambia Δv

raddoppia Δv. Δv è direttamente proporzionale a v_e.

4. Due palline di argilla di uguale massa e velocità si scontrano frontalmente e restano unite. Dopo…

si muovono alla velocità iniziale

sono ferme

si muovono a metà velocità

rimbalzano

sono ferme. La quantità di moto totale era zero, quindi resta zero.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Il 26 settembre 2022 la sonda DART della NASA ha colpito di proposito la piccola luna asteroidale Dimorphos. La sua quantità di moto ha accorciato di circa 33 minuti l'orbita di 11 ore e 55 minuti di Dimorphos attorno a Didymos, molto più del minimo di 73 secondi richiesto per il successo, perché i detriti espulsi dall'asteroide hanno aggiunto una spinta extra.

È stato il primo test di spostamento di un asteroide per impatto cinetico, un modo per proteggere le persone e ogni altro essere vivente sulla Terra da un impatto futuro. Nessuno dei due asteroidi è mai stato una minaccia per la Terra.

L'equazione del razzo guida anche la progettazione di lanci più puliti: una velocità di scarico più alta significa meno propellente per la stessa missione.

Su Saving Planets: Difesa planetaria · Calcolatore di delta-v

Fonti: NASA: la missione DART (in inglese) (https://science.nasa.gov/mission/dart/) · NASA: orbita e forma dell'asteroide cambiate dopo l'impatto di DART (in inglese) (https://www.nasa.gov/missions/dart/nasa-study-asteroids-orbit-shape-changed-after-dart-impact/)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 9.3 Conservation of Linear Momentum (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-3-conservation-of-linear-momentum): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax University Physics 1, 9.4 Types of Collisions (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions): Urti elastici e anelastici.
- OpenStax University Physics 1, 9.7 Rocket Propulsion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion): Derivazione dell'equazione del razzo.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): Urti elastici e anelastici in 1D e 2D.

Guarda la lezione

19.2 Rocket Problem 2 - Momentum Diagrams (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/19-1/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d’uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Rotazione, momento torcente e momento angolare

Tutto ciò che gira, da ruote e turbine alle ruote di reazione che orientano i satelliti, segue versioni rotazionali delle leggi di Newton.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Usare posizione, velocità e accelerazione angolari e collegarle al moto lineare con v = ωr.
- Calcolare momenti d’inerzia e usare τ = Iα.
- Risolvere problemi di rotolamento con la conservazione dell’energia.
- Applicare la conservazione del momento angolare.

Concetti chiave

- Le grandezze rotazionali rispecchiano quelle lineari: θ ↔ x, ω ↔ v, α ↔ a, I ↔ m, τ ↔ F, L ↔ p.
- Il momento d’inerzia dipende da come la massa è distribuita rispetto all’asse. La massa lontana dall’asse è più difficile da mettere in rotazione.
- Il momento torcente è una forza per il suo braccio: τ = rF sin θ.
- Un oggetto che rotola ha energia cinetica sia traslazionale sia rotazionale, quindi scende un pendio più lentamente di un blocco che scivola senza attrito.
- Senza momento esterno, il momento angolare L = Iω resta costante.

Equazioni chiave

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \quad v = \omega r$$

`ω=(dθ)/(dt), α=(dω)/(dt), v=ω r`

Velocità e accelerazione angolari

$$I = \sum m_i r_i^2, \quad I_{disk} = \tfrac{1}{2} M R^2$$

`I= m_ir_i^2, I_disk=12MR^2`

Momento d’inerzia

$$\tau = rF \sin\theta = I\alpha$$

`τ=rFθ=Iα`

Momento torcente e seconda legge di Newton per la rotazione

$$K_{rot} = \tfrac{1}{2} I\omega^2$$

K_rot=12Iω^2

Energia cinetica rotazionale

$$L = I\omega, \quad \tau_{net} = \frac{dL}{dt}$$

L=Iω, τ_net=dL/dt

Momento angolare

Esempi svolti passo passo

Esempio 6.1 Il rotore di una turbina eolica passa da fermo a 1.5 rad/s in 30 s a ritmo costante. Trova α e quanti giri compie.

1. α = 1.5 ÷ 30 = 0.050 rad/s².
2. θ = ½αt² = ½ × 0.050 × 30² = 22.5 rad.
3. Giri: 22.5 ÷ 2π = 3.58.

Risposta: α = 0.050 rad/s²; 3.58 giri.

Esempio 6.2 Una sfera piena rotola senza strisciare lungo un pendio da 2.0 m di altezza. Che velocità ha in fondo?

1. Per una sfera piena, I = (2/5)mr² e ω = v/r.
2. mgh = ½mv² + ½(2/5)mr²(v/r)² = (7/10)mv².
3. v = √(10gh/7) = √(10 × 9.81 × 2.0 ÷ 7) = 5.29 m/s.

Risposta: 5.29 m/s, meno dei 6.26 m/s di un blocco che scivola senza attrito.

Esempio 6.3 Una pattinatrice che gira a 2.0 giri/s raccoglie le braccia, riducendo il momento d’inerzia da 4.0 a 1.6 kg·m². Trova la nuova velocità di rotazione.

1. L si conserva: $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$.
2. ω_2 = 4.0 × 2.0 ÷ 1.6 = 5.0 giri/s.
3. La sua energia cinetica aumenta di 2.5 volte; l’extra viene dal lavoro delle braccia.

Risposta: 5.0 giri/s.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una forza di 50 N è applicata ad angolo retto all'estremità di una chiave di 0.30 m. Trova il momento.

   $\tau = 0.30 \times 50 = 15$ N·m.

2. Un bambino di 30 kg siede a 2.0 m dal fulcro di un'altalena a bilico. Dove deve sedersi un bambino di 40 kg per bilanciarla?

   $30 \times 2.0 = 40 \times x$, quindi $x = 1.5$ m dall'altra parte.

3. Un volano in acciaio pieno è un disco di 100 kg e raggio 0.50 m che gira a 300 rad/s. Quanta energia immagazzina?

   $I = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.50^2 = 12.5$ kg·m². $K = \frac{1}{2} \times 12.5 \times 300^2 = 562{,}500$ J ≈ 0.563 MJ (0.156 kWh).

4. Un satellite ha $I = 500$ kg·m² attorno a un asse. Una ruota di reazione a bordo con $I = 0.10$ kg·m² passa da ferma a 600 rad/s. Quanto velocemente ruota il satellite?

   L totale resta zero: $0.10 \times 600 = 500 \times \omega$, quindi $\omega = 0.12$ rad/s nel verso opposto.

5. Un momento di 2.0 N·m agisce su un disco con $I = 0.50$ kg·m². Trova α.

   $\alpha = \tau / I = 4.0$ rad/s².

