

Domande

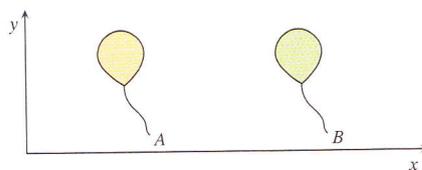
- La velocità della luce in acqua è c/n , dove $n = 1,33$ è l'indice di rifrazione dell'acqua. Quindi la velocità della luce in acqua è minore di c . Perché questo fatto non viola il postulato sulla velocità della luce?
- La Terra compie una rotazione intorno al proprio asse in un giorno. Per un osservatore che vede la Terra da un sistema di riferimento inerziale posto nello spazio, procede più lentamente un orologio situato al polo Nord o uno posto all'equatore? Per quale motivo? (Trascura il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole).
- Supponi di essere a un passaggio a livello e di osservare il passaggio di un treno. Sia tu sia un passeggero sul treno state osservando un orologio posto sul treno. Chi di voi misura l'intervallo di tempo proprio? Chi misura la lunghezza propria della carrozza? Chi misura la distanza propria tra le traversine dei binari? Giustifica la risposta.
- Spesso le masse delle particelle elementari, come l'elettrone e il protone, sono espresse in unità di energia, come i MeV (milioni di elettronvolt). Perché è possibile fare ciò?
- La luce, in acqua, si muove a una velocità di $2,26 \cdot 10^8$ m/s. Una particella elementare dotata di massa si può muovere in acqua a una velocità superiore. In che senso, dunque, si può affermare che la velocità della luce rappresenta per le particelle materiali una velocità «limite»?
- Se invece di $3,0 \cdot 10^8$ m/s la velocità della luce fosse infinita, gli effetti della dilatazione temporale e della contrazione delle lunghezze sarebbero osservabili? Spiega, usando le equazioni riportate nel testo a supporto del tuo ragionamento.

Test

- L'esperimento di Michelson-Morley:
 - indica che la velocità della luce è la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali.
 - dimostra il fenomeno della dilatazione temporale.
 - verifica che l'interferenza può essere costruttiva o distruttiva.
 - conferma l'equivalenza tra massa ed energia.
- In un laboratorio, un blocco di 4 kg si muove a 6 m/s. All'istante $t = 2,3$ s, il blocco ha un urto anelastico con un altro blocco. In ogni sistema di riferimento inerziale:
 - l'evento accade a $t = 2,3$ s.
 - la velocità iniziale del blocco è 6 m/s.
 - si conserva la quantità di moto totale dei due blocchi.
 - il secondo blocco si muove dopo l'urto.
- Una conseguenza dei postulati della relatività è che:
 - non esistono sistemi inerziali.
 - le leggi di Newton sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento.
 - non esiste un sistema di riferimento assoluto.
 - il valore di ogni grandezza fisica dipende dal sistema di riferimento inerziale in cui è misurata.
- L'intervallo di tempo proprio tra due eventi:
 - è il più lungo intervallo di tempo che ogni osservatore inerziale misura fra quegli eventi.
 - è il più breve intervallo di tempo che ogni osservatore inerziale misura fra quegli eventi.
 - dipende dalla velocità dell'osservatore.
 - dipende dalla scelta del sistema di riferimento.
- Due palloncini gonfiati con elio sono rilasciati nello stesso istante da un bambino nei due punti A e B (figura).

Quale delle seguenti affermazioni è vera relativamente a un osservatore O che si muove a velocità costante lungo x ?

- O vede sempre i palloncini partire simultaneamente.
- O vede partire prima l'uno o l'altro a seconda della sua velocità e della sua distanza da A .
- O vede sempre partire prima il palloncino A .
- O vede sempre partire prima il palloncino B .



