

Muon Sidequest

Ets un muó que acaba de néixer a 15 km d'altura. Arribaràs a terra abans de desintegrar-te?

01 NIT DE LA RECERCA

Un detector de muons a l'Eix Central

Per a la Nit de la Recerca hem instal·lat un detector de muons a l'Eix Central de la UAB. Cada vegada que un muó el travessa, el comptador puja. Venen del cel, i no haurien d'arribar-hi.

15 km

D'on venen?

Protons i altres nuclis que viatgen per l'espai, els raigs còsmics, xoquen amb l'aire a uns 15 km d'altura. Del xoc en surt una pluja de partícules, i entre elles hi ha els muons.

1 / cm² / min

Quants n'arriben?

A nivell del mar, aproximadament un per centímetre quadrat cada minut. Per la teva mà en passen un o dos cada segon, i no te n'adones. El detector els compta.

2,2 μs

No haurien d'arribar

Un muó viu, de mitjana, 2,2 microsegons. Fins i tot a la velocitat de la llum, en aquest temps no faria ni un quilòmetre. Arriben gràcies a la relativitat: t'ho expliquem a sota.

A **Muon Sidequest** ets un d'aquests muons. Neixes a 15 km d'altura i has d'arribar al detector de l'Eix Central abans de desintegrar-te. Per simplificar, diem que la UAB és a 0 km: de fet és una mica més amunt del nivell del mar, però per als muons la diferència és molt petita.

Vine a jugar-hi a la paradeta del [Club de Física de la UAB](#): una partida dura menys de 10 minuts.

Per què arriben a terra?

Quan un raig còsmic xoca amb l'aire a uns 15 km d'altura, produeix una pluja de partícules. Entre elles hi ha els muons: parents pesats de l'electró que viuen, de mitjana, 2,2 microsegons.

Encara que anessin a la velocitat de la llum, en aquest temps només recorrerien uns 660 metres. I tot i així, a terra n'arriba aproximadament un per centímetre quadrat cada minut.

Sense relativitat

 660 m

Fins a terra

 15.000 m

Amb relativitat

un muó típic, $\gamma \approx 30$

 uns 20.000 m

La clau és la relativitat especial. Vist des de la Terra, el rellotge d'un muó molt energètic va molt més lent: és la dilatació del temps. Un muó típic viu unes 30 vegades més i recorre, de mitjana, uns 20 km: prou per arribar a terra. Vist des del muó, és l'atmosfera la que s'encongeix: és la contracció de l'espai. Són dues maneres d'explicar el mateix.

Al joc, com més energia tens, més lent va el teu rellotge i menys et costa cada torn. Hem simulat 20.000 partides: amb relativitat arriben a terra uns 80 muons de cada 100, i sense, només 1 de cada 100.

Regles

01 L'objectiu

Ets un muó acabat de néixer a uns 15 km d'altura. Has d'arribar al detector, a terra, abans de desintegrar-te. Guanya qui hi arriba primer, però tothom que hi arriba queda detectat.

De 2 a 5 jugadors, uns 10 minuts. Necessiteu el tauler, 2 daus, una fitxa de personatge i un marcador d'energia per jugador, i les cartes de quiz en tres piles (fàcils, mitjanes i difícils). Si pot ser, que les preguntes les llegeixi un explainer.

02 Preparació

- 1 Cada jugador tria un personatge i posa el marcador d'energia a **10**. Cada personatge té un bonus: el diu la seva fitxa.
- 2 Tothom tira un dau i posa la fitxa a la sortida. Comença qui en tregui més (si empateu, torneu a tirar entre vosaltres). Qui tregui un **1** comença primer, però amb **1 d'energia menys** (9).

03 El torn

Seguiu en el sentit de les agulles del rellotge.

- 1 **Paga** l'energia que marca el color on tens el marcador.
- 2 **Tira** els dos daus i avança.
- 3 **Resol** la casella on has caigut.

Si arribes al detector, ja has acabat, encara que et sobrin punts de la tirada.

04 L'energia

Cada torn pagues:



L'energia va de 0 a 12 i no pot passar d'aquests límits. El cost de cada torn representa el temps que passa per al muó: com més energia té, més lent li va el rellotge (dilatació del temps) i menys paga. El moviment depèn només dels daus, així que la relativitat apareix en un sol lloc i no es compta dues vegades.