Errori concettuali comuni

Mito: Il momento dipende solo dall'intensità della forza.

In realtà: Dipende anche da dove e con quale angolo spingi. Spingere una porta vicino ai cardini la fa ruotare appena.

Mito: Tutti gli oggetti rotondi scendono un pendio alla stessa velocità.

In realtà: Una sfera piena batte un cilindro pieno, che batte un anello. Una parte minore della loro energia va nella rotazione.

Mito: Raccogliere le braccia crea momento angolare.

In realtà: Il momento angolare resta lo stesso; la velocità di rotazione aumenta perché I diminuisce.

Flashcard

Velocità angolare ω	**Momento d'inerzia I**
Velocità di rotazione, rad/s.	Resistenza all'accelerazione angolare; $I = \Sigma m r^2$.

Momento torcente τ

Effetto di rotazione di una forza; $\tau = rF \sin\theta$ (N·m).

$\tau = I\alpha$

Seconda legge di Newton per la rotazione.

Momento angolare L

$L = I\omega$; si conserva senza momento esterno.

Rotolamento senza strisciamento

$v = \omega r$ nel punto di contatto; K totale = $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

Quiz di autoverifica

1. Quale arriva prima in fondo a una rampa, rotolando da fermo?

Un anello

Un disco pieno

Arrivano insieme

Il più pesante

Un disco pieno. Il disco ha il minore $I/(mr^2)$, quindi più energia va nel moto in avanti.

2. L'analogo rotazionale della massa è...

il momento torcente

il momento angolare

il momento d'inerzia

la velocità angolare

il momento d'inerzia. I si oppone all'accelerazione angolare come m a quella lineare.

3. Un satellite ruota senza accendere i propulsori facendo girare una ruota al suo interno. Questo sfrutta...

la conservazione dell'energia

la conservazione del momento angolare

solo la prima legge di Newton

la gravità

la conservazione del momento angolare. Far girare la ruota in un verso fa ruotare il satellite nell'altro; L totale resta costante.

4. Raddoppiare il raggio di un disco della stessa massa moltiplica I per...

2

4

½

8

4. $I = \frac{1}{2}MR^2$, quindi $2^2 = 4$.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Le ruote di reazione sono un modo comune per orientare gli strumenti di un veicolo spaziale: far girare una ruota in un verso ruota il veicolo nell'altro, come nell'esercizio, senza usare propellente.

Le turbine eoliche sono macchine rotanti. Il momento del vento sulle pale fa girare il rotore, e il generatore trasforma quella rotazione in elettricità.

I volani immagazzinano energia come rotazione e possono stabilizzare la rete; la fisica è esattamente $K = \frac{1}{2}I\omega^2$.

Su Saving Planets: GRACE-FO · Osservazione della Terra

Fonti: OpenStax University Physics 1, 11.3 Conservation of Angular Momentum (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum) · DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 10.4 Moment of Inertia and Rotational Kinetic Energy (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy): Sezione di un manuale gratuito.

- OpenStax University Physics 1, 10.6 Torque (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-6-torque): Momento torcente con esempi.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Momento ed equilibrio su un'altalena a bilico.

Guarda la lezione

34.1 Torque Causes Angular Momentum to Change - Point Particle (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/34/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Gravitazione e orbite

La legge di gravitazione di Newton spiega perché i satelliti restano in orbita, quanto dura un'orbita e come passare da un'orbita all'altra.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Usare la legge di gravitazione universale di Newton e trovare g a qualsiasi quota.
- Trovare velocità e periodo di un'orbita circolare e il raggio di un'orbita geostazionaria.
- Usare l'energia potenziale gravitazionale per trovare la velocità di fuga.
- Applicare le tre leggi di Keplero e stimare un trasferimento di Hohmann.

Concetti chiave

- Ogni massa attrae ogni altra massa con F = Gm_1m_2/r^2. La gravità si indebolisce con il quadrato della distanza dal centro.
- Un'orbita circolare si ha quando la gravità fornisce esattamente la forza centripeta: $GMm/r^2 = mv^2/r$.
- Leggi di Keplero: le orbite sono ellissi con il pianeta in un fuoco; la linea verso il pianeta spazza aree uguali in tempi uguali; $T^2 \propto a^3$.
- Lontano dalla Terra l'energia potenziale gravitazionale è $U = -GMm/r$. La velocità di fuga è quella che rende nulla l'energia totale.
- Un trasferimento di Hohmann passa tra due orbite circolari con due accensioni lungo mezza ellisse.

Equazioni chiave

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad g(r) = \frac{GM}{r^2}$$

`F=(Gm_1m_2)/(r^2), g(r)=(GM)/(r^2)`

Gravitazione universale

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

`v=GM/r, T=2π(r^3)/(GM)`

Velocità e periodo di un'orbita circolare

$$U = -\frac{GMm}{r}, \quad v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

U=-GMm/r, v_esc=2GM/R

Energia potenziale e velocità di fuga

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$

T^2=(4π^2)/(GM)a^3

Terza legge di Keplero

Esempi svolti passo passo

Esempio 7.1 Trova g sulla superficie terrestre da G, massa e raggio della Terra.

1. g = GM/R² = 6.674 × 10⁻¹¹ × 5.972 × 10²⁴ ÷ (6.371 × 10⁶)².
2. GM = 3.986 × 10¹⁴ m³/s²; R² = 4.059 × 10¹³ m².
3. g = 9.82 m/s².

Risposta: 9.82 m/s². Il g misurato va da circa 9.78 m/s² all'equatore a 9.83 m/s² ai poli, perché la Terra ruota ed è rigonfia all'equatore; 9.81 m/s² è una media comoda.

Esempio 7.2 Landsat 9 orbita a circa 705 km sopra la Terra. Trattando l'orbita come un cerchio, trova velocità e periodo.

1. r = 6,371 + 705 = 7,076 km = 7.076 × 10⁶ m.
2. v = √(GM/r) = √(3.986 × 10¹⁴ ÷ 7.076 × 10⁶) = 7,505 m/s.
3. T = 2πr/v = 2π × 7.076 × 10⁶ ÷ 7505 = 5924 s = 98.7 min.

Risposta: 7.51 km/s e circa 99 minuti per orbita, in accordo con il dato pubblicato.

Esempio 7.3 A quale raggio un satellite compie un'orbita per giorno siderale (86164 s), restando sopra uno stesso punto dell'equatore?

1. r³ = GM T²/4π² = 3.986 × 10¹⁴ × 86,164² ÷ 39.48.
2. r³ = 7.496 × 10²².
3. r = 4.216 × 10⁷ m = 42160 km dal centro della Terra, circa 35790 km sopra l'equatore.

