

## FÍSICA RELATIVISTA

### CUESTIONES ABAU

1. Medimos o noso pulso na Terra (en repouso) observado que o tempo entre cada latexo é de 0,80 s. Despois facemos a medida viaxando nunha nave espacial á velocidade de  $0,70c$ , sendo  $c$  a velocidade da luz no baleiro. De acordo coa teoría especial da relatividade, a cadencia que medimos será: a) 1,12 s; b) 0,57 s; c) 0,80 s. (ABAU xuño 20).

Resolución:

A cadencia (o intervalo de tempo) é a mesma, calquera que sexa a velocidade do sistema de referencia inercial desde o cal se faga a medida. Fixémonos que se trata da medición da duración dun suceso que ten lugar no mesmo sistema de referencia desde o cal se fai a súa medida: Cando a medida do pulso se fai na Terra e cando se fai viaxando cunha velocidade  $0,70c$ , o observador está nos dous casos xunto ao "reloxo" que utiliza para facer a medida e como se trata dun mesmo suceso medirá sempre o mesmo tempo. Ítem c).

2. Un astronauta (A) acércase a una estrela cunha velocidade de 200000 km/s e outro astronauta (B) afástase da mesma estrela coa mesma velocidade coa que se acerca o (A). A velocidade con que estes astronautas perciben a velocidade da luz da estrela é: a) maior para o astronauta (A) e menor para o (B); b) menor para o astronauta (A) e maior para o (B); c) igual para os dous astronautas. (ABAU xuño 19).

Resolución:

Un dos postulados da teoría especial da relatividade de Einstein di que a velocidade da luz no baleiro é a mesma en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador. Polo tanto, os dous astronautas miden o mesmo valor da velocidade da luz. Ítem c).

3. A enerxía relativista total dunha masa en repouso: a) relaciona a lonxitude de onda coa cantidade de movemento; b) representa a equivalencia entre materia e enerxía; c) relaciona as incertezas da posición e do momento. (PAU setembro 2012).

Resolución:

Na ecuación de Einstein  $E = m \cdot c^2$ ,  $E$  é a enerxía relativista dunha determinada masa  $m$  en repouso. Esta ecuación relaciona a cantidade de enerxía en que é capaz de transformarse unha masa  $m$  ou, viceversa, a masa que se obtén a partir dunha determinada cantidade de enerxía. Así, se un sistema intercambia unha enerxía  $E$  cos seus arredores, a súa masa debe cambiar na cantidade equivalente de  $E/c^2$ . Esta ecuación permite expresar a masa das partículas en unidades de enerxía. Ítem b).

4. Un vehículo espacial afástase da Terra cunha velocidade de  $0,5c$ . Desde a Terra envíase un sinal luminoso, cuxa velocidade é medida pola tripulación, obtendo un valor de: a)  $1,5c$ ; b)  $c$ ; c)  $0,5c$ . (PAU setembro 07).

Resolución:

Michelson e Morley encontraron experimentalmente que a velocidade da luz con respecto á Terra é a mesma en todas as direccións. Este resultado non é compatible coa transformación de Galileo da velocidade (a velocidade é distinta para dous observadores en movemento relativo uniforme). Varias teorías intentaron facer compatible o resultado da experiencia de Michelson-Morley coa relatividade da velocidade. Neste sentido, Fitzgerald, en 1889, e Lorentz, en 1892, supoñen que os corpos que se moven a través do éter se contraen na dirección do movemento, sen que sufran modificación ás súas dimensións transversais.

436

Pero Einstein abandona a idea do éter e, en consecuencia, non hai un sistema de referencia absoluto que permita definir o movemento absoluto, aparecendo a teoría da relatividade. Esta teoría referida ao movemento en sistemas inerciais coñécese como relatividade especial ou restrinxida e un dos postulados nos que se basea di: "A velocidade da luz no baleiro é a mesma en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador". Polo tanto, a velocidade medida polos tripulantes do vehículo espacial é  $c$ . Ítem b).