05 Última oportunitat

Si al principi del torn no pots pagar, et desintegres ($\mu \rightarrow e + 2$ neutrins) i treus la fitxa del tauler. Però un cop per partida tens una última oportunitat: respon una pregunta del nivell que vulguis. Si l'encertes i amb l'energia que guanyes ja pots pagar, pagues i continues.

06 Les caselles



Quiz

Tu tries la dificultat de la pregunta: fàcil (+1), mitjana (+2) o difícil (+3). Si l'encertes, guanyes aquesta energia.

De veritat: Llicència de joc: el coneixement et dona energia. Un muó real no en guanya pel camí.



Tempesta elèctrica

El camp elèctric del núvol t'accelera: +2 d'energia (màxim 12).

De veritat: El camp elèctric d'un núvol de tempesta pot accelerar els muons. De veritat, accelera els d'una càrrega i frena els de l'altra: l'experiment GRAPES-3, a l'Índia, ho va fer servir per mesurar un núvol de 1.300 milions de volts.



Col·lisió amb N₂

-2 d'energia (no baixa de 0).

De veritat: El muó arrenca electrons de les molècules de l'aire (ionització). Travessant tota l'atmosfera perd uns 2 GeV.



Laboratori de Canfranc

Retrocedeix 4 caselles.

De veritat: El Laboratori Subterrani de Canfranc és sota uns 850 m de roca precisament per amagar-se dels muons còsmics.



Detector

Has arribat a terra: estàs detectat!

De veritat: A nivell del mar arriba aproximadament un muó per centímetre quadrat cada minut. El detector de l'Eix Central de la UAB els compta.

Les caselles on arribes per l'efecte d'una altra casella no s'activen.

Scattering. Si caus en una casella on ja hi ha algú (excepte la sortida i el detector), feu pedra, paper o tisores. Qui guanya avança 2 caselles i qui perd en retrocedeix 2. El Muó Michi i el Muó Minyó canvien aquesta regla: mireu-ne la fitxa.

07 Les preguntes

Hi ha tres piles: **fàcils (+1)**, **mitjanes (+2)** i **difícils (+3)**. Qui cau a la casella tria la dificultat, abans de veure la pregunta. Si l'encertes, guanyes l'energia que marca la carta. Les preguntes sense opcions són obertes: l'explainer té la resposta escrita cap per avall i decideix si val.

Comodins. Cada jugador en té un per partida, per fer-lo servir en una pregunta: el de l'expert (un explainer t'ajuda fent-te preguntes, però mai et diu la resposta) o el del públic (preguntes a algú que passi per allà).

08 El final

Quan algú arriba al detector, acaba la ronda perquè tothom hagi tirat les mateixes vegades. Si n'hi ha arribat més d'un en aquesta ronda, guanya qui tingui més energia; si encara empateu, pedra, paper o tisores. Després seguiu fins que tothom hagi arribat o s'hagi desintegrat.

Poseu una alarma als 10 minuts per si de cas: si sona, guanya qui estigui més a prop del detector.

09 Ronda sense Einstein

Una demostració d'un minut per abans de començar. Un jugador (o tothom alhora) juga com si la relativitat no existís: paga **-3** cada torn sigui quin sigui el color, les caselles i els bonus no fan res i no hi ha última oportunitat. Només n'arriba a terra 1 de cada 100, més o menys. Sense relativitat, un muó recorreria uns 660 m de mitjana abans de desintegrar-se, i n'ha de fer 15.000.