Risposta: Circa 42160 km dal centro della Terra: l'orbita geostazionaria, dove si trovano molti satelliti meteorologici.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Trova la velocità di fuga dalla superficie terrestre.

   $v = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2 \times 3.986 \times 10^{14} \div 6.371 \times 10^{6})} = 11.2$ km/s.

2. All'altitudine della ISS, circa 420 km, quale frazione della gravità superficiale rimane?

   $(6371 \div 6791)^2 = 0.880$. Gli astronauti fluttuano perché sono in caduta libera, non perché la gravità sia sparita.

3. Marte orbita attorno al Sole con un semiasse maggiore di 1.524 UA. Quanto dura il suo anno?

   Keplero: T = a^1.5 anni = 1.524^1.5 = 1.88 anni terrestri.

4. Stima il Δv totale di un trasferimento di Hohmann da un'orbita circolare a 300 km al raggio geostazionario (42164 km).

   $r_1 = 6671$ km, $r_2 = 42164$ km. Accensione 1: $\sqrt{(GM/r_1)}(\sqrt{(2r_2/(r_1 + r_2))} - 1) = 2.43$ km/s. Accensione 2: $\sqrt{(GM/r_2)}(1 - \sqrt{(2r_1/(r_1 + r_2))}) = 1.47$ km/s. Totale 3.90 km/s (più un eventuale cambio di piano).

Errori concettuali comuni

Mito: In orbita non c'è gravità.

In realtà: A 420 km la gravità è ancora l'88% del valore in superficie. Gli astronauti e la stazione cadono insieme.

Mito: Un satellite più pesante deve andare più veloce per restare nella stessa orbita.

In realtà: $v = \sqrt{(GM/r)}$ non contiene la massa del satellite.

Mito: Per raggiungere un veicolo davanti a te nella stessa orbita, accelera.

In realtà: Accelerare alza l'orbita e allunga il periodo, quindi resti indietro. Devi rallentare per scendere in un'orbita più bassa e più veloce.

Flashcard

Legge di gravitazione di Newton

$F = Gm_1m_2/r^2$.

Velocità orbitale

$v = \sqrt{(GM/r)}$ per un cerchio.

Terza legge di Keplero

$T^2 \propto a^3$.

Velocità di fuga

$v = \sqrt{(2GM/R)}$; 11.2 km/s dalla Terra.

Orbita geostazionaria

Periodo di un giorno siderale, circa 35790 km sopra l'equatore.

Trasferimento di Hohmann

Mezza ellisse a due accensioni tra orbite circolari.

Quiz di autoverifica

1. Se raddoppi la tua distanza dal centro della Terra, la gravità diventa...

½ altrettanto forte

¼ altrettanto forte

2 volte più forte

invariata

¼ altrettanto forte. Inverso del quadrato: $1/2^2 = 1/4$.

2. Un'orbita circolare più bassa ha un...

periodo più lungo e velocità minore

periodo più breve e velocità maggiore

periodo più lungo e velocità maggiore

lo stesso periodo

periodo più breve e velocità maggiore. $v = \sqrt{(GM/r)}$ cresce al diminuire di r, e $T \propto r^{1.5}$ diminuisce.

3. La seconda legge di Keplero significa che un pianeta è più veloce...

nel punto più lontano dal Sole

nel punto più vicino al Sole

alla stessa velocità ovunque

solo agli equinozi

nel punto più vicino al Sole. Aree uguali in tempi uguali: vicino al Sole il raggio è corto, quindi deve andare più veloce.

4. La velocità di fuga dalla Terra è di circa…

7.9 km/s

11.2 km/s

3.1 km/s

30 km/s

11.2 km/s. √(2GM/R) = 11.2 km/s, √2 volte la velocità in orbita bassa.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

I satelliti gemelli GRACE-FO volano a circa 220 km di distanza e misurano la variazione della distanza tra loro con una precisione di circa un micron. Quando il satellite di testa passa sopra una massa in più, come una grande falda o una calotta glaciale, la gravità lo tira leggermente in avanti. Mappare quelle trazioni mese per mese mostra dove le falde si stanno esaurendo e quanto in fretta le calotte perdono massa.

Questi dati di gravità aiutano a gestire l'acqua durante le siccità e permettono agli scienziati di seguire l'innalzamento del mare, importante per le comunità costiere e per le zone umide.

Anche la scelta dell'orbita è fisica: le orbite eliosincrone come quella di Landsat 9 ripetono le condizioni di luce per confrontare in modo equo i cambiamenti al suolo, e quelle geostazionarie permettono ai satelliti meteo di seguire le tempeste di continuo.

Su Saving Planets: GRACE-FO · Calcolatore di velocità orbitale · Calcolatore del trasferimento di Hohmann

Fonti: NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/) · NASA: Landsat 9 (in inglese) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 13.4 Satellite Orbits and Energy (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-4-satellite-orbits-and-energy): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax University Physics 1, 13.5 Kepler's Laws of Planetary Motion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-5-keplers-laws-of-planetary-motion): Le leggi di Keplero ricavate e

applicate.

- PhET: Gravity and Orbits (https://phet.colorado.edu/en/simulations/gravity-and-orbits): Cambia masse e velocità e guarda formarsi le orbite.
- PhET: Kepler's Laws (https://phet.colorado.edu/en/simulations/keplers-laws): Esplora le tre leggi.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Oscillazioni e introduzione ai fluidi

Molle e pendoli si ripetono in moto armonico semplice; i fluidi spingono con la pressione e sostengono con la spinta e il flusso.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Descrivere il moto armonico semplice e trovare periodo, frequenza e velocità massima per una molla e un pendolo.
- Spiegare lo smorzamento e la risonanza.
- Calcolare la pressione in profondità e la spinta di Archimede.
- Usare l'equazione di continuità e quella di Bernoulli per un flusso stazionario.

Concetti chiave

- Una forza di richiamo proporzionale allo spostamento ($F = -kx$) dà moto armonico semplice, $x = A\cos(\omega t + \varphi)$.
- Il periodo di una massa su una molla non dipende dall'ampiezza; quello di un pendolo dipende solo dalla lunghezza e da g per piccole oscillazioni.
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità: $P = P_0 + \rho g h$.
- Archimede: la spinta è uguale al peso del fluido spostato.
- In un flusso stazionario un fluido accelera dove il tubo si restringe (continuità), e un flusso più veloce ha pressione minore (Bernoulli).