5. A ecuación de Einstein  $E = m c^2$  implica que: a) unha determinada masa  $m$  necesita unha enerxía  $E$  para poñerse en movemento; b) a enerxía  $E$  é a que ten unha masa  $m$  que se move á velocidade da luz; c)  $E$  é a enerxía equivalente a unha determinada masa. (PAU setembro 05).

Resolución:

Na ecuación de Einstein  $E = m \cdot c^2$ ,  $E$  é a enerxía equivalente a unha determinada masa  $m$ . Esta ecuación relaciona a cantidade de enerxía en que é capaz de transformarse unha masa  $m$  ou, viceversa, a masa que se obtén a partir dunha determinada cantidade de enerxía. Así, se un sistema intercambia unha enerxía  $E$  cos seus arredores, a súa masa debe cambiar na cantidade equivalente  $E/c^2$ . Ítem c).

6. Un vehículo espacial afástase da Terra cunha velocidade de  $0,5c$  ( $c$  = velocidade da luz). Desde a Terra mándase un sinal obtendo o valor: a)  $0,5c$ ; b)  $c$ ; c)  $1,5c$ . (PAU xuño 04).

Resolución:

Un dos postulados da teoría especial da relatividade de Einstein di que a velocidade da luz no baleiro é a mesma en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador. Polo tanto, a velocidade medida polos tripulantes do vehículo espacial é  $c$ . Ítem b).

7. Segundo a teoría da relatividade, dous observadores en sistemas de referencia inerciais miden: a) a mesma velocidade da luz; b) o mesmo espazo; c) o mesmo tempo. (PAAU xuño 01).

Resolución:

Segundo a teoría da relatividade, dous observadores pertencentes a dous sistemas de referencia inerciais distintos **miden a mesma velocidade da luz**: esta é unha invariante. Ítem a).

8. Segundo Einstein, a velocidade da luz no baleiro: a) é constante para sistemas de referencia en repouso, b) é constante independentemente do sistema de referencia inercial escollido, c) depende da velocidade do foco emisor. (XPAAU xuño 98).

Resolución:

Un dos postulados da teoría especial da relatividade de Einstein di que a velocidade da luz no baleiro é a mesma en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador. Ítem b).

## CUESTIONES

1. Razoa se dous sucesos que ocorren no mesmo instante en dous lugares diferentes son simultáneos para:

- a) Un observador fixo, situado no punto medio dos dous sucesos.
- b) Un observador que se move cunha velocidade  $\vec{v}$  cara a un dos sucesos, estando no instante en que se producen no punto medio dos dous sucesos.

Resolución:

a) Un suceso que ten lugar nun punto  $P_1$  é simultáneo con outro suceso que ocorre no punto  $P_2$  se un observador fixo situado no punto medio entre  $P_1$  e  $P_2$  os percibe ao mesmo tempo. Polo tanto, **os dous sucesos** que ocorren no mesmo instante en dous lugares diferentes **si son simultáneos para o observador fixo, situado no punto medio dos dous sucesos**.

b) Cando o observador se despraza cunha velocidade  $\vec{v}$  cara a un dos sucesos, verá o suceso que ten lugar no punto cara ao que se acerca antes que o suceso que se produce no punto do cal se separa. Polo tanto, para este observador, **os dous sucesos non son simultáneos**.

2. Unha barra de  $l$  m de longa móvese paralelamente á súa lonxitude cunha velocidade  $\vec{v}$ , con respecto a un observador en repouso. Comenta como será, (maior, menor ou igual) a lonxitude da barra para este observador.

