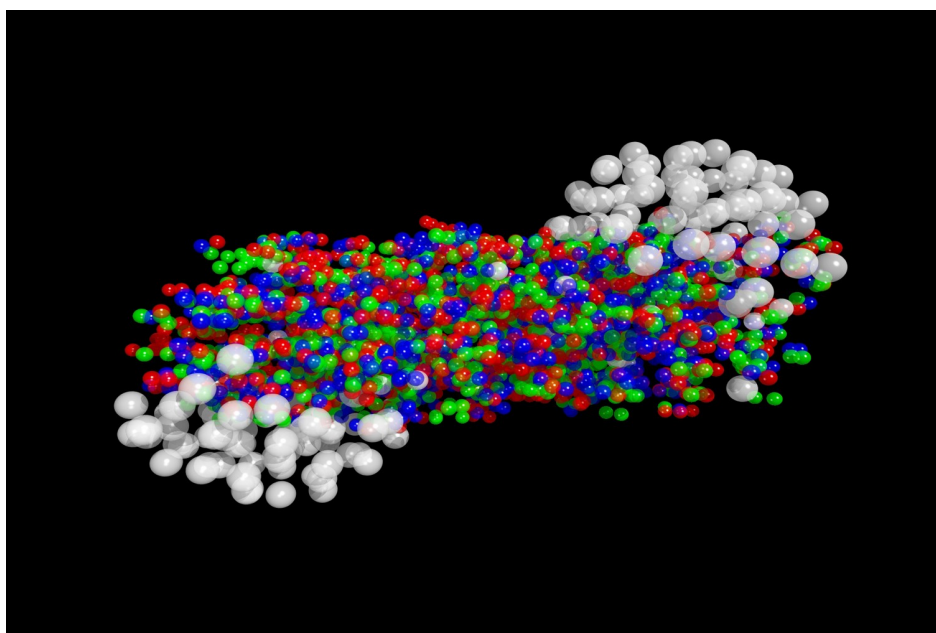




Col·legi "La Mercè"
C/ Mur 36-40
Martorell 03/04

TREBALL DE RECERCA: EL MÓN SUBATÒMIC



Perelló Nieto, Miquel
07/02/04
2º Btx B
Josep Anton Garrido.

Index

1. Introducció.....	pàg.4
2. Introducció al món de les subpartícules.....	pàg.7
2.1. Historia de l'àtom i les seves subpartícules.....	pàg.7
a) Model atòmic de John Dalton	
b) Model atòmic de Rutherford	
c) Model atòmic de Bohr	
2.2. L'àtom.....	pàg.11
- Barions	
-Messons	
3. Fonaments físics	pàg.14
3.1. Magnetisme	pàg.14
a) Força d'un camp magnètic sobre una càrrega en moviment	
b) Força d'un camp magnètic sobre un conductor	
c) Moviment d'una partícula carregada en un camp magnètic uniforme	
3.2. La ionització	pàg.17
a) L'impacte electronic	
b) Electrospray	
c) Ionització química	
d) FAB (Fast Atom Bombardment)	
e) MALDI (Matrix Assisted Laser Desorption-Ionization)	
3.3. Reaccions nuclears	pàg.21
a) Reaccions nuclears i radioactivitat	pàg.21
α) Emisió de partícules alfa	
β) Emisió de partícules beta	
γ) Emisió de partícules gamma	
b) fissió nuclear	pàg.24
c) fusió nuclear	pàg.25

4. La relativitat	pàg.26
4.1. L'alliberament de grans energies.....	pàg.26
4.2. La gravetat.....	pàg.27
4.3. La llum en un camp gravitatori.....	pàg.29
4.4. La curvatura del temps.....	pàg.30
- La paradoxa dels bessons	
4.5. L'expansió de l'univers.....	pàg.32
5. Mecànica quantica	pàg.34
-“El gat de Schrödinger”	
5.1. La seva magnitud física	pàg.36
5.2. Principi d'incertesa de Heisenberg	pàg.37
5.3. ¿ existeix l'univers independentment de nosaltres?	pàg.37
6. Acceleradors de partícules.....	pàg.40
6.1. Que son?	pàg.40
6.2. Per a que serveixen?.....	pàg.41
6.3. Tipus.....	pàg.43
•Electrostatics.....	pàg.43
a) Generador de Van der Graaff	
•De camp magnètic i elèctric variables.....	pàg.44
a) El betatró	
b) El ciclotró	
7. L'espectròmetre de masses.....	pàg.47
8. Conclusió	pàg.49
9. Bibliografia.....	pàg.50
10. Annex.....	pàg.52

1. Introducció

El tema de l'univers, i el que el forma es una cosa fascinant. Aquest tema sempre m'ha atret, i m'ha fet informar-me sobre el que ens envolta. L'estructura que forma l'univers, i els entrebancs que ens posa la natura en la recerca de lleis físiques i atòmiques fan que sigui un univers intrigant, i difícilment accessible. Aquest anhel de veure realment com és la realitat, o de trobar lleis físiques que ens apropin més a una realitat objectiva, és una característica dels físics o filòsofs que no accepten les lleis ja vigents, o que volen buscar teories encara sense conèixer. Jo soc una d'aquestes persones que no es conformen acceptant una teoria, sinó que haig d'entendre-la i comprendre-la, en cas contrari no crec que sigui ni certa ni falsa, sinó acceptada per alts físics. Aquest esperit de recerca m'ha dut a fer el treball sobre aquest tema, en la recerca d'un model atòmic perfecte, en la introducció al món de la relativitat i de la mecànica quàntica, i en el mètode de recerca d'aquestes partícules tan escorredisses.