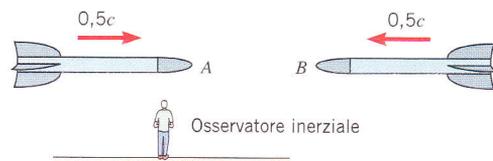
- Un'astronave impiega 3 giorni di tempo proprio per trasferirsi a velocità v costante tra due stazioni spaziali. Nella stazione d'arrivo il viaggio dell'astronave dura 4 giorni. Qual è il valore di v misurato sulla stazione di arrivo?
 - $1,98 \cdot 10^8$ m/s
 - $2,24 \cdot 10^8$ m/s
 - $2,51 \cdot 10^8$ m/s
 - $2,99 \cdot 10^8$ m/s
- La vita media di un muone a riposo è $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Il muone si muove a $0,6c$ rispetto a un osservatore a Terra. Quanti metri percorre nel sistema di riferimento terrestre prima di decadere?
 - 290 m
 - 360 m
 - 500 m
 - 600 m

- 8** Per misurare la lunghezza propria di un'asta che si muove rispetto alla superficie terrestre un osservatore deve registrare le coordinate degli estremi dell'asta:
- A) nello stesso istante di tempo rispetto a un qualsiasi orologio che non sia in moto con l'asta.
 - B) nello stesso istante di tempo rispetto a un orologio fermo a Terra.
 - C) nello stesso istante di tempo rispetto a un orologio solidale con l'asta.
 - D) in istanti di tempo diversi rispetto a un orologio solidale con l'asta.
- 9** Un'astronave sorvola un campo di calcio lungo 115 m alla velocità di $0,500c$. Qual è la lunghezza del campo misurata dall'astronave?
- A) 91 m
 - B) 100 m
 - C) 115 m
 - D) 132 m
- 10** La massa del protone è $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg. Qual è la quantità di moto di un protone in un sistema di riferimento in cui ha velocità $0,93c$?
- A) $1,3 \cdot 10^{-18}$ kg · m/s
 - B) $4,7 \cdot 10^{-19}$ kg · m/s
 - C) $5,9 \cdot 10^{-24}$ kg · m/s
 - D) $1,6 \cdot 10^{-27}$ kg · m/s
- 11** La quantità di moto relativistica di un protone è 1,60 volte più grande della sua quantità di moto classica. Qual è la velocità del protone?
- A) $2,94 \cdot 10^8$ m/s
 - B) $2,76 \cdot 10^8$ m/s
 - C) $2,61 \cdot 10^8$ m/s
 - D) $2,34 \cdot 10^8$ m/s
- 12** L'energia totale di un elettrone ($m_e c^2 = 0,51$ MeV) che viaggia a $0,98c$ è:
- A) 0,25 MeV

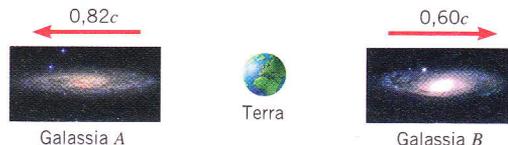
- B) 0,51 MeV
- C) 0,76 MeV
- D) 2,6 MeV

- 13** Qual è l'energia a riposo di una caramella di 1 grammo?
- A) $9 \cdot 10^8$ J
 - B) $9 \cdot 10^{11}$ J/c²
 - C) $9 \cdot 10^{11}$ J
 - D) $9 \cdot 10^{13}$ J

- 14** Due razzi A e B si avvicinano con velocità $0,5c$ relative a un osservatore sulla Terra (figura). Qual è la velocità di A rispetto a B?
- A) c
 - B) $0,8c$
 - C) $0,6c$
 - D) $0,2c$



- 15** Gli astronomi sulla Terra misurano le velocità delle galassie A e B, che si allontanano dalla Terra lungo la stessa retta. Qual è la velocità della galassia A misurata da un astronomo della galassia B?
- A) $1,42c$
 - B) $0,95c$
 - C) $0,82c$
 - D) $0,22c$