Resolución:

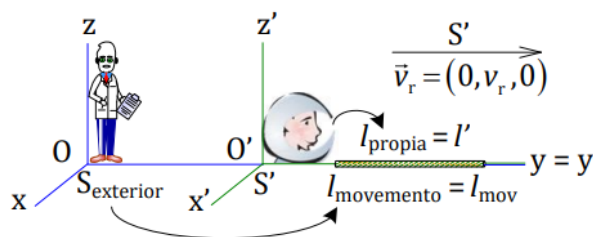
A relación que hai entre a lonxitude da barra  $l'$  medida por un observador que se encontra en repouso con respecto á barra (lonxitude propia) e a lonxitude  $l_{\text{mov}}$  medida por outro observador que se move con respecto á barra cunha velocidade  $\vec{v}$  constante (lonxitude en movemento) vén dada pola expresión:

$$l' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot l_{\text{mov}}, \text{ sendo } c \text{ a}$$

velocidade da luz no baleiro.

Como  $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > 1$ , ocorre que  $l' > l_{\text{mov}}$ . Isto é: A lonxitude da barra  $l$  medida por un observador

pertencente a un sistema de referencia que se encontra en movemento cunha velocidade  $\vec{v}$  con respecto ao obxecto a medir ( $l_{\text{mov}}$ ) é menor que a lonxitude  $l'$  da barra medida por un observador pertencente a un sistema de referencia no cal a barra se encontra en repouso ( $l_{\text{propia}}$ ). Este efecto é o que se chama contracción da lonxitude.





3. Un astronauta de 30 anos fai unha viaxe interplanetaria á velocidade de  $2 \cdot 10^8$  m/s. Cando retorna á Terra observa que o tempo que aquí transcorreu foi de 25 anos. Razoa cal das seguintes idades será a do astronauta: a) maior a 55 anos, b) igual a 55 anos e c) menor de 55 anos.

Resolución:

429

A relación entre o tempo  $t'$  medido polo astronauta na súa nave, tempo propio, que se move coa velocidade  $v$  con respecto á Terra e o tempo  $t$  medido por outro observador situado na Terra, vén dada pola expresión:  $t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot t'$ , sendo  $c$  a velocidade da luz no baleiro.

Como  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1$ , ocorre que  $t > t'$ . Isto é: O intervalo de tempo entre dous sucesos é menor para o observador que está en repouso relativo con respecto ós sucesos que para o observador que está en movemento relativo con respecto ós sucesos.

Como  $t = 25$  anos e  $t' < 25$  anos resulta que **a idade do astronauta é menor de 55 anos**, como corresponde ao ítem c) da cuestión.

Como  $t = 25$  anos e  $t' < 25$  anos resulta que **a idade do astronauta é menor de 55 anos**, como corresponde ao ítem c) da cuestión.

4. Que demostra a experiencia de Michelson-Morley?

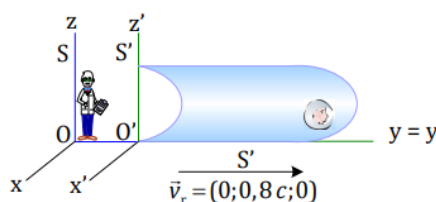
Resolución:

As experiencias realizadas en 1887 por Michelson e Morley demostraron que **a velocidade con que se propaga a luz no baleiro é constante** en todas as direccións e independente do sistema de referencia inercial elixido: é unha invariante.

5. Un viaxeiro dunha nave espacial, que leva a velocidade de  $0,8 \cdot c$ , sendo  $c$  a velocidade da luz, mide a lonxitude do lateral da nave obtendo un valor de  $l$  m. A lonxitude que medirá un observador exterior (en repouso) é: a)  $0,6$  l m; b)  $l/0,6$  m; c)  $0,8$  l m; d)  $l$  m. Elix a opción que consideres correcta.