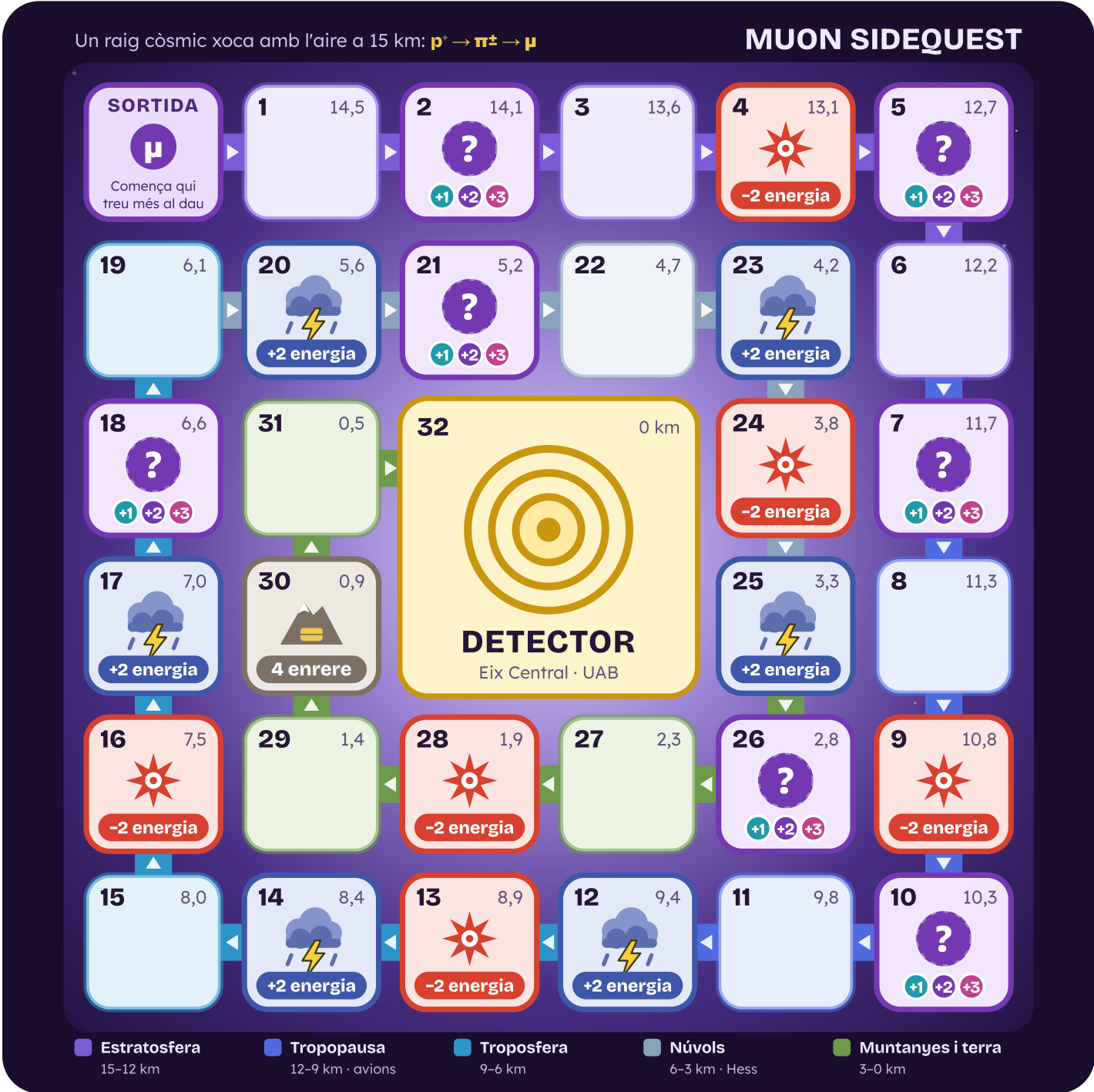
10 Llicències de joc

Per ser honestos amb la física, això és el que el joc simplifica:

- Un muó real gairebé no guanya energia pel camí. El camp elèctric d'una tempesta pot accelerar els muons d'una càrrega, però frena els de l'altra; al joc, la tempesta sempre suma. El quiz és llicència de joc.
- El cost per torn barreja en un sol comptador dues coses reals: la pèrdua d'energia per ionització i el pas del temps propi del muó.
- Els personatges i els seus bonus són fantasia: tots els muons són iguals.
- Els muons no xoquen entre ells. L'scattering real és contra els nuclis de l'aire.
- Els muons reals tenen γ entre 20 i 40. Aquí els valors estan escalats perquè la partida duri 10 minuts.

El tauler

Una espiral de fora cap a dins: comences a dalt de l'atmosfera, a la cantonada, i baixes fins al detector del centre. Cada casella marca la seva altitud.



Fitxes dels muons

Una per jugador. Marqueu l'energia amb un clip o una pinça i les caselles de sota amb un llapis.



Personatge 1
Muó Macarra

S'ha intentat saltar les normes còsmiques diverses vegades! Té antecedents penals per voler acostar-se massa a la velocitat de la llum.