Equazioni chiave

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$$

`x(t)=A(ω t+)`

Moto armonico semplice

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

`ω=k/m, T=2πm/k`

Massa su una molla

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T=2πL/g

Pendolo semplice (piccoli angoli)

$$P = P_0 + \rho g h, \quad F_B = \rho_{fluid} V_{sub} g$$

P=P_0+ρ gh, F_B=ρ_fluidV_subg

Pressione in profondità e galleggiamento

$$A_1 v_1 = A_2 v_2, \quad P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

A_1v_1=A_2v_2, P+12ρ v^2+ρ gh=const

Continuità e Bernoulli

Esempi svolti passo passo

Esempio 8.1 Una massa di 0.50 kg su una molla con k = 200 N/m viene tirata di 5.0 cm e lasciata. Trova ω, il periodo, la frequenza e la velocità massima.

1. ω = √(k/m) = √(200 ÷ 0.50) = 20 rad/s.
2. T = 2π/ω = 0.314 s; f = 1/T = 3.18 Hz.
3. v_max = Aω = 0.050 × 20 = 1.0 m/s.

Risposta: ω = 20 rad/s, T = 0.314 s, f = 3.18 Hz, v_max = 1.0 m/s.

Esempio 8.2 Qual è il periodo di un pendolo di 1.00 m sulla Terra e sulla Luna (g = 1.62 m/s²)?

1. Terra: T = 2π√(1.00 ÷ 9.81) = 2.01 s.
2. Luna: T = 2π√(1.00 ÷ 1.62) = 4.94 s.

Risposta: 2.01 s sulla Terra, 4.94 s sulla Luna.

Esempio 8.3 L’acqua scorre a 2.0 m/s in un tubo orizzontale di 4.0 cm di diametro che si restringe a 2.0 cm. Trova la nuova velocità e il calo di pressione.

1. L’area si riduce di (2.0/4.0)² = ¼, quindi v_2 = 4 × 2.0 = 8.0 m/s.
2. Bernoulli, tubo orizzontale: ΔP = ½ρ(v_2^2 − v_1^2) = ½ × 1000 × (64 − 4.0) = 30000 Pa.

Risposta: 8.0 m/s e un calo di pressione di 30 kPa.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Qual è la pressione aggiuntiva 10 m sotto la superficie dell'acqua di mare ($\rho = 1025$ kg/m³)?

   $\rho g h = 1025 \times 9.81 \times 10 = 100600$ Pa, circa un'atmosfera in più.

2. Un blocco di legno di densità 600 kg/m³ galleggia in acqua dolce. Quale frazione è immersa?

   Galleggiamento: $\rho_{wood} V g = \rho_{water} V_{sub} g$, quindi $V_{sub}/V = 600/1000 = 0.60$.

3. Un pendolo deve avere un periodo di esattamente 2.00 s. Quanto deve essere lungo?

   $L = g(T/2\pi)^2 = 9.81 \times (2.00 \div 6.283)^2 = 0.994$ m.

4. Perché si chiede ai soldati di rompere il passo quando attraversano un ponte?

   Marciare al passo spinge il ponte con una frequenza costante. Se coincide con una frequenza propria del ponte, la risonanza può generare grandi oscillazioni.

Errori concettuali comuni

Mito: Un'oscillazione più ampia rende il pendolo più lento.
In realtà: Per piccole oscillazioni il periodo non dipende dall'ampiezza, solo da L e g.

Mito: Le cose pesanti affondano e quelle leggere galleggiano.
In realtà: Decide la densità. Una nave d'acciaio galleggia perché la sua forma sposta un peso d'acqua pari al proprio.

Mito: Un fluido più veloce ha pressione maggiore.
In realtà: In un flusso stazionario e orizzontale, il flusso più veloce ha pressione minore (Bernoulli).

Flashcard

Moto armonico semplice

Oscillazione con forza di richiamo ∝ spostamento; $x = A\cos(\omega t + \varphi)$.

Periodo

Durata di un ciclo; $T = 1/f$.

Risonanza

Grande risposta quando si eccita a una frequenza propria.

Pressione

Forza per area, $P = F/A$ (Pa).

Principio di Archimede

Spinta = peso del fluido spostato.

Equazione di Bernoulli

$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h$ è costante lungo una linea di flusso in un flusso stazionario e ideale.

Quiz di autoverifica

1. Quadruplicare la massa su una molla moltiplica il periodo per...

4

2

½

¼

2. $T \propto \sqrt{m}$, e $\sqrt{4} = 2$.

2. La spinta su un oggetto immerso è uguale...

al suo stesso peso

al peso del fluido che sposta

alla pressione del fluido

zero

al peso del fluido che sposta. Principio di Archimede.

3. L'acqua accelera dove un tubo si restringe a causa di...

la continuità ($A_1v_1 = A_2v_2$)

il galleggiamento

la risonanza

l'attrito

la continuità ($A_1v_1 = A_2v_2$). Lo stesso volume al secondo deve passare per un'area minore.

4. Un orologio a pendolo viene portato sulla Luna. Va...

più veloce

più lento

uguale

all'indietro

più lento. Un g minore dà un periodo più lungo, quindi ticchetta meno spesso.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La portanza su un'ala e su una pala eolica nasce dall'aria che scorre più veloce su un lato, abbassando lì la pressione. L'equazione di Bernoulli è il primo passo per progettare pale e ali che sprechino meno energia.

La fisica delle oscillazioni conta anche per le macchine dell'energia pulita: qualsiasi struttura alta spinta ritmicamente, come la torre di una turbina dal suo rotore, può accumulare grandi vibrazioni se la spinta coincide con una sua frequenza propria (risonanza).

Pressione dei fluidi e galleggiamento sono anche alla base della scienza degli oceani, dai galleggianti che misurano l'oceano profondo ai satelliti come Sentinel-6 che misurano il livello del mare per aiutare le comunità costiere a pianificare.

Su Saving Planets: Calcolatore del periodo del pendolo · Calcolatore dell'equazione di portanza · Sentinel-6B

Fonti: DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · NASA: Sentinel-6 sea level mission (in inglese) (https://sealevel.nasa.gov/missions/sentinel-6)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax University Physics 1, 15.1 Simple Harmonic Motion (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax University Physics 1, 15.4 Pendulums (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-4-pendulums): Pendoli semplici e fisici.
- OpenStax University Physics 1, 14.4 Archimedes' Principle and Buoyancy (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-4-archimedes-principle-and-buoyancy): Galleggiamento con esempi.
- OpenStax University Physics 1, 14.6 Bernoulli's Equation (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-6-bernoullis-equation): Flusso, pressione e portanza.

- PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab): Periodo, lunghezza, massa e gravità.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): Molle, energia e smorzamento.
- PhET: Buoyancy (https://phet.colorado.edu/en/simulations/buoyancy): Densità e spinta di Archimede.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Pressione in profondità.

☐ **Ho finito questa unità**

Esercizi

Questi esercizi stanno dentro ogni unità. Falli su carta, poi apri la risposta.