Resolución:

A relación que hai entre a lonxitude do lateral na nave espacial medida polo viaxeiro,  $l_{\text{viaxeiro}}$ , (este observador encóntrase en repouso con respecto á nave espacial e, polo tanto, mide a lonxitude propia) e a lonxitude medida polo observador exterior,  $l_{\text{exterior}}$ , (este observador móvese con respecto á nave cunha velocidade  $v = 0,8 \cdot c$  e mide  $l_{\text{movemento}}$ ) vén dada pola expresión:  $l_{\text{viaxeiro}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot l_{\text{exterior}}$ . Facendo a



substitución dos valores correspondentes resulta:

$$l_{\text{viaxeiro}} = l = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \cdot l_{\text{exterior}} \rightarrow l_{\text{exterior}} = 0,6 \text{ l m. Ítem a)}$$

6. O viaxeiro da nave anterior mide o tempo necesario para percorrer unha distancia  $l$ , obtendo un valor de  $t$  segundos. O tempo  $t'$  que medirá o observador exterior será: a)  $t' = 1,67 \text{ t s}$ ; b)  $t' = 0,6 \text{ t s}$ ; c)  $t' = t \text{ s}$ . Elix a opción que consideres correcta.

Resolución:

A relación que hai entre o tempo  $t'$  medido polo viaxeiro da nave espacial, para o cal o suceso ten lugar no mesmo punto ( $t_{\text{propio}}$ ) e se move coa velocidade  $v = 0,8 \cdot c$  con respecto ao observador exterior, e o tempo  $t$  medido polo observador exterior, que está en movemento relativo con

430

respecto ao suceso ( $t_{\text{movemento}}$ ), vén dada pola expresión:  $t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot t'$ . Substituíndo resulta:

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \cdot t' \rightarrow t = 1,67 \text{ t' s. Ítem a).}$$

7. Un reloxo nun sistema de referencia  $S'$ , para o cal o suceso ten lugar nun mesmo punto e se move cunha velocidade constante  $\vec{v}$  con respecto a outro sistema de referencia  $S$ , que está en repouso, vai: a) máis rápido no sistema de referencia  $S$ ; b) máis lento no sistema de referencia  $S$ ; c) á mesma velocidade nos dous sistemas de referencia. Elix a opción que consideres correcta.

Resolución:

A relación entre o tempo  $t'$  medido por un reloxo pertencente a un sistema de referencia  $S'$ , para o cal o suceso ten lugar nun mesmo punto,  $t_{\text{propio}}$ , e se move coa velocidade  $v$  respecto a outro reloxo que está en movemento con repouso ao suceso e mide o tempo  $t$ ,  $t_{\text{movemento}}$ , vén dada pola expresión:  $t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot t'$ , sendo  $c$  a velocidade da luz no baleiro.

Como  $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > 1$ , ocorre que  $t > t'$ . Isto é: **O reloxo en movemento con respecto ao suceso vai máis rápido (adianta) que o reloxo en repouso con respecto ao suceso (vai máis lento: atrasa).** Ítem a).

8. Se medimos o noso pulso na Terra (en repouso) e despois mentres viaxamos cunha velocidade  $\vec{v}$ , de acordo coa teoría especial da relatividade, notaremos que a súa cadencia é: a) igual; b) diminúe; c) aumenta. Elix a opción que consideres correcta.

Resolución:

A **cadencia** (o intervalo de tempo) coa que se produce a repetición regular dos sons que se perciben ao apertar certas arterias do corpo, que se corresponden cos latexos do corazón, **é a mesma** calquera que sexa a velocidade do sistema de referencia inercial desde o cal se faga a medida. Fixémonos que se trata da medición da duración dun suceso que ten lugar no mesmo sistema de referencia desde o cal se fai a súa medida: Cando a medida do pulso se fai na Terra e se fai viaxando cunha velocidade  $\vec{v}$ , o observador está nos dous casos xunto ao "reloxo" que utiliza para facer a medida e como se trata dun mesmo suceso medirá sempre o mesmo tempo (Ítem a).

9. Cando nos acercamos a unha fonte de luz cunha velocidade constante  $\vec{v}$ , a velocidade da fonte de luz é: a) menor; b) maior; c) a mesma. Elixo a opción que consideres correcta.

Resolución:

Segundo un dos postulados da teoría da relatividade especial de Einstein, **a velocidade da luz** no baleiro **é a mesma** en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador, tendo o valor de  $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  (ítem c).