Per començar el treball calia introduir-se en la història de l'àtom, la seva evolució fins a un model actual. Es veu un augment de la recerca sobre tots aquests temes en aquest últim segle passat. Això és per els grans avenços tecnològics que s'han experimentat. Els acceleradors de partícules ens han introduït mes en l'àtom, i ens han donat solucions a problemes de la seva estructura. Després d'entendre l'estructura de l'àtom, aportaré les lleis físiques necessàries per entendre tot el que mes endavant s'explicarà. Això ens donarà les dots bàsiques per comprendre el perquè de les posteriors reaccions o moviments.

Amb la relativitat es podrà descobrir un món de lleis, un univers amb estranys successos. Gràcies a la relativitat la cosmologia ha pogut evolucionar més, l'estructura de l'univers és una mica més entenedora, i s'han creat màquines que funcionen amb fonaments atòmics. Amb la mecànica quàntica donarem un cop d'ull al món més petit i més imprecís. Un món amb lleis estranyes, i que encara no s'ha assolit entendre del tot. Aquest tema porta molts mals de caps als científics, ja que encara no hi ha res acceptat del tot, i és tot massa imprecís.

Finalment s'entrarà en el tema dels acceleradors de partícules, gràcies als quals, l'estructura de l'àtom és cada cop més precisa. Actualment hi ha diferents màquines que accelerin partícules, però cada una s'utilitza per diferents objectius. N'hi ha en l'àmbit de la medicina per curar el càncer, per fer radiografies... També són utilitzats en laboratoris per saber amb quins elements químics està formada una substància. I la utilitat primordial dels grans acceleradors de partícules, arribar a un model atòmic perfecte, i descobrir gràcies a aquest model i els xocs entre electrons i altres subpartícules la creació de l'univers.

Per arribar a aquest treball ha calgut la lectura de varis llibres, adquirits en biblioteques, antics llibres de col·legi, o llibres que ja havia llegit anteriorment sobre el tema. També s'ha buscat informació en pàgines d'internet, articles de revistes, i enciclopèdies; ja siguin per toms o per cd.

En el treball no s'aprofundeix en les lleis físiques que governen la relativitat, la mecànica quàntica, i el magnetisme, ja que són temes d'alt nivell. Però s'intenta explicar d'una forma entenedora, i sense la necessitat d'aquestes lleis físiques.

En principi anava a ser un treball essencialment d'acceleradors de partícules, però donat que aquest tema es d'alt nivell d'estudis, s'havien de descartar molts conceptes difícils d'entendre, per falta de estudis superiors. Aquest problema descartava i tancava moltes portes i molts temes, per això el treball quedava massa curt, i massa superficial. Per assolir aquest problema vaig canviar l'objectiu del treball, i hem vaig centrar més en la utilitat dels acceleradors de partícules, arribar a conèixer més l'univers que ens envolta. Aquest tema és sobre el que finalment he intentat explicar, i posant els acceleradors de partícules com a grans màquines que ens han ajudat en la recerca d'aquestes teories, i grans màquines que cada cop són més vigents en la societat. Un altre problema que presenta aquest treball és la manca d'experiments, treball pràctic. Aquest treball es essencialment teòric, cosa que bassa el treball només en lectura de llibres i articles. Però aquest problema s'ha agut d'afrontar llegint, e intentant entendre per la meva pròpia mà les teories de la relativitat, la mecànica quàntica, etc. Són temes complicats, i només amb la lectura et fas grans embolics. Però espero haver entès correctament tots el conceptes, ja que sinó estaria enganyant al lector sobre les meves suposicions.

El tema de l'univers sempre m'ha interessat, i he acabat fent el treball sobre un tema que encara m'agradava més. Encara que el meu nivell deu ser molt baix sobre aquests temes, crec tenir les nocions bàsiques per començar a entendre i raonar per el meu compte. En definitiva, una experiència nova, i que et prepara contra una recerca posterior. Trobo que és la patacada que cal donar-se per veure que el temps corre, i que no pots aturar-te ha esperar al pròxim dia.

2. Introducció al món de les subpartícules

2.1 Història de l'àtom i les seves subpartícules

Al llarg dels anys, les teories sobre un model atòmic s'han anat tixant com a incorrectes e imprecises, i renovant, buscant un model atòmic tan bàsic com sigui possible. Però el que semblava ser una única partícula elemental, ha anat creixent en nombre, arribant a ser la unió de partícules mes elementals. Els tres models atòmics que han ajudat en la recerca de un món de les subpartícules mes precis han estat els models de Dalton, el de Rutherford i el de Bohr. Però perquè aquests científics arribessin a aquestes conclusions cal remuntar-nos abans al segle VI aC.