1. Misura, vettori e moto in una dimensione
   5 esercizi
2. Moto in due dimensioni: proiettili e cerchi
   4 esercizi
3. Leggi di Newton, attrito e dinamica circolare
   5 esercizi
4. Lavoro, energia e potenza
   5 esercizi
5. Quantità di moto, urti e razzi
   4 esercizi
6. Rotazione, momento torcente e momento angolare
   5 esercizi
7. Gravitazione e orbite
   4 esercizi
8. Oscillazioni e introduzione ai fluidi
   4 esercizi

Il laboratorio (PHYS 110L)

Il laboratorio è la parte pratica del corso, che vale 1 credito in un tipico piano universitario. Qui è gratuito e solo per esercitarsi.

Ogni esperienza mette alla prova un'idea della lezione con misure reali, e in ognuna devi indicare un'incertezza. Un risultato senza incertezza non si può confrontare con una previsione. Ogni esperienza ha anche una versione casalinga o PhET.

Riferimento per la sicurezza: OSHA: sicurezza sul lavoro (in inglese) (https://www.osha.gov/)

Esperienza A: Misura e incertezza (misurare g)

SETTIMANA 1

Obiettivo: Cronometra una palla lasciata cadere da un'altezza misurata, trova g e indica un'incertezza corretta.

$$g = \frac{2h}{t^2}, \quad \frac{\delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\delta t}{t}\right)^2}$$

`g=(2h)/(t^2), ( g)/(g)=(( h)/(h))^2+(2( t)/(t))^2`

Propaga le incertezze relative in quadratura; il tempo è al quadrato, quindi la sua incertezza relativa conta doppio

Procedimento

1. Misura l'altezza di caduta h dal fondo della palla al pavimento; stima δh (per un metro a nastro, circa ±2 mm).
2. Lascia cadere da ferma una palla densa e cronometra la caduta. Un video al rallentatore col telefono o un'app a innesco sonoro batte un cronometro a mano.
3. Ripeti almeno cinque volte.
4. Trova il tempo medio, la deviazione standard campionaria s e l'errore standard s/√N; usa l'errore standard come δt.
5. Calcola g e δg e confronta con 9.81 m/s².

Tabella dei dati

Prova	Tempo di caduta (s)
1	0.55
2	0.56
3	0.54
4	0.55
5	0.56
Media	0.552
Deviazione standard s	0.0084
Errore standard s/√5	0.0037

Dati di esempio solo per esercitarsi. h = 1.500 ± 0.002 m.

Calcolo di esempio

1. $g = 2h/t^2 = 2 \times 1.500 \div 0.552^2 = 9.85\ m/s^2$.
2. Incertezza relativa dal tempo: $2 \times 0.0037 \div 0.552 = 1.36\%$. Dall'altezza: $0.002 \div 1.500 = 0.13\%$.
3. Combinata: $\sqrt{(1.36^2 + 0.13^2)} = 1.36\%$, quindi $\delta g = 0.0136 \times 9.85 = 0.13\ m/s^2$.
4. Risultato: $g = 9.85 \pm 0.13\ m/s^2$. Il valore accettato $9.81\ m/s^2$ cade nell'intervallo, quindi i due concordano. Il cronometraggio domina l'incertezza.

> **Sicurezza**
>
> - Lascia cadere la palla solo dove sotto non c'è nessuno e tieni libero il pavimento.
> - Sali su una superficie solida, non su una sedia, per raggiungere l'altezza di rilascio.

Alternativa a casa o virtuale

- Fallo a casa esattamente come scritto con un video al rallentatore del telefono.
- Oppure usa la simulazione PhET Projectile Motion con velocità di lancio 0 per controllare i tempi.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion) · Guida JCGM all'incertezza (GUM) (in inglese) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

Legame con il pianeta: La scienza di GRACE-FO funziona solo perché il suo team conosce l'incertezza di ogni distanza misurata; un cambiamento conta solo se supera quell'incertezza. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza B: Moto dei proiettili

SETTIMANA 3

Obiettivo: Misura la velocità di un lanciatore con un tiro orizzontale, poi prevedi e verifica dove atterra un tiro inclinato.

$$v_0 = \frac{x}{\sqrt{2h/g}}, \quad R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`v_0=2h/g, R=(v_0^22θ)/(g)`

Velocità di lancio da un tiro orizzontale, poi la gittata prevista

Procedimento

1. Lancia una palla in orizzontale da un lanciatore (o falla rotolare giù da una rampa) all'altezza del tavolo h.
2. Fissa carta carbone sopra un foglio dove atterra; fai cinque tiri e misura ogni distanza x.
3. Trova la media di x e calcola v_0.
4. Prevedi la gittata di un lancio a 30° dal pavimento, segna il punto e verificalo con cinque tiri.
5. Confronta previsione e risultato; elenca le fonti di errore (resistenza dell'aria, altezza di lancio, lettura dell'angolo).

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Altezza del tavolo h	1.00 m
Distanza media di atterraggio x	2.26 m
Tempo di caduta √(2h/g)	0.452 s
Velocità di lancio v_0	5.01 m/s
Gittata prevista a 30°	2.21 m

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. t = √(2 × 1.00 ÷ 9.81) = 0.452 s.
2. v_0 = 2.26 ÷ 0.452 = 5.01 m/s.
3. R(30°) = 5.01² × sin 60° ÷ 9.81 = 25.1 × 0.866 ÷ 9.81 = 2.21 m.
4. Differenza percentuale = |misurato − previsto| ÷ previsto × 100%.

> **Sicurezza**

- Indossa protezioni per gli occhi con qualsiasi lanciatore a molla e non puntarlo mai verso una persona.
- Tieni libera la zona di atterraggio.

Alternativa a casa o virtuale

- Fai rotolare una biglia giù dal tavolo e misura x; salta la parte inclinata o usa la simulazione PhET.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion)

Legame con il pianeta: Lo stesso metodo «prevedi e poi verifica» si usa per prevedere dove potrebbe cadere uno stadio di razzo in rientro.

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza C: Seconda legge di Newton

SETTIMANA 5

Obiettivo: Mostrare che l'accelerazione è proporzionale alla forza netta e inversamente proporzionale alla massa.

$$a = \frac{m_h g}{m_c + m_h}$$

```
a=(m_hg)/(m_c+m_h)
```

Carrello tirato da una massa appesa su una carrucola, senza attrito

Procedimento

1. Metti in piano un binario. Collega un carrello (massa m_c) con un filo su una carrucola a una massa appesa m_h.
2. Lascia partire da fermo e registra il moto con un sensore, un video o cronometrando una distanza nota (a = 2d/t²).
3. Ripeti con cinque masse appese, spostando massa dal carrello al gancio così che il totale resti fisso.
4. Traccia a in funzione di m_h g. La pendenza deve essere 1/(m_c + m_h).
5. Ripeti con massa extra sul carrello per verificare la dipendenza dalla massa.