10. Se unha luz intermitente se move uniformemente cara a nós, observaremos que os intervalos de luz, a medida que están máis cerca de nós: a) diminúen de frecuencia; b) aumentan de frecuencia; c) teñen igual frecuencia. Elixo a opción que consideres correcta.

431

Resolución:

Segundo un dos postulados da teoría da relatividade especial de Einstein, **a velocidade da luz** no baleiro **é a mesma** en todos os sistemas de referencia inerciais, calquera que sexa a velocidade da fonte e a do observador, tendo o valor de  $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ . Polo tanto, os intervalos de luz **teñen igual frecuencia**. Ítem c).

11. Unha nave espacial pasa por diante da Terra, que consideramos en repouso. Un observador situado na Terra encontra que a cantidade de movemento da nave é maior que cando esta estaba en repouso sen despegar. En consecuencia, un astronauta da nave espacial encontra que a cantidade de movemento da Terra é: a) a mesma que a medida polo observador da Terra; b) menor que a medida polo observador da Terra; c) maior que a medida polo observador da Terra. Elixo a opción que consideres correcta.

Resolución:

O momento lineal relativista dun obxecto de masa  $m$ , que se move coa velocidade relativa  $\vec{v}_r$  respecto ao observador, é definido como:  $\vec{p} = \gamma m \vec{v}_r$ , sendo  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_r^2}{c^2}}}$ , de modo que o

momento relativista dun obxecto en movemento é maior que o momento newtoniano,  $m \vec{v}_r$ .

Como para o astronauta a Terra está en movemento resulta que a súa cantidade de movemento é maior que a que mide o terrícola.

12. Se a enerxía dunha partícula en repouso é de 800 MeV e nun determinado instante a súa enerxía é de 1050 MeV; a enerxía cinética da partícula é: a) 250 MeV; b) 800 MeV; c) 1050 MeV; d) 1850 MeV. Elixo a opción que consideres correcta.

Resolución:

A enerxía relativista  $E$  dunha partícula de masa  $m$ , que se move coa velocidade relativa  $\vec{v}_r$  respecto ao observador, é definida como:  $E = \gamma m c^2$ .

Para velocidades moito máis baixas que a da luz, esta expresión simplifícase (a través dun desenvolvemento en serie de Taylor) en:  $E \approx m c^2 + \frac{1}{2} m v_r^2 + \dots$ , sedo a enerxía total a suma da enerxía en repouso  $E_0$ ,  $m c^2$ , que ten a partícula simplemente por ter masa, máis a expresión newtoniana da enerxía cinética  $E_k$ ,  $\frac{1}{2} m v_r^2$ :  $E = E_0 + E_k$ . Os puntos suspensivos dan correccións relativistas á expresión newtoniana da enerxía cinética.

Substituíndo datos resulta:  $1050 = 800 + E_k \rightarrow E_k = 250 \text{ MeV}$  (ítem a).

13. Un sistema de referencia  $S'$  móvese cunha velocidade  $\vec{v}$  constante con respecto a un sistema de referencia inercial  $S$ . Un observador pertencente ao sistema  $S$  mide a duración dun suceso que ten lugar nun mesmo punto con respecto ao sistema  $S$ . O tempo medido polo observador pertencente ao sistema  $S'$ , en relación ao tempo medido polo observador  $S$ , é: a) maior; b) menor; c) igual; d) non se teñen datos suficientes para coñecer a relación de ambos tempos.

Resolución:

Para o observador pertencente ao sistema  $S'$ , o suceso (inicio e final) ten lugar en dous sitios distintos e o tempo que mide,  $t' = t_{\text{movemento}}$ , relaciónase co tempo do observador  $S$ ,  $t = t_{\text{repouso}} =$

432

$t_{\text{propio}}$ , segundo a expresión:  $t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_r^2}{c^2}}} \cdot t = \gamma \cdot t$ , sendo  $c$  a velocidade da luz no baleiro.