En aquest segle es va començar a dubtar si tot el que passava a l'univers era obra de Déu, i si era tot perfecte. Llavors a Grecia van començar a pensar en unes lleis físiques que podrien governar aquesta realitat, unes lleis assolibles per l'ésser humà.

En aquest mateix segle, va ser Demòcrit, qui va plantejar-se la divisibilitat de la matèria, ¿fins quin punt es podia dividir la matèria? Demòcrit va pensar que devia haver una unitat mínima indivisible que formes tota la matèria, i va anomenar a aquestes partícules àtoms (en grec "indivisible"). Va pensar que tots els elements estaven formats per àtoms diferents, els àtoms d'una matèria eren diferents dels d'una altre, però eren la unitat mes petita e indivisible. Però no va ser fins passats dos mil anys, quan aquesta teoria va entrar en us.

Tot seguit seran comentats els diferents models, i les teories que reforçaven les seves suposicions. Cal dir, que

aquest models van ser acceptats en el seu moment, però que en la actualitat, s'han fet grans avenços en la investigació de les subpartícules gràcies als acceleradors de partícules, i se sap que els següents models son molt generals (sense entrar en detalls que actualment s'han investigat i ampliat).

a) Model atòmic de John Dalton

John Dalton, professor i químic britànic. A principis del segle XIX va estudiar la forma en que els diversos elements es combinaven entre ells per formar compostos químics. Encara que molts altres científics, començant pels antics grecs, havien afirmat que les unitats més petites de una substància eren els àtoms, però es considera a Dalton com una de les figures més significatives de la teoria atòmica perquè la va convertir en una cosa quantitativa. Pensava que existia un àtom indivisible diferent per a cada element (fig 1). Dalton va mostrar que els àtoms s'unien entre si en proporcions definides. Les investigacions van demostrar que els àtoms solen formar grups anomenats molècules. Cada molècula de dioxid de carboni per exemple, està format per un únic àtom de carboni o (C) i dos àtoms de oxigen o (O) units per una força elèctrica denominada enllaç químic, per lo que el dioxid de carboni es simbolitza com OCO o CO₂.



Fig 1

Els àtoms de Dalton, un àtom per a cada element

b) Model atòmic de Rutherford

Thomson, el mestre de Rutherford creia en un àtom amb carrega positiva, amb electrons de carrega negativa enganxats per la carrega positiva de l'àtom (fig 2).

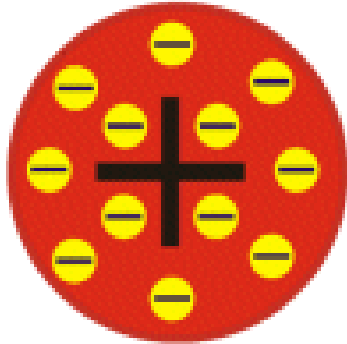


Fig 2

El model de Thomson consistia en una esfera positiva, amb carregues negatives encastades.

Pero Rutherford, el seu deixeble, va creure que l'àtom consistia principalment en espai buit. En el centre d'aquest espai es troba el nucli, que només mesura una deu mil·lèsima part del diàmetre de l'àtom (si l'àtom tingues el volum d'una plaça de toros, el nucli tindria la grandaria d'un granet de sorra). Rutherford va deduir que la massa de l'àtom està concentrada en el seu nucli. També va dir que els electrons viatjaven en òrbites al voltant del nucli (fig 3). El nucli té una càrrega elèctrica positiva; els electrons tenen càrrega negativa. La suma de les carregues dels electrons és igual en magnitud a la carrega del nucli, per lo qual, l'estat elèctric més comú de l'àtom és neutre.

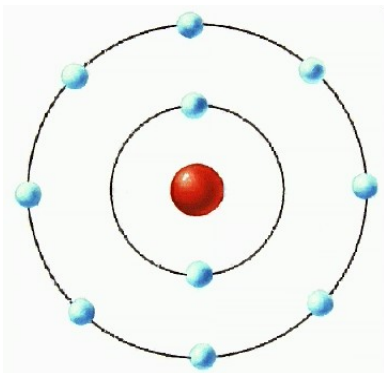


Fig 3

El model atòmic de Dalton consistia en un nucli positiu envoltat de electrons amb carrega negativa.

c) Model atòmic de Bohr

Neiels Bohr (físic danès), va elaborar la teoria de Bohr en 1913. Aquesta teoria deia que els electrons estaven disposats en capes o nivells quàntics, separats del nucli per un gran espai buit. Els electrons "e⁻" se situen en diferents capes, cada cop mes a l'exterior, fins a un límit de set capes. En cada nivell hi caben un nombre determinat de electrons, en la primera hi caben dos e⁻, en la segona capa hi caben vuit e⁻, així augmentant segons la capa. Però la setena capa, la ultima, mai s'arriba a omplir, ja que com mes allunyat del nucli estan els electrons, menys estables son, i tendeixen a perdre's, saltant a altres àtoms mes estables, o baixant de nivell (si hi ha algun espai buit). La ultima capa de l'àtom es la que determina el comportament químic de l'àtom.