Problemi

3. La relatività del tempo: dilatazione temporale

- 1** Un velivolo ha una velocità di $0,75c$ rispetto a Terra. I passeggeri misurano 37,0 ore per l'intervallo di tempo tra due eventi accaduti sulla Terra.
- ▶ Quale durata avrebbero misurato per lo stesso intervallo se la velocità del loro veicolo fosse stata $0,94c$ rispetto a Terra?
- 2** Una particella chiamata pione possiede una vita breve, dopo la quale decade in altre particelle. Supponi che un pione si muova alla velocità di $0,990c$ e che un osservatore nel laboratorio misuri per il pione una vita di $3,5 \cdot 10^{-8}$ s.
- ▶ Qual è la durata della vita del pione per un ipotetico osservatore che si muova con esso?
 - ▶ Per questo ipotetico osservatore, di quanto si sposta il

pione nel laboratorio prima di decadere? $1,5$ m

- 3** Un agente a bordo di una «volante della polizia intergalattica» accende un lampeggiante rosso e osserva che emette un flash ogni 1,5 s. Una persona sulla Terra misura un periodo tra i flash di 2,5 s.
- ▶ A quale velocità sta viaggiando la «volante della polizia» rispetto a Terra?
- 4** Devi progettare una missione spaziale in cui un'astronave viaggia a velocità costante per sei mesi, valore misurato con un orologio a bordo del velivolo, e poi torna con la stessa velocità.
- ▶ Qual è la velocità dell'astronave per la quale la durata del viaggio complessivo misurata sulla Terra è 100 anni? Esprimi la risposta in funzione di c con 5 cifre significative.

5 Un astronauta viaggia alla velocità di 7800 m/s rispetto a Terra, una velocità molto piccola rispetto a c . Per un orologio situato sulla Terra, la missione spaziale dura 15 giorni.

- ▶ Determina (in secondi) la differenza tra la durata del viaggio registrata da un orologio terrestre e da uno posto sul velivolo spaziale.

Suggerimento: quando $v \ll c$, si può usare la seguente approssimazione $\sqrt{1 - v^2/c^2} \approx 1 - (1/2)v^2/c^2$.

6 Osservato sulla Terra, un certo tipo di batterio si riproduce raddoppiando la propria popolazione in 24,0 ore. Vengono preparate due colture di questo batterio, costituite entrambe inizialmente da un esemplare. Una è lasciata sulla Terra e l'altra è messa su un razzo che si muove rispetto a Terra con una velocità pari a $0,866c$.

- ▶ Mentre sulla Terra la coltura ha prodotto 256 batteri, quanti se ne trovano su quella situata sul razzo, secondo l'osservatore terrestre?

4. La relatività delle distanze: contrazione delle lunghezze

7 Un turista cammina alla velocità di 1,3 m/s su una stradina lunga 9,0 km che fiancheggia un vecchio canale.

- ▶ Se la velocità della luce nel vuoto valesse 3,0 m/s, quanto sarebbe lunga la stradina per il turista? $8,5 \text{ km}$

8 La distanza fra la Terra e il centro della nostra galassia misurata da un osservatore terrestre è di circa 23 000 anni luce (1 anno luce = $9,47 \cdot 10^{15}$ m). Una navicella spaziale affronta questo viaggio a una velocità di $0,9990c$. $L_0 \sqrt{1 - \beta^2} = \nu \Delta t_0$

- ▶ Per un orologio posto a bordo della navicella, quanto durerà il viaggio?

Esprimi la risposta in anni (1 anno = $3,16 \cdot 10^7$ s).

9 Un'astronave sfreccia nel cielo a una velocità di $0,90c$ rispetto alla Terra. Un osservatore terrestre misura una lunghezza dell'astronave, lungo la direzione del suo moto, pari a 230 m.

- ▶ Quanto vale per questo osservatore la lunghezza dell'astronave una volta che è atterrata? $L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

10 In laboratorio viene creata una particella instabile, dotata di energia molto elevata, che si muove a una velocità di $0,990c$. Rispetto al sistema di riferimento del laboratorio, la particella percorre $1,05 \cdot 10^{-3}$ m prima di decadere.

- ▶ Quanto valgono la distanza propria e la distanza misurata da un ipotetico osservatore solidale con la particella?
- ▶ Considerando il tempo di vita della particella, determina anche la durata propria e la durata dilatata.

11 Un esploratore spaziale compie un viaggio verso una stella distante, immobile rispetto a noi a una velocità di $0,70c$ rispetto alla Terra. Egli misura per la lunghezza di questo viaggio un valore di 6,5 anni luce.

- ▶ Quanto sarebbe lungo (in anni luce) lo stesso viaggio per un esploratore in moto alla velocità di $0,90c$ rispetto alla Terra?