Como  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v_r^2/c^2}} > 1$ , ocorre que  $t' > t$ . Isto é: A duración dun suceso é menor para o observador que está en repouso relativo con respecto ao suceso e é maior para o observador que está en movemento relativo con respecto ao suceso (ítem a).

15. Un home (observador 1), pertencente a un sistema de referencia inercial, móvese cunha velocidade  $\vec{v}$  constante con respecto a outro home (observador 2), e leva na súa man unha barra, e cando mide a súa dimensión horizontal, que coincide coa dirección do movemento, obtén un valor de 3 m. Máis tarde deixa caer, verticalmente ao chan e desde unha altura de 2 m, a barra e mide o seu tempo de caída, sendo de 0,64 s. Comenta como será (maior, menor ou igual) a lonxitude da barra, a altura desde a que cae e o tempo de caída para o observador (2).

Resolución:

Con respecto á barra, o observador 1 está en repouso mentres que o observador 2 está en movemento na dirección horizontal da barra. Segundo o comentado na cuestión anterior resulta que:  $l_{\text{propia}} = l_1 > l_2 = l_{\text{movemento}}$ ;  $l_2 < 3$  m.

Na dirección vertical os dous observadores están en repouso relativo e a medida da altura desde a que cae a barra é a mesma para ambos:  $h_2 = h_1 = 2$  m.

Para o observador 2, que está en movemento relativo con respecto á barra, o suceso (inicio e final) ten lugar en dous sitios distintos e o tempo que mide,  $t_2 = t_{\text{movemento}}$ , relaciónase co tempo do observador 1,  $t_1 = t_{\text{repouso}} = t_{\text{propio}}$ , segundo a expresión:  $t_2 = \gamma \cdot t_1$ , sendo  $\gamma > 1$ . Polo tanto,  $t_2 > t_1 = 0,64$  s.



16. Un home (observador 1) móvese cunha velocidade  $\vec{v}$  constante con respecto a outro home (observador 2), que está en repouso. Este segundo observador ten na súa man unha barra e cando mide a súa dimensión horizontal, que coincide coa dirección de  $\vec{v}$ , obtén un valor de 3 m. Máis

433

tarde deixa caer, verticalmente ao chan e desde unha altura de 2 m, a barra e mide o seu tempo de caída, sendo de 0,64 s. Comenta como será (maior, menor ou igual) a lonxitude da barra, a altura desde a que cae e o tempo de caída para o observador (1).

Resolución:

A diferenza da cuestión anterior, agora, con respecto á barra, o observador 1 é o que está en movemento (na dirección horizontal da barra) mentres que o observador 2 está en repouso. Polo tanto, agora temos:  $l_{\text{propia}} = l_2 > l_1 = l_{\text{movemento}}: l_1 < 3 \text{ m}$ .

Na dirección vertical os dous observadores están en repouso relativo e a medida da altura desde a que cae a barra é a mesma para ambos:  $h_2 = h_1 = 2 \text{ m}$ .

Para o observador 1, que está en movemento relativo con respecto á barra, o suceso (inicio e final) ten lugar en dous sitios distintos e o tempo que mide,  $t_1 = t_{\text{movemento}}$ , relaciónase co tempo do observador 2,  $t_2 = t_{\text{repouso}} = t_{\text{propio}}$ , segundo a expresión:  $t_1 = \gamma \cdot t_2$ , sendo  $\gamma > 1$ . Polo tanto,  $t_1 > t_2 = 0,64 \text{ s}$ .

- 0,01 s.