Els àtoms amb la última capa plena, son els anomenats gasos nobles. Aquest no es combinen amb cap altre àtom, ja que són els àtoms mes estables. En canvi, tots els altres àtoms volen arribar a tenir la seva ultima capa plena, així, els àtoms mes inestables com són el Liti, Sodi, Potassi, Rubidi, Cesi i Franci els quals només tenen un e⁻ a la seva ultima capa, volen donar-lo a un altre àtom. Aquest últim e⁻ serà molt fàcil de perdre. Al contrari d'aquests àtoms, són el Fluor, Clor, Brom, Iode, i Àstat els quals només els hi falta un e⁻ a la última capa, voldran trobar un àtom que els cedeixi un e⁻.

En els anys '20, gràcies als esforços de Schrödinger, Heisenberg i de Bohr van idear la teoria de la mecànica quàntica, que dona explicació al comportament dels electrons i dels àtoms.

2.2. L'àtom

L'àtom és un cúmulo de partícules inferiors en grandària als protons i neutrons. Actualment se sap que els protons i els neutrons no són partícules fonamentals, aquests estan constituïts per quarks. Expressat en metres (m), l'àtom tindria una grandària de 10^{-10} m, per sota de l'àtom es troba el nucli d'uns 10^{-14} m, constituït per protons i neutrons, els protons amb una grandària de 10^{-15} m, i la part més elemental de la matèria actualment, els quarks i electrons amb una longitud menor o igual a 10^{-18} m (fig 4)

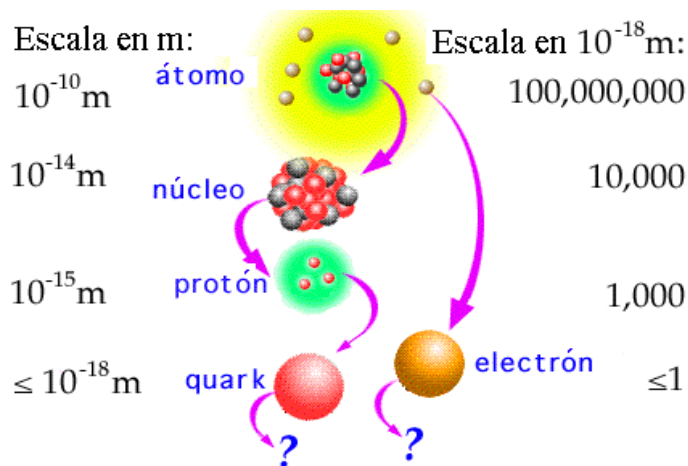


Fig 4

Esquema de la grandària de les subpartícules i de l'àtom. Expressat en metres.

Hi ha sis quarks diferents, però els científics parlen de tres parells de quarks amb els noms següents: Up/Down, Charm/Strange, i Top/Bottom. A més d'aquests sis quarks, cada un té la seva corresponent antimatèria, o antiquark, que són iguals en valor numèric, però amb signe oposat de càrrega elèctrica. Els antiquarks són simbolitzats amb aquest petit símbol " $\bar{}$ ", sobre la lletra corresponent del quark oposat. Per exemple, el quark Up es simbolitza amb la lletra U, i el seu antiquark seria \bar{U} .

Els quarks, per contrari dels neutrons i protons amb càrrega de valor enter, tenen càrregues amb valors fraccionats, com per exemple $2/3$ i $-1/3$. Per això, perquè puguin tenir

carregues de valor enter, els neutrons estan formats per dos quarks down i un quark up, els protons per dos quarks up i un quark down, amb aquesta combinació de quarks, la carrega del neutró queda zero, i la carrega del protó queda +1. Amb aquest gran nombre de quarks, es van haver de separar per trets característics. Així, van separar els que no es veien afectats per les forces fortes (els leptons), de els que si que es veien afectats (els hadrons).

Actualment els leptons es consideren partícules simples, i aquestes son sis: l'electró, mu, tau, i tres neutrins, i a part també existeixen els seus corresponents antileptons.

Els quarks sempre van en grups, aquests grups de quarks prenen el nom de hadrons, així, els hadrons son partícules compostes, i segons el nombre de quarks units se'ls anomena de les següents formes:

-Barions : Els barións son hadrons constituïts per tres quarks. El protó i el neutró són dos clars exemples de barions, el protó (fig 5) constituït per dos quarks up i un quark down (uud) amb la carrega del quark up= $+2/3$ i la carrega del quark down= $-1/3$, la equació del proto és $+2/3 +2/3 -1/3 = +1$ amb el resultat de 1 positiu, la càrrega característica del protó. I el neutró (fig 6) constituït per dos quarks down i un quark up (udd) $2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$ amb càrrega 0.

The Proton

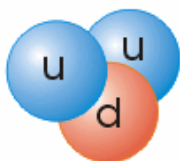
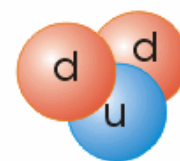


Fig 5/6

Esquema d'un protó 2 up 1 down (esquerra), i un neutró 2 down 1 up (dreta).

The Neutron



-Messons : Els messons, estan constituïts per un quark i un anticuark. El messó pió (fig 7), esta constituït per un quark up i un anticuark down. La seva equació és $2/3+1/3=+1$. Així, el pió presenta una càrrega elèctrica 1 positiu.

The Pion

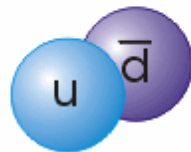


Fig 7

Esquema d'un pió
1 up 1 down
negatiu.