★ **Bonus de velocitat**

Si quan tires el teu marcador és a la franja verda, avances una casella més del que diuen els daus.

Cada torn pagues:

-3
Lenta

-2
Relativista

-1
Ultrarelativista

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10
inici

11

12

☐ Última oportunitat

☐ Comodí



Personatge 2
Muó Maliciós

És dels dolents! Vol aconseguir el màxim d'energia possible per causar un impacte negatiu a la Terra.

★ **Bonus per avarícia**

Quan els teus daus sumen parell, robes 1 d'energia al rival que tinguis més a prop.

Cada torn pagues:

-3
Lenta

-2
Relativista

-1
Ultrarelativista

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10
inici

11

12

☐ Última oportunitat

☐ Comodí



Personatge 3

Muó Michi

És infinitament adorable. De debò, mira'l. Tots els muons es volen aturar a acariciar-lo!

★ Bonus de monada

Si acabes el moviment en una casella veïna d'un rival (just davant o just darrere), feu scattering. Si empateu a pedra, paper o tisores, guanyes tu.

Cada torn pagues:



☐ Última oportunitat

☐ Comodí



Personatge 4

Muó Mestre

Fa tant de temps que ensenya la relativitat (2 ms!) que respon bé gairebé totes les preguntes. Com que ja té una edat, a vegades la memòria li falla...

★ Bonus de saviesa

Quan encertes una pregunta, avances 2 caselles. Si en falles una, tira un dau: amb un 6, guanyes 1 d'energia, sigui quina sigui la pregunta.

Cada torn pagues:



☐ Última oportunitat

☐ Comodí



Personatge 5

Muó Mingó

És simplement feliç. Passa de mals rotllos. No pensa massa les coses, i per això a vegades les jugades li surten millor del que espera...

★ Bonus del bon rotllo

Mai fas scattering: quan n'hi hauria amb tu, passes de llarg i avances 1 casella.

Cada torn pagues:



☐ Última oportunitat

☐ Comodí

Preguntes

Tres piles: com més difícil, més energia. La resposta està escrita cap per avall, perquè la llegeixi l'explainer.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 1

A velocitats relativistes, l'espai es dilata o es contrau?

A Es dilata

B Es contrau

B. Es contrau: les distàncies en la direcció del moviment s'escurcen. Per al muó, l'atmosfera fa molt menys de 15 km.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 2

A velocitats relativistes, el temps es dilata o es contrau?

A Es dilata

B Es contrau

A. Es dilata: un rellotge que es mou molt ràpid va més lent. Per això, vistos des de terra, els muons viuen molt més.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 3

Un muó té més o menys massa que un electró?

A Menys

B Més

B. Més: unes 200 vegades. El muó és com un electró pesant i inestable.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 4

Per quantes partícules està format un neutró?

A Per 2 partícules

B Per cap: és indivisible

C Per 3 partícules

C. Per tres quarks (un up i dos down), units per gluons. El protó també en té tres, però dos up i un down.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 5

Qui va formular la teoria de la relativitat?

A Isaac Newton

B Albert Einstein

C Marie Curie

B. Albert Einstein: la relativitat especial el 1905 i la general el 1915.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 6

Què va més ràpid, la llum o el so?

A La llum

B El so

C Van igual de ràpid

A. La llum, gairebé un milió de vegades més. Per això primer veus el llampec i després sents el tro.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 7

Un any llum és una unitat de...

- A Temps
- B Velocitat
- C Distància

C. Distància: la que recorre la llum en un any, uns 9,5 bilions de quilòmetres.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 8

On és el CERN, el laboratori de física de partícules més gran del món?

- A Entre Suïssa i França
- B Als Estats Units
- C Al Japó

A. A tocar de Ginebra, a la frontera entre Suïssa i França. Espanya n'és un dels estats membres.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 9

Quina força ens manté enganxats a terra?

- A La força magnètica
- B La gravetat
- C La força nuclear

B. La gravetat. És la més feble de les quatre forces fonamentals, però és la que mana a l'escala dels planetes i les galàxies.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 10

Com es diuen les partícules que formen la llum?

- A Electrons
- B Protons
- C Fotons

C. Fotons. No tenen massa, i per això viatgen a la velocitat de la llum.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 11

Hi ha res que pugui anar més ràpid que la llum en el buit?

