**Relativitat d’Einstein:**

1. Els satèl·lits GPS són bàsicament rellotges en òrbita. Com que es troben en òrbita a 20.200 km de la superfície de la terra, la seva velocitat orbital és d’uns 2,5 km/s. Determina:
   1. La dilatació del temps envers la superfície de la terra, tenint en compte que un punt a la superfície de la terra recorre 40.000 km en 24 h.

Per determinar la diferència de temps entre la superfície de la Terra i el satèl·lit hem de determinar en primer lloc la diferència de velocitat entre el satèl·lit i la superfície de la terra:



A partir d’aquesta velocitat obtenim la dilatació temporal entre la superfície de la Terra i el satel·lit:



Com que la diferència és molt petita val la pena emprar tots els decimals que dona la calculadora.

* 1. La diferència de temps en segons entre la superfície de la terra i el satèl·lit.

Amb la diferència que hem determinat calculem la diferència entre la duració d’un segon al satèl·lit i a la superfície de la Terra:



* 1. L’error què cometríem en 24 h al GPS si no tinguéssim en compte aquest efecte.

Sembla un temps molt reduït, però la llum recorre una distància mesurable en aquest temps:



No sembla un error gaire gran però el problema és que aquest error que cometem cada segon si no es corregeix es va acumulant, així al cap de 24 h tindrem un error de:



Per tant cal corregir periòdicament aquesta diferència de temps entre el satèl·lit i el receptor, cada vegada que es faci mesurable. Si l’error al GPS no volem què excedeixi de 100 m, haurem de fer una correcció de 0,33 μs cada 4 hores:



1. L’experiment de Frisch i Smith al 1963 va suposar la corroboració de la dilatació del temps a velocitat relativistes. Van comptar 563 muons a Mount Washington, a 1907 m d’alçada, i 412 a Cambridge, Massachussets, a nivell del mar, amb una velocitat promig del 99.52% de la velocitat de la llum.
   1. Determina el contatge de partícules sense considerar la dilatació relativista.

El primer que hem de fer és determinar el temps que triguen les partícules en travessar el 1907m de distància entre el cim de la muntanya i el nivell del mar:



Per tant en aquest temps el decaïment radioactiu serà:



Ho aproximem a la part sencera perquè el muons són objectes discrets, no poden haver-hi fracions de partícules.

* 1. Determina el contatge de partícules considerant la dilatació relativista.

Però els muons es mouen a velocitats relativistes, per tant el temps corre igual per a la partícula que per la superfície de la Terra:



El temps s’escurça notablement des del punt de vista del muó, per tant arribaran més partícules de les que caldria esperar:



Que és concordant amb els resultats experimentals que s’indiquen a l’enunciat.

* 1. Determina, des del sistema de referència del muó, la distància què recorre.

Des del punt de vista del muó passen només 0,625 μs, per tant només recorre uns 190 m:



Per tant l’única possibilitat és que els 1907 m del Mount Washington es redueixin, degut a la velocitat dels muons:



Atenció! Δx’ és ara la distància mesurada al sistema de referència de la Terra perquè ara estem mirant el sistema des del punt de vista del muó.

* 1. Amb els resultats anteriors justifica la diferència del contatge de partícules.

Es detecten més muons dels que caldria esperar perquè es mouen a velocitats relativistes i per tant, des del sistema de referència del muó, el temps corre més a poc a poc que des del punt de vista de la Terra.

Altrament els 1907 m del Mount Washington es redueixen a només 187 m, que és el que pot recórrer, en el temps que realment transcorre des del sistema de referència del muó.