En les següents taules es pot veure la composició dels barions i mesons, i la seva càrrega elèctrica.

BARIONS = qq [*] q [*]	quarks	carrega elèctrica	MESONS = q [*] q̄	quarks	carrega elèctrica
p	uud	+1	π ⁺	u [*] d̄	+1
p̄	ūūđ	-1	κ ⁻	sū	-1
n	udd	0	κ ⁰	d [*] s̄	0
Λ ⁰	uds	0	ρ ⁺	u [*] d̄	0
Ω ⁻	sss	-1	D ⁺	c [*] d̄	+1
Σ _c	uuc	+2	η _c	c [*] c̄	0

3. Fonaments físics

3.1. Magnetisme

a) Força d'un camp magnètic sobre una càrrega en moviment

S'ha comprovat que sobre una càrrega que es mou dintre d'un camp magnètic actua una força la qual segueix els següents criteris:

- El mòdul depèn de la quantitat d'electricitat de la càrrega i de la seva velocitat, del valor del camp i de la seva direcció.
- Si la càrrega es mou en la mateixa direcció del camp, la força es nul·la.
- La direcció de la força es perpendicular a la direcció del moviment de la càrrega i també a la direcció del camp.

$$F = qvB \sin \theta$$

La unitat del camp magnètic en el SI és el tesla.

$$1T = \frac{1N}{1C \cdot 1m/s} = \frac{1N}{1A \cdot 1m}$$

b) Força d'un camp magnètic sobre un conductor

El corrent elèctric es pot considerar un moviment de càrregues positives que es mouen en el sentit del corrent. En els conductors metàl·lics els electrons lliures són els que es mouen. Si un conductor que transporta corrent es troba en un camp magnètic, sobre cada una de les càrregues i actua una força magnètica.

El mòdul de la força F que actua sobre un conductor rectilini de longitud L que transporta corrent I , situat en un camp magnètic uniforme B , és:

$$F = I l B \sin \theta$$

c) Moviment d'una partícula carregada en un camp magnètic uniforme

Considerem una partícula amb càrrega positiva q , inicialment es mou amb una velocitat v en una direcció perpendicular a la d'un camp magnètic uniforme \vec{B} (fig 8).

Sobre aquesta partícula hi actua una força \vec{F} , que es perpendicular a la velocitat, el mòdul de la qual és:

$$F = qvB$$

La força \vec{F} origina una acceleració amb la mateixa direcció i sentit. Així, s'origina una acceleració perpendicular a la velocitat, modificant la direcció de la velocitat.

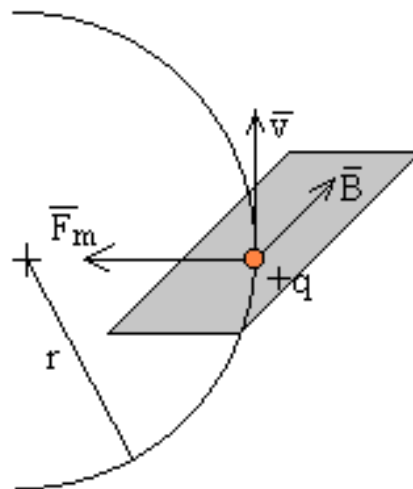
El valor de l'acceleració normal és $a_n = F/m$, que es constant. Aquesta partícula descriu una circumferència de radi r . Llavors, es pot escriure segons la llei de Newton:

$$F = qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

Fig 8

Esquema d'una partícula q amb una velocitat v en un camp magnètic uniforme B .



3.2. La ionització

Per tal de poder accelerar les partícules amb un accelerador, cal que la partícula a accelerar tingui una càrrega positiva o negativa. Aquesta càrrega no la tenen les partícules en estat natural, sinó que s'han de modificar aquestes partícules per tal de que tinguin la càrrega adient.

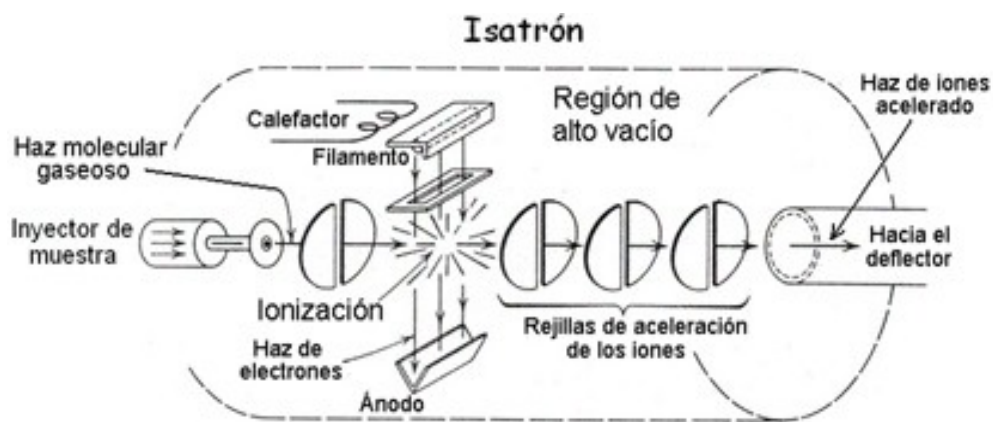
Per ionitzar una molècula es pot procedir de diferents formes per donar-li una càrrega negativa o positiva. Aquests mètodes són els següents:

<u>Mètode</u> [ió resultant]	<u>Relació massa/càrrega (m/q)</u>
• Arrencant un e^- [M]⁺	Positiva, i igual a la massa molecular
• Cedint-li un p^+ [M+1]⁺	Positiva, igual a la massa molecular mes una unitat
• Cedint un ió Na^+ [M+23]⁺	Positiva, igual a la massa molecular mes 23 unitats
• Cedint un e^- [M]⁻	Negativa, e igual a la massa molecular

Per tal de ionitzar les molècules, s'utilitzen diferents mètodes, entre els quals destaquen:

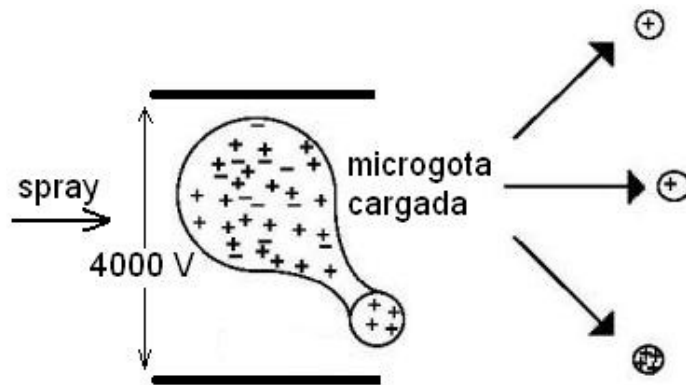
a) L'impacte electronic

Les molècules de la mostra sofreixen l'impacte directe d'un raig d'electrons, que baixen perpendicularment cap a l'ànode, passant per mig del recorregut del gas. Així, les molècules del gas perden un electró. La molècula guanya molta energia interna al trobar-se amb el feix d'electrons. Després surt disparat per l'accelerador de ions que hi intervé. Es diu que és una tècnica de ionització dura.



b) Electrospray

Amb l'ajut d'un nebulitzador, la mostra es converteix en un spray, que al passar entre dos grans elèctrodes amb una diferencia de potencial molt gran adquireix un nombre variable de carregues. Les carregues apareixen a diferents valors de m/q . Aquesta tècnica és per molècules de gran grandària, i és una tècnica suau.



c) Ionització química

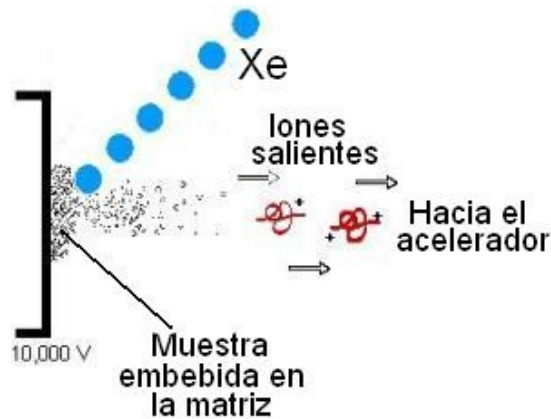
Amb l'ajut d'un gas (metà, amoníac, metanol) s'aconsegueix donar una carrega positiva a la molècula de la mostra. El gas sofreix l'impacte d'un feix d'electrons i es ionitza. El gas ionitzat impacte contra la mostra, la mostra adquireix un protó, i poca energia interna. Per la poca energia interna es considera una tècnica de ionització suau.



d) FAB (Fast Atom Bombardment)

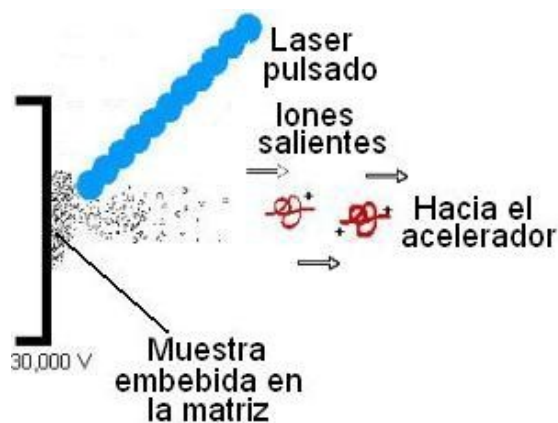
La mostra embeguda en un compost (matriu) amb partícules de sodi (Na^+) o un compost que doni protons, és colpejada per àtoms de xenò o cesi que han estat accelerats. El xoc fa que el compost cedeixi un protó o un àtom de Na^+ a la mostra.

Després salta disparada cap a l'accelerador. Aquesta tècnica de ionització es considera suau.



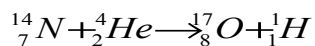
e) MALDI (Matrix Assisted Laser Desorption-Ionization)

Aquesta tècnica és molt semblant a la del FAB. En aquesta, també esta embeguda en una matriu. Però en comptes de fer xocar els àtoms de xenó o cesi, és un làser que irradia les molècules de la mostra. La matriu cedeix un protó o un àtom de Na^+ . També cap la possibilitat de que la mostra perdi un electró directament, si absorbeix la llum a la freqüència d'irradiació del làser. També es una tècnica de ionització suau.