5. La quantità di moto relativistica

12 Una navicella spaziale si sta avvicinando alla Terra a una velocità di $0,85c$. La massa della navicella è di $2,0 \cdot 10^7$ kg. Determina:

- ▶ il modulo della quantità di moto classica della navicella.
- ▶ il modulo della quantità di moto relativistica della navicella.

13 Un jet ha una massa di $1,2 \cdot 10^5$ kg e vola a una velocità di 140 m/s.

- ▶ Determina il modulo della sua quantità di moto.
- ▶ Se la velocità della luce nel vuoto fosse di 170 m/s, quanto varrebbe il modulo della quantità di moto del jet?

14 Una donna è alta 1,60 m, ha una massa di 55 kg e si muove a fianco di un osservatore parallelamente alla sua altezza. L'osservatore misura per la donna una quantità di moto pari a $2,0 \cdot 10^{10}$ kg · m/s.

- ▶ Quanto vale l'altezza della donna per l'osservatore?

15 Una navicella spaziale possiede una quantità di moto classica di modulo $1,3 \cdot 10^{13}$ kg · m/s. La velocità della navicella è tale che il suo pilota misura un intervallo di tempo proprio tra due eventi pari alla metà di quello dilatato.

- ▶ Determina la quantità di moto relativistica della navicella.

16 Una particella instabile ferma si spezza improvvisamente in due parti. Nessuna forza esterna agisce sulla particella o sui suoi frammenti. Uno di essi ha una velocità di $+0,800c$ e una massa di $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, l'altro ha una massa di $5,01 \cdot 10^{-27}$ kg.

- ▶ Quanto vale la velocità del frammento di massa maggiore?

Suggerimento: questo problema è simile a quello affrontato nell'esempio 6 del capitolo 7.

6. L'equivalenza tra massa ed energia

17  Radium is a radioactive element whose nucleus emits an α particle (a helium nucleus) with a kinetic energy of about $7.8 \cdot 10^{-13}$ J (4.9 MeV).

- ▶ To what amount of mass is this energy equivalent?

18 Determina il rapporto tra le energie cinetiche relativistica e classica per una particella avente una velocità di:

- ▶ $1,00 \cdot 10^{-3}c$
- ▶ $0,970c$

19 Supponi che un litro di benzina produca $2,9 \cdot 10^7$ J di energia e che tale energia sia sufficiente per far percorrere a un'auto 8,5 km. Una piccola caramella ha una massa di 325 mg.

- ▶ Se fosse possibile convertire completamente tale massa in energia termica, quanti chilometri potrebbe percorrere l'auto con una caramella?

20 Quattro kilogrammi d'acqua sono riscaldati da $20,0$ °C a $60,0$ °C.

► Quanto calore è necessario per tale trasformazione? [Calore specifico dell'acqua = $4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$].

► Di quanto aumenta la massa dell'acqua?

21 Un reattore nucleare genera $3,0 \cdot 10^9 \text{ W}$ di potenza.

* ► In un anno di attività, quanto diminuisce la massa del combustibile nucleare a causa dell'utilizzo di energia da parte del reattore?

22 Quanto lavoro deve essere compiuto su un elettrone per accelerarlo da fermo fino a una velocità di $0,990c$?

23 Si ritiene che i quasar siano nuclei di galassie in formazione. Supponi che un quasar irradi energia elettromagnetica al ritmo di $1,0 \cdot 10^{41} \text{ W}$.

► A quale ritmo (in kg/s) il quasar perde massa a causa di tale irraggiamento?

24 A quale distanza devono essere posti due elettroni perché la loro massa totale sia il doppio di quella posseduta quando si trovano a una distanza infinita?

7. La composizione relativistica delle velocità

25 La navicella spaziale *Enterprise 1* si allontana dalla Terra alla velocità, per un osservatore terrestre, di $+0,65c$. Una navicella gemella, *Enterprise 2*, precede *Enterprise 1* e si allontana anch'essa dalla Terra lungo la stessa direzione. La velocità di *Enterprise 2* rispetto a *Enterprise 1* è di $+0,31c$. $0,8c$

► Qual è la velocità di *Enterprise 2* per un osservatore terrestre?