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Massa del carrello m_c	0.500 kg
Massa appesa m_h	0.050 kg
a prevista	0.892 m/s²
a misurata	0.86 m/s²

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. a prevista = 0.050 × 9.81 ÷ 0.550 = 0.892 m/s².
2. Il valore misurato, 0.86 m/s², è inferiore del 3.6%.
3. Forza d'attrito necessaria a spiegare lo scarto: (0.892 − 0.86) × 0.550 = 0.018 N, un attrito volvente ragionevole.

> **Sicurezza**

- Metti un fermo morbido in fondo al binario e tieni le dita lontane dalla carrucola.

Alternativa a casa o virtuale

- Usa PhET Forces and Motion: Basics (schermata Acceleration) per variare forza e massa.

PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics)

Legame con il pianeta: F = ma è il motivo per cui i veicoli più leggeri richiedono meno energia per accelerare: ogni chilogrammo risparmiato riduce la forza, e il carburante, necessari.

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza D: Attrito

SETTIMANA 5

Obiettivo: Misura i coefficienti di attrito statico e dinamico con una rampa inclinabile.

$$\mu_s = \tan\theta_{slip}, \quad \mu_k = \tan\theta_{steady}$$

`μ_s=θ_slip, μ_k=θ_steady`

Su una rampa l’attrito bilancia mg sin θ quando N = mg cos θ

Procedimento

1. Metti un blocco su un’asse e solleva piano un’estremità finché il blocco non inizia a scivolare; annota l’angolo θ_slip. Ripeti cinque volte.
2. Trova l’angolo a cui il blocco, dopo un colpetto, scivola a velocità costante: θ_steady.
3. Calcola μ_s e μ_k. Ripeti su una seconda superficie (feltro, gomma).

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Massa del blocco	0.250 kg
Angolo medio di distacco	31°
Angolo medio di scivolamento uniforme	24°
μ_s	0.60
μ_k	0.45

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. μ_s = tan 31° = 0.601.
2. μ_k = tan 24° = 0.445.
3. Come previsto, $\mu_k < \mu_s$. La massa non compare: si semplifica.

> **Sicurezza**
>
> - Tieni la rampa bassa e stabile; prendi il blocco in fondo.

Alternativa a casa o virtuale

- Un libro, un’app inclinometro sul telefono e una copertina rigida vanno benissimo.

- PhET The Ramp permette di impostare l’attrito e osservare le forze.

PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp)

Legame con il pianeta: L’attrito volvente degli pneumatici è una delle forze contro cui un veicolo spende energia a ogni velocità; i progetti a basso attrito fanno risparmiare carburante. DOE degli Stati Uniti: Vehicle Technologies Office (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza E: Conservazione dell’energia

SETTIMANA 7

Obiettivo: Confronta la velocità misurata di un carrello in fondo a una rampa con quella prevista dalla conservazione dell’energia.

$$v = \sqrt{2gh}, \quad \text{fraction kept} = \frac{v_{meas}^2}{2gh}$$

```
v=2gh, fraction kept=_meas^22gh
```

Velocità ideale per un dislivello h, e quanta energia meccanica è rimasta

Procedimento

1. Misura il dislivello verticale h della rampa.
2. Lascia partire da fermo un carrello a basso attrito e misura la velocità in fondo (fotocellula, o video su una breve distanza nota).
3. Ripeti cinque volte e fai la media.
4. Calcola la velocità prevista e la frazione di energia conservata; spiega dove è finito il resto.

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Dislivello h	0.300 m
Velocità prevista	2.43 m/s
Velocità misurata (media)	2.35 m/s
Energia conservata	93.8%

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. v = √(2 × 9.81 × 0.300) = 2.43 m/s.
2. Frazione conservata = $2.35^2 \div (2 \times 9.81 \times 0.300) = 5.52 \div 5.89 = 0.938$.
3. Circa il 6.2% dell’energia meccanica è diventato calore e suono per attrito e resistenza.

> **Sicurezza**
>
> - Fissa la rampa con un morsetto e ferma il carrello in fondo.

Alternativa a casa o virtuale

- Fai rotolare una palla giù da una rampa di libri e cronometrala su un tratto piano misurato.
- PhET Energy Skate Park mostra gli stessi grafici a barre dell'energia.

PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park)

Legame con il pianeta: Seguire dove va l'energia è il modo in cui gli ingegneri trovano risparmi, dalla frenata rigenerativa all'idroelettrico a pompaggio. DOE degli Stati Uniti: basi dei veicoli elettrici (in inglese) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza F: Quantità di moto e urti

SETTIMANA 8

Obiettivo: Verifica la conservazione della quantità di moto in urti elastici e anelastici, e misura quanta energia cinetica si perde.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

```
m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_f
```

Urto perfettamente anelastico

Procedimento

1. Su un binario orizzontale, lancia il carrello 1 contro il carrello 2 fermo, con il velcro affacciato così che restino attaccati.
2. Misura le velocità subito prima e subito dopo (sensore o video).
3. Ripeti con magneti o molle affacciati per un rimbalzo quasi elastico.
4. Per ogni prova, confronta quantità di moto totale ed energia cinetica totale prima e dopo.

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
$m_1 = m_2$	0.50 kg
v_1 prima	0.80 m/s
v dopo prevista (attaccati)	0.40 m/s
v dopo misurata	0.39 m/s

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. p prima = 0.50 × 0.80 = 0.40 kg·m/s. p dopo = 1.00 × 0.39 = 0.39 kg·m/s, una differenza del 2.5% (attrito durante la corsa).
2. K prima = ½ × 0.50 × 0.80^2 = 0.160 J. K dopo = ½ × 1.00 × 0.39^2 = 0.076 J.
3. Si è persa circa metà dell'energia cinetica, come prevede la teoria per masse uguali che restano attaccate (esattamente il 50% nel caso ideale).

> **Sicurezza**
>
> - Tieni basse le velocità e ferma i carrelli prima della fine del binario.

Alternativa a casa o virtuale

- PhET Collision Lab permette di impostare l'elasticità dallo 0% al 100%.

PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab)

Legame con il pianeta: DART ha usato esattamente questa fisica su un asteroide: un urto pianificato e misurato per cambiare l'orbita di una piccola luna. NASA: la missione DART (in inglese) (https://science.nasa.gov/mission/dart/)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza G: Inerzia rotazionale

SETTIMANA 10

Obiettivo: Misura il momento d’inerzia di un disco con una massa che cade e confrontalo con ½MR².

$$I = mr^2\left(\frac{g}{a} - 1\right), \quad a = \frac{2d}{t^2}$$

```
I=mr^2(g/a-1), a=(2d)/(t^2)
```

Massa appesa m a un filo avvolto attorno a un asse di raggio r

Procedimento

1. Avvolgi un filo attorno all’asse del disco (raggio r) e appendici una massa m.
2. Lascia da ferma e cronometra la caduta per un’altezza d; ripeti cinque volte.
3. Calcola a, poi I. Misura massa M e raggio R del disco e calcola ½MR².
4. Confronta. Poi aggiungi un anello e guarda quanto cresce I.