3.3. Reaccions nuclears

La primera reacció nuclear creada per l'home va ser en 1919 per Rutherford, que va bombardejar nuclis de nitrogen amb partícules α i va observar que el nucli de Nitrogen absorbia les partícules, i el Nitrogen es transformava en un altre àtom, amb la emissió d'un protó.



En una reacció nuclear hi intervenen els nuclis atòmics, i la suma dels nombres atòmics i la dels nombres de massa es mantenen constants.

a) Reaccions nuclears i radioactivitat

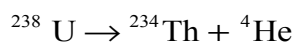
Els nuclis amb gran nivell energètic solen ser molt inestables, això fa que es puguin transformar en dos de mes petits i menys energètics, alliberant energia. Aquest alliberament d'energia es veu reflectit en l'emissió de diferents partícules:

α) Emissió de partícules alfa

En el nucli d'un àtom, les forces repulsives elèctriques es cancel·len amb les atractives que hi ha en la força nuclear forta, que manté tots els protons units en el nucli. Hi ha casos en els quals, la força elèctrica repulsiva k hi ha al nucli es comença a notar, ja que en àtoms molt pesats, els protons mes externes estan bastant lluny del nucli, i la força nuclear forta comença a debilitar-se. En el cas extrem, un àtom pot decaure emetent partícules alfa o produint una fissió nuclear.

Perquè es produeixi una desintegració alfa o qualsevol altre, l'estat final del sistema ha de tenir una massa menor que la inicial. Aquesta massa que desapareix es converteix en energia, amb la qual es pot donar energia cinètica suficient a les partícules de l'àtom perquè aquest les dispari.

Un exemple de emissió de energia alfa es el del desintegració de l'urani 238 per formar Tori 234 i Heli 4.



β) Emissió de partícules beta

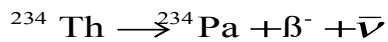
Les partícules beta emeses poden tenir una energia entre zero i la diferència de massa de l'àtom pare i l'àtom residual. Però en la realitat, la energia que emet no arriba ni a la meitat de aquesta energia màxima. Això va fer que quan es va descobrir, podria haver un conflicte amb la llei de conservació de l'energia.

Però pels anys '30 es va descobrir que l'energia que faltava la compartien l'electró i un antineutrí (ν) (partícula sense càrrega elèctrica ni massa). Encara que aquesta aparent massa zero que té l'antineutrí es aparent, ja que es creu que sí té massa, però molt petita. L'absència de càrrega que té l'antineutrí fa que un flux d'antineutrins pugui travessar la terra sense variar la seva trajectòria.

La desintegració beta es dona quan hi ha un excés de neutrons. Un neutró lliure es inestable per si sol, emetent partícules beta.

El que succeeix és que transforma un neutró en un protó emetent una partícula β^- i una $\bar{\nu}$

Un exemple d'aquest cas seria:



En aquests casos el nombre massic no queda alterat, pero en canvi, apareix un protó mes que passa de tenir 90 el torí a tenir-ne 91 del protactini. A més s'emet una partícula beta negativa es a dir, un electró, i també apareix un antineutrí.

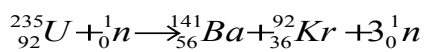
γ) Emisió de partícules gamma

L'emissió de raigs gamma no és un procés primari de desintegració radioactiva. Aquesta emissió es dona quan després d'un procés de desintegració alfa o beta, la transició es produeix cap a un estat excitat del nucli resultant. Per arribar a tenir el nivell normal d'energia i així desexcitar-se emet partícules gamma fins que arribi al nivell desitjat.

b) **Fissió nuclear**

Aquesta consisteix en bombardejar un àtom pesant fent que el nucli es divideixi en dos àtoms més lleugers (fig 9). Aquest procés allibera més neutrons (1_0n) i una gran quantitat d'energia.

Un exemple d'aquest procés és el que un físic alemany Hahn i Strassmann va aconseguir en 1938:



La diferencia de massa que hi ha d'un procés a l'altre és energia alliberada, en aquest cas de 200 MeV per nucli d'urani 235.

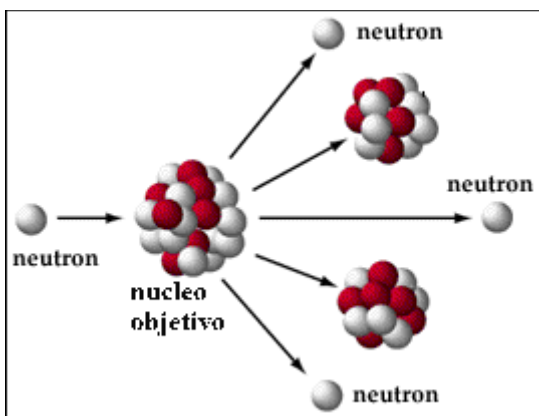


Fig 9

El neutró col·lionarà contra l'objectiu, fent que el nucli es divideixi en dos i alliberant més neutrons que col·lionaran contra altres nuclis ...