26 Una navicella spaziale, avvicinandosi alla Terra, lancia un veicolo esplorativo. Dopo il lancio, un osservatore terrestre vede la navicella avvicinarsi alla velocità di $0,50c$ e il veicolo esplorativo alla velocità di $0,70c$.

► Qual è la velocità del veicolo rispetto alla navicella?

27 La galassia *A* si allontana da noi con una velocità di $0,75c$. La galassia *B* si allontana in verso opposto con una velocità di $0,55c$. Supponi che la Terra e le galassie si muovano a velocità costante, in modo che possano essere considerate dei sistemi di riferimento inerziali.

► Qual è la velocità della galassia *A* per un osservatore posto sulla galassia *B*?

28 L'equipaggio di un razzo che si sta allontanando dalla Terra lancia un mezzo di salvataggio, la cui lunghezza, misurata dall'equipaggio, è di 45 m . Il mezzo viene lanciato verso la Terra a una velocità di $0,55c$ rispetto al razzo. Dopo il lancio, la velocità del razzo rispetto a Terra è di $0,75c$.

► Qual è la lunghezza del mezzo di salvataggio per un osservatore terrestre?

29 Due particelle si avvicinano dando luogo a un urto frontale. Ciascuna particella ha una massa di $2,16 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$. La velocità di entrambe le particelle rispetto al sistema di riferimento del laboratorio è di $2,10 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

► Quanto vale la velocità relativa tra le particelle?

► Determina la quantità di moto di una particella in un sistema di riferimento solidale con l'altra.

PROBLEMI FINALI

30 Un elettrone e un positrone hanno la stessa massa di $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Dopo un urto si annichilano, dando luogo soltanto a radiazione elettromagnetica.

► Se ciascuna particella si muove prima dell'urto a una velocità di $0,20c$ rispetto al laboratorio, determina l'energia della radiazione elettromagnetica.

31 A quale velocità deve muoversi un regolo lungo un metro per fare in modo che la sua lunghezza osservata si riduca a mezzo metro?

32 Supponi di viaggiare a bordo di una navicella in moto rispetto alla Terra a una velocità di $0,975c$ e di respirare $8,0$ volte al minuto.

► Qual è il tuo ritmo respiratorio per un osservatore terrestre?

33 A quale velocità la quantità di moto relativistica di una particella è il triplo di quella non relativistica?

34 Un incrociatore intergalattico ha due tipi di armi: un laser e un cannone che spara ioni a una velocità di $0,950c$ rispetto all'incrociatore. Avvicinandosi a un velivolo alieno con una velocità di $0,800c$ rispetto a esso, il comandante aziona entrambi i tipi di armi. A quale velocità gli alieni vedono:

► avvicinarsi il raggio laser?

► avvicinarsi gli ioni?

► il raggio laser allontanarsi dall'incrociatore?

► gli ioni allontanarsi dall'incrociatore?

35 Un oggetto possiede un'energia totale di $5,0 \cdot 10^{15} \text{ J}$ e un'energia cinetica di $2,0 \cdot 10^{15} \text{ J}$.

► Quanto vale la sua quantità di moto relativistica?

36 Un rettangolo ha le dimensioni di $3,0 \text{ m}$ e $2,0 \text{ m}$ se misurate da un osservatore fermo rispetto a esso. Muovendosi lungo uno dei lati del rettangolo, esso appare come un quadrato.

► Quali dimensioni possiede il rettangolo per un osservatore in moto alla stessa velocità, ma lungo l'altro lato?

QUESITI

1 Enuncia e spiega brevemente i due postulati della relatività ristretta.

2 Illustra come è possibile dimostrare l'esistenza del fenomeno noto come dilatazione dei tempi.

3 Dai la definizione di intervallo di tempo proprio, intervallo di tempo dilatato, lunghezza propria e lunghezza contratta.

4 Illustra l'equivalenza relativistica tra massa ed energia.

5 Scrivi l'espressione della quantità di moto relativistica e mostra come, da essa, si possa ottenere la formula della quantità di moto che si utilizza in meccanica classica.