- A No, és el límit de l'univers
- B Sí, un coet prou potent
- C Sí, el so dins l'aigua

A. No. Els muons dels raigs còsmics solen anar a més del 99,9 % de la velocitat de la llum, però no l'arriben a igualar mai.

Fàcil ●○○

+1 energia

Pregunta 12

Què és un forat negre?

- A Un forat a l'espai on no hi ha res
- B Un lloc amb tanta gravetat que ni la llum en pot sortir
- C Una estrella apagada que ja no fa llum

B. Es forma quan molta massa queda concentrada en un espai molt petit. El 2019 se'n va fotografiar un per primera vegada.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 13

Quin tipus de partícules van a la velocitat de la llum?

- A Les més petites
- B Les que tenen càrrega elèctrica
- C Les que no tenen massa

C. Les que no tenen massa, com el fòto. Les que en tenen, com el muó, s'hi poden acostar molt però no l'assoleixen mai.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 14

Digues les tres lleis de Newton.

Pregunta oberta: respon amb les teves paraules.

Val: 1) Inèrcia: sense forces, un cos continua quiet o en línia recta. 2) Força = massa × acceleració. 3) Acció i reacció. Val si en dona la idea. Funcionen molt bé fins que t'acostes a la velocitat de la llum. Llavors cal la relativitat.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 15

Què vol dir la fórmula $E = mc^2$?

- A Que la massa és una forma d'energia
- B Que l'energia sempre es perd
- C Que la llum té massa

A. Massa i energia es poden convertir l'una en l'altra. Per això, quan un raig còsmic xoca amb l'altre, neixen partícules noves, com els muons.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 16

Què és l'antimatèria?

- A Matèria que no pesa i sura a l'espai
- B Com la matèria, però amb la càrrega contrària
- C La matèria que hi ha dins els forats negres

B. Cada partícula té una antipartícula: el μ^+ és l'antipartícula del μ^- . Quan es troben, s'annihilen i es converteixen en energia.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 17

Un bessó viatja en una nau gairebé a la velocitat de la llum. Quan torna, com és comparat amb el germà que s'ha quedat a la Terra?

- A Més gran
- B Igual
- C Més jove

C. Més jove: per a ell ha passat menys temps. És la paradoxa dels bessons, el mateix efecte que fa que els muons arribin a Terra.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 18

Per què el GPS del mòbil ha de tenir en compte la relativitat?

- A Els rellotges dels satèl·lits no van al mateix ritme que els de terra
- B Els satèl·lits es mouen més ràpid que la llum
- C No cal: el GPS funciona igual sense relativitat

A. Si no es corregís, la posició s'equivocaria uns 10 km més cada dia.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 19

Qui va descobrir els raigs còsmics pujant en globus?

- A Albert Einstein
- B Víctor Hess
- C Galileo Galilei

B. Víctor Hess, el 1912: la radiació augmentava com més amunt pujava. Va rebre el Nobel el 1936.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 20

Quina partícula es va descobrir al CERN el 2012?

- A El bosó de Higgs
- B El muó
- C L'electró

A. El bosó de Higgs, relacionat amb l'origen de la massa. Peter Higgs i François Englert, que l'havien predit, van rebre el Nobel el 2013.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 21

Com es diu l'accelerador de partícules més gran del món?

- A El telescopi Hubble
- B L'ITER
- C El Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC)

C. L'LHC del CERN: un anell de 27 km sota terra on es fan xocar protons gairebé a la velocitat de la llum.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 22

On es va descobrir el muó?

- A En un accelerador del CERN
- B Estudiant els raigs còsmics
- C En una central nuclear

B. Carl Anderson i Seth Neddermeyer el van trobar el 1936 en els raigs còsmics. El CERN encara no existia: es va fundar el 1954.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 23

Els muons dels raigs còsmics es fan servir per fer una mena de radiografia de...

- A Piràmides i volcans
- B Ossos trencats
- C Dents amb càries

A. Travessen la roca, i comptant quants n'arriben es veu què hi ha dins. El 2017 així es va trobar un gran buit desconegut a la Gran Piràmide de Guiza.

Mitjana ●●○

+2 energia

Pregunta 24

Per què el cel és blau?