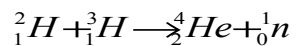
Aquesta reacció en cadena que s'origina pot ser controlada, introduint un material que absorbeixi neutrons quan la reacció es descontrola.

Un cas de reacció en cadena no controlada és el de les bombes atòmiques, en la qual no hi ha materials que la aturin.

c) fusió nuclear

Hi ha àtoms que poden alliberar grans energies al unir-se per formar altres àtoms de major massa (fig 10).

Un exemple de reacció de fusió del deuteri i el triti, isòtops de l'hidrogen, per formar Heli 4:



En aquesta reacció la massa final i la massa inicial no coincideixen, aquesta massa ausent passa a ser energia. En aquest cas s'allibera una energia de 17,6 MeV per àtom d'heli 4.

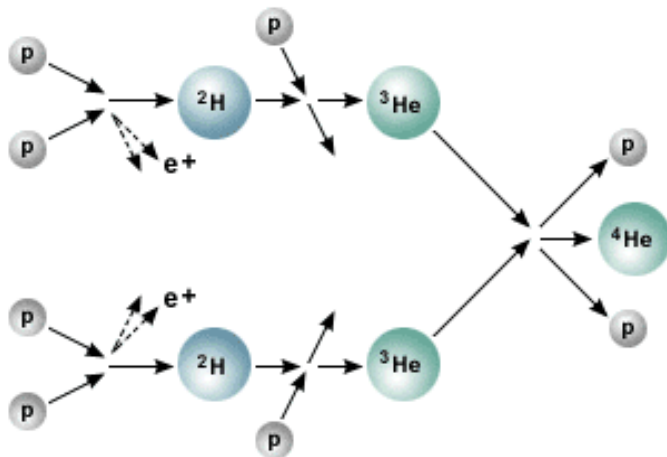


Fig 10

Aquest esquema no és el mencionat, sinó una variant en la qual intervenen altres àtoms. Al final del procés sobren protons que faran reaccionar altres hidrògens.

Igual que passa amb les reaccions nuclears de fissió, en les de fusió també queden alliberats protons, els quals originen una reacció en cadena. Però actualment encara no s'ha investigat prou una forma rendible d'aturar la reacció.

4. La relativitat

4.1. L'alliberament de grans energies

Segons el postulat de Einstein, la velocitat de la llum hauria de ser la mateixa per a qualsevol observador. Aquest fet implicaria que res es pot moure a mes de la velocitat de la llum. I quan utilitzem energia per accelerar un cos, l'increment de massa que sofreix aquest cos fa que, al arribar a un punt de massa molt gran sigui impossible de accelerar mes. Per accelerar una partícula a la velocitat de la llum, caldria una quantitat d'energia infinita.

El gran descobriment d'Einstein sobre la relació de massa i energia va fer que poc abans de la II Guerra Mundial, Einstein escrigués una carta al president dels Estats Units Rooevelt (1939).

Una part de la carta adreçada a Rooevelt deia així:

<<En els darrers quatre mesos s'ha fet més que probable -amb els treballs de Joliot a França i els de Fermi i Szilard a Amèrica- la possibilitat d'aconseguir una reacció nuclear en cadena en una gran massa d'urani, en la qual es generaria una immensa energia i enormes quantitats de nous elements semblants al radi. Actualment, sembla que això es pugui aconseguir en un futur immediat.

Aquest nou fenomen també podria dur a la construcció de bombes, i és concebible -encara que molt menys segur- que es pugui construir un nou tipus de bombes extremadament poderoses>>

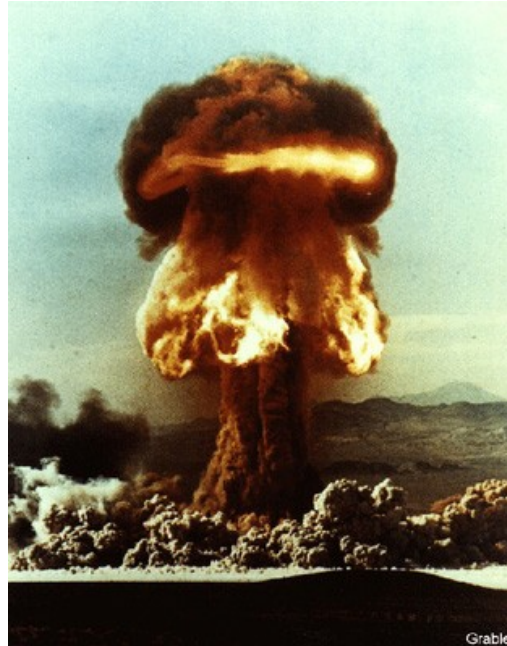
(es pot veure la carta completa en la pagina **52** de l'Annex)

Cinc anys mes tard de haver escrit la carta, a Hiroshima i Nagasaki explotaren les bombes nuclears (fig 11) dut a terme pel projecte Manhattan. Aquestes van arribar a matar a mes

de 100.000 persones. Actualment s'han arribat a fer i provar bombes de 500 kt (1 kilotó equival a mil tones de TNT, i un megató, a mil kilotons). Una bomba de 20 megatons explota a 17.500 peus d'altura, i acaba amb tot ésser viu en el radi de 14 km.

Fig 11