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Massa appesa m	0.050 kg
Raggio dell’asse r	0.025 m
Distanza di caduta d	0.800 m
Tempo medio di caduta t	4.00 s
Disco M, R	1.50 kg, 0.064 m

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. a = 2 × 0.800 ÷ 4.00² = 0.100 m/s².
2. I = 0.050 × 0.025² × (9.81 ÷ 0.100 − 1) = 0.050 × 0.000625 × 97.1 = 3.03 × 10⁻³ kg·m².
3. ½MR² = ½ × 1.50 × 0.064² = 3.07 × 10⁻³ kg·m².
4. Differenza dell’1.2%, entro l’incertezza su raggio e tempi.

> **Sicurezza**
>
> - Tieni la massa appesa bassa sopra un tappetino morbido.

Alternativa a casa o virtuale

- Fai rotolare una lattina di zuppa piena e una vuota giù dalla stessa rampa e confronta i tempi; spiega il risultato con $K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

OpenStax 10.4 Moment of Inertia (in inglese) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy)

Legame con il pianeta: Le ruote di reazione che orientano i satelliti di osservazione della Terra sono progettate proprio attorno a questa grandezza.

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Esperienza H: Pendolo e moto armonico semplice

SETTIMANA 13

Obiettivo: Verifica T = 2π√(L/g), mostra che il periodo non dipende dalla massa né da una piccola ampiezza, e misura g in un secondo modo.

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

g=(4π^2L)/(T^2)

Equazione del pendolo riarrangiata

Procedimento

1. Appendi una massa densa a un filo; misura L dal perno al centro della massa.
2. Spostala di meno di 10° e cronometra 20 oscillazioni complete; dividi per 20 per avere T.
3. Ripeti per cinque lunghezze. Traccia T² in funzione di L: la pendenza è 4π²/g.
4. Cambia la massa e l'ampiezza (sempre piccola) e verifica che T resti uguale.
5. Facoltativo: cronometra una massa che oscilla su una molla e verifica T = 2π√(m/k).

Tabella dei dati

Grandezza	Valore
Lunghezza L	0.800 m
Tempo per 20 oscillazioni	35.9 s
Periodo T	1.795 s
g	9.80 m/s²

Dati di esempio solo per esercitarsi.

Calcolo di esempio

1. T = 35.9 ÷ 20 = 1.795 s. Cronometrare 20 oscillazioni divide per 20 l'errore del tempo di reazione.
2. g = 4π² × 0.800 ÷ 1.795² = 31.58 ÷ 3.222 = 9.80 m/s².
3. Confronta con l'Esperienza A: due metodi indipendenti, e il pendolo è molto più preciso.

> **Sicurezza**
>
> - Usa un perno sicuro e fai oscillare la massa lontano dai volti.

Alternativa a casa o virtuale

- Una chiave su un laccio funziona; cronometrala col telefono.

PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab) · PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs)

Legame con il pianeta: Conoscere con precisione g, e le sue minime variazioni da un luogo all'altro, è ciò che missioni gravimetriche come GRACE-FO trasformano in mappe di acqua e ghiaccio. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Serie di esercizi per gli esami

Cronometrati: circa 10 minuti per problema. Poi confronta con le soluzioni complete.

Esercizi per l'esame intermedio (unità 1–4)

1. Un razzo accelera verso l'alto da fermo a 5.0 m/s² per 20 s, poi il motore si spegne. Quale altezza massima raggiunge?

    1. Allo spegnimento: v = 5.0 × 20 = 100 m/s; altezza = ½ × 5.0 × 20² = 1000 m.
    2. Salita per inerzia: altezza extra = $v^2/2g$ = 100² ÷ 19.62 = 510 m.

    Risposta: 1510 m, trascurando la resistenza.

2. Un pallone viene calciato a 25 m/s a 40° sopra un terreno piano. Trova gittata e tempo di volo.

    1. v_y = 25 sin 40° = 16.1 m/s; t = 2 × 16.1 ÷ 9.81 = 3.28 s.
    2. R = 25² × sin 80° ÷ 9.81 = 625 × 0.985 ÷ 9.81 = 62.7 m.

    Risposta: 62.7 m in 3.28 s.

3. Uno slittino di 20 kg è trainato a velocità costante sulla neve (μ_k = 0.10) da una fune orizzontale. Trova la tensione della fune e il lavoro compiuto su 50 m.

    1. Velocità costante: T = $\mu_k mg$ = 0.10 × 20 × 9.81 = 19.6 N.
    2. W = 19.6 × 50 = 981 J.

    Risposta: 19.6 N; 981 J, tutti trasformati in calore dall'attrito.

4. Un blocco di 2.0 kg scivola da fermo su una pista curva senza attrito da 5.0 m di altezza e poi comprime una molla (k = 400 N/m) su terreno piano. Trova la compressione massima.

    1. $mgh = \frac{1}{2}kx^2$.
    2. x = √(2 × 2.0 × 9.81 × 5.0 ÷ 400) = √0.4905 = 0.700 m.

    Risposta: 0.700 m.

Serie di esercizi finale (tutte le unità)

1. Un carrello di 3.0 kg a 4.0 m/s urta un carrello di 1.0 kg fermo e restano attaccati. Trova la velocità finale e la frazione di energia cinetica persa.

    1. v = 3.0 × 4.0 ÷ 4.0 = 3.0 m/s.
    2. K prima = 24 J; dopo = ½ × 4.0 × 9.0 = 18 J.

    Risposta: 3.0 m/s; si perde il 25% dell'energia cinetica.

2. Un anello cavo e un disco pieno di uguale massa e raggio rotolano da fermi giù da una rampa alta 1.0 m. Trova la velocità di ciascuno in fondo.

    1. Anello ($I = mr^2$): $mgh = mv^2$, quindi $v = \sqrt{(gh)} = 3.13$ m/s.
    2. Disco ($I = \frac{1}{2}mr^2$): $mgh = \frac{3}{4}mv^2$, quindi $v = \sqrt{(4gh/3)} = 3.62$ m/s.

    Risposta: Anello 3.13 m/s, disco 3.62 m/s; vince il disco.