- A Perquè reflecteix el color del mar
- B Perquè l'aire escampa més la llum blava que la vermella
- C Perquè l'aire és de color blau

B. Les molècules de l'aire desvien (scatter) sobretot la llum blava. A la posta de sol, la llum travessa més aire i ens arriba més vermella.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 25

Digues 2 leptons, 2 quarks i 2 bosons.

Pregunta oberta: respon amb les teves paraules.

Val: Leptons: electró, muó, tau, neutrins. Quarks: up, down, strange, charm, bottom, top. Bosons: fòto, gluó, W, Z, Higgs. Val si en diu dos de Son les peces del model estàndard, la teoria de totes les partícules elementals conegudes.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 26

En què es diferencien els leptons dels quarks?

- A** Els leptons són molt més pesants que els quarks
- B** Els quarks no tenen cap càrrega elèctrica
- C** Els quarks senten la força forta i sempre van en grup

C. Els quarks sempre estan units, formant protons, neutrons o pions. Els leptons, com l'electró o el muó, poden anar sols.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 27

En què es diferencien els bosons dels fermions?

- A** Els fermions fan la matèria; els bosons, les forces
- B** Els bosons sempre pesen més
- C** Els fermions no tenen càrrega

A. La diferència de fons és l'espin. Dos fermions iguals no poden estar al mateix estat (principi de Pauli); per això la matèria ocupa espai.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 28

Per quin descobriment va guanyar Einstein el premi Nobel?

- A** La teoria de la relativitat
- B** L'efecte fotoelèctric
- C** La bomba atòmica

B. Per l'efecte fotoelèctric: la llum arriba en paquets, els fotons. La relativitat no va rebre mai el Nobel.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 29

Per al muó, el seu rellotge va normal. Llavors, des del seu punt de vista, per què arriba a terra?

- A** Perquè va més ràpid que la llum
- B** Perquè l'atmosfera se li fa molt més curta
- C** Perquè guanya energia pel camí

B. És la contracció de l'espai. Des de terra ho expliquem amb el temps i des del muó, amb l'espai: és el mateix efecte.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 30

Qui va predir que existia l'antimatèria?

- A** Niels Bohr
- B** Isaac Newton
- C** Paul Dirac

C. Paul Dirac, el 1928, a partir d'una equació. El 1932, Carl Anderson va trobar el positró (l'antielectró) en els raigs còsmics.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 31

Què diu el principi d'incertesa de Heisenberg?

- A** No podem saber alhora exactament on és i com es mou
- B** Les partícules desapareixen si no les mirem
- C** Tota mesura té un error del 10 %

A. Com més bé saps on és una partícula, pitjor en saps la velocitat. No és culpa dels aparells: la natura és així.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 32

Què és la matèria fosca?

- A** Matèria que les estrelles han cremat
- B** Matèria invisible que es nota per la seva gravetat
- C** El nom científic dels forats negres

B. Les galàxies giren massa de pressa per la matèria que veiem. Hi ha unes cinc vegades més matèria fosca que visible, i encara no sabem què és.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 33

Quines són les quatre forces fonamentals de la natura?

- A** Gravetat, fregament, pes i magnetisme
- B** Calor, llum, so i electricitat
- C** Gravitatòria, electromagnètica, nuclear forta i nuclear feble

C. La força feble és la responsable de la desintegració del muó. La forta és la que manté units els quarks.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 34

Quina partícula manté units els quarks dins dels protons i els neutrons?

- A** El gluó
- B** El fotó
- C** El neutrí

A. El gluó, que transmet la força forta. El nom ve de l'anglès glue, que vol dir 'cola';

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 35

D'on ve la major part de la massa d'un protó?

- A** De la massa dels tres quarks que té a dins
- B** Dels electrons que giren al seu voltant
- C** De l'energia dels quarks i els gluons de dins

C. Els tres quarks només en fan un 1%. La resta és energia de moviment i d'unió convertida en massa, com diu $E = mc^2$.

Difícil ...

+3 energia

Pregunta 36

Què és un neutrí?

- A** Un neutró molt petit i sense massa
- B** Una partícula sense càrrega que ho travessa gairebé tot
- C** Un àtom que ha perdut els electrons

B. Quan un muó es desintegra en centenars de bilions de neutrins del Sol i no te n'adones.