17. Desde a plataforma dun aeroporto medimos a lonxitude dun avión, sendo de  $l$  m. Este avión ponse en voo e pasa por diante nosa a gran velocidade. Se agora nós e un viaxeiro do avión medimos a súa lonxitude, esta será: a) maior para nós,  $l_{\text{nós}} > l$ , e igual para o viaxeiro,  $l_{\text{viaxeiro}} = l$ ; b) maior, tanto para nós,  $l_{\text{nós}} > l$ , como para o viaxeiro,  $l_{\text{viaxeiro}} > l$ ; c) menor, tanto para nós,  $l_{\text{nós}} < l$ , como para o viaxeiro,  $l_{\text{viaxeiro}} < l$ ; d) menor para nós,  $l_{\text{nós}} < l$ , e igual para o viaxeiro,  $l_{\text{viaxeiro}} = l$ ; e) ningunha das opcións anteriores.

Resolución:

Cando medimos a lonxitude do avión desde a plataforma do aeroporto, o obxecto (avión) está en repouso relativo con respecto ao observador e a medida obtida é a chamada lonxitude propia:  $l_{\text{propia}}$ . Unha vez que o avión está voando, o viaxeiro segue estando en repouso relativo con respecto ao avión e a medida que fai coincide coa obtida no aeroporto. Pola contra, para o observador que segue en terra, o avión está en movemento,  $\vec{v}_r$ , e a medida que del fai,  $l_{\text{movemento}}$ ,

relaciónase coa  $l_{\text{propia}}$  coa expresión: 
$$l_{\text{propia}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_r^2}{c^2}}} \cdot l_{\text{movemento}} \rightarrow l_{\text{propia}} > l_{\text{movemento}}.$$

Estes resultados son os que corresponden ao ítem d) da cuestión.

18. Unha nave espacial pasa a gran velocidade por diante da Terra, que consideramos en repouso. Para un observador situado na Terra e para un astronauta da nave resulta que: a) a masa da nave para o observador é menor que para o astronauta; b) a masa da nave para o observador é maior que para o astronauta; c) a masa da Terra para o astronauta é menor que para o observador; d) a masa da Terra para o astronauta é maior que para o observador; e) a masa da nave é a mesma, tanto para o observador como para o astronauta; f) a masa da Terra é a mesma, tanto para o observador como para o astronauta. Elixo de forma razoada a/s opción/s que consideres correcta/s.

Resolución:

A masa  $m$  dun obxecto é un *invariante*, independentemente da velocidade relativa entre o observador e o obxecto (a masa, en todos os marcos de referencia, considérase como a masa medida por un observador en repouso respecto do obxecto). O que aumenta coa velocidade é o momento lineal  $\vec{p}$  e a enerxía  $E$  do obxecto. Polo tanto son correctas as opcións e) e f).

19. Unha nave espacial, nave 1, móvese coa velocidade constante  $\vec{v}_1$  e unha segunda nave, nave 2,

434

móvese coa velocidade  $\vec{v}_2$ , tamén constante. A medida da lonxitude dun obxecto, pertencente á nave 1, na dirección do movemento é: a) maior para un observador pertencente á nave 1; b) maior para un observador pertencente á nave 2; c) iguais para ambos observadores; d) non se pode saber para cal dos dous observadores será maior xa que non se sabe cal das dúas velocidades é maior; e) non se pode establecer ningunha relación porque ningún dos observadores está en repouso. Elixe razoadamente a/s opción/s que consideres correcta/s.

Resolución:

Tanto o observador da nave 1 como o da nave 2 son inerciais, xa que se moven con velocidade constante (movemento rectilíneo e uniforme).

Sabemos que o obxecto pertence á nave 1 e con respecto a un sistema de referencia ligado a esta nave está en repouso. En consecuencia, con respecto á nave 2, o obxecto está en movemento, cunha  $\vec{v}_r$  constante.

Polo tanto, a medida feita polo observador 1 é a lonxitude propia,  $l_1 = l_{\text{propia}}$ , e a que fai o observador 2 é  $l_2 = l_{\text{movemento}}$ . Recordando que  $l_{\text{propia}} = \gamma l_{\text{movemento}}$  e  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v_r^2 / c^2}} > 1$  temos que  $l_1 > l_2$ , solución que corresponde ao ítem a).