3. Trova il periodo orbitale di un satellite in orbita circolare a 1336 km sopra la Terra.

    1. r = 6,371 + 1,336 = 7,707 km.
    2. $T = 2\pi\sqrt{(r^3/GM)} = 2\pi\sqrt{((7.707 \times 10^6)^3 \div 3.986 \times 10^{14})} = 6{,}733$ s.

    Risposta: Circa 112 minuti.

4. Una massa di 0.20 kg su una molla oscilla con periodo 0.50 s e ampiezza 0.10 m. Trova k e la velocità massima.

    1. $\omega = 2\pi \div 0.50 = 12.57$ rad/s.
    2. $k = m\omega^2 = 0.20 \times 158.0 = 31.6$ N/m.
    3. $v_{max} = A\omega = 0.10 \times 12.57 = 1.26$ m/s.

    Risposta: k = 31.6 N/m; $v_{max} = 1.26$ m/s.

5. Una boa di 1.0 m³ e 400 kg è tenuta completamente sott'acqua di mare ($\rho = 1025$ kg/m³) da un cavo ancorato al fondo. Trova la tensione del cavo.

    1. Spinta = 1025 × 1.0 × 9.81 = 10060 N.
    2. Peso = 400 × 9.81 = 3920 N.
    3. Tensione = 10060 − 3920 = 6130 N.

    Risposta: Circa 6130 N.

Formulario

$$v = dx/dt,\ a = dv/dt \qquad x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$R = v_0^2 \sin 2\theta / g$$

$$a_c = v^2/r = \omega^2 r$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2,\ U_g = mgh,\ U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

$$P = dW/dt = Fv$$

$$\vec{p} = m\vec{v},\ \vec{J} = \Delta\vec{p}$$

$$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$$

$$\tau = rF\sin\theta = I\alpha$$

$$L = I\omega,\ K_{rot} = \tfrac{1}{2}I\omega^2$$

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

$$v_{orb} = \sqrt{GM/r},\ v_{esc} = \sqrt{2GM/R}$$

$$T^2 = 4\pi^2 a^3/GM$$

$$T_{spring} = 2\pi\sqrt{m/k},\ T_{pend} = 2\pi\sqrt{L/g}$$

$$P = P_0 + \rho gh,\ F_B = \rho V g$$

$$A_1v_1 = A_2v_2,\ P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}$$

Costanti

Costante	**Valore**
Costante gravitazionale, G	6.674 × 10⁻¹¹ N·m²/kg²
Gravità standard, g	9.81 m/s² (9.80665 m/s² per definizione)
Massa della Terra	5.972 × 10²⁴ kg (scheda NASA sulla Terra)
Raggio medio della Terra	6371 km (scheda NASA sulla Terra)
GM della Terra	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
Giorno siderale	86,164 s
Densità dell’acqua dolce	1000 kg/m³; acqua di mare circa 1025 kg/m³
Densità dell’aria al livello del mare, 15 °C	1.225 kg/m³

Fonte: NIST: costanti fisiche fondamentali (in inglese) (https://physics.nist.gov/cuu/Constants/)

Dati di riferimento

Usa queste fonti di dati ufficiali e gratuite insieme al corso.

- Scheda NASA sulla Terra (in inglese) (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html): Massa, raggio, gravità e orbita della Terra (e link agli altri pianeti).
- Unità SI del NIST (in inglese) (https://www.nist.gov/pml/owm/metric-si/si-units): Le sette unità di base del SI e come sono definite.
- Pubblicazioni JCGM (GUM) (in inglese) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications): La guida internazionale per esprimere l'incertezza di misura.

Glossario

Accelerazione
Tasso di variazione della velocità, dv/dt.

Ampiezza
Spostamento massimo dall'equilibrio in un'oscillazione.

Momento angolare
L = Iω; si conserva senza momento esterno.

Spinta di Archimede
Forza verso l'alto esercitata da un fluido, pari al peso del fluido spostato.

Centro di massa
Posizione media di un sistema pesata con le masse.

Forza conservativa
Forza il cui lavoro non dipende dal percorso, come la gravità o una molla.

Spostamento
Variazione di posizione, un vettore.

Urto elastico
Urto che conserva l'energia cinetica.

Velocità di fuga
Velocità minima per sfuggire alla gravità di un corpo senza ulteriore spinta.

Diagramma di corpo libero
Diagramma di tutte le forze su un oggetto.

Frequenza
Cicli al secondo (Hz); f = 1/T.

Orbita geostazionaria
Orbita equatoriale con periodo di un giorno siderale.

Impulso
Forza integrata nel tempo; uguale alla variazione della quantità di moto.

Inerzia
Resistenza al cambiamento di moto; si misura con la massa.

Energia cinetica
Energia del moto, $\frac{1}{2}mv^2$.

Momento d’inerzia
Inerzia rotazionale, Σmr^2.

Quantità di moto
$p = mv$.

Newton
Unità SI di forza, $kg \cdot m/s^2$.

Periodo
Durata di un ciclo o di un’orbita.

Potenza
Ritmo di trasferimento di energia, in watt.

Pressione
Forza per unità di area, in pascal.

Risonanza
Grande oscillazione quando si eccita a una frequenza propria.

Errore standard
Deviazione standard della media, $s/\sqrt{N}$.

Orbita eliosincrona
Orbita quasi polare che passa sopra ogni luogo all’incirca alla stessa ora solare locale.

Momento torcente
Effetto rotatorio di una forza, $rF \sin \theta$.

Incertezza
Intervallo stimato attorno a un valore misurato che probabilmente contiene il valore vero.

Vettore
Grandezza con modulo e direzione.

Peso
Forza gravitazionale su una massa, mg.

Lavoro
Energia trasferita da una forza lungo uno spostamento.

Griglia di autovalutazione

Non si assegnano voti né crediti. Usala per valutare onestamente a che punto sei in ogni unità.

Livello	Come si presenta
4 · Padronanza	Risolve correttamente problemi nuovi, parte da un diagramma e da un principio (Newton, energia o quantità di moto) e controlla unità e casi limite.
3 · Competente	Risolve gli esercizi con unità corrette e cifre significative sensate; qualche svista occasionale.
2 · In sviluppo	Segue gli esempi svolti ma fatica a scegliere un metodo per problemi nuovi, o confonde vettori e scalari.
1 · Principiante	Inserisce numeri nelle formule senza diagramma; deve rivedere l'unità.

Pesi suggeriti se vuoi un punteggio

Parte	Peso
Esercizi	30%
Relazioni di laboratorio (o laboratori virtuali)	20%
Serie di esercizi di metà corso	20%
Serie di esercizi finale	30%

Punta al livello 3 o superiore in ogni unità prima di passare al corso successivo.

Corsi correlati

- Chimica generale I + Laboratorio CHEM 110 + CHEM 110L
- Analisi I MATH 110
- Analisi II MATH 111
- Tutti i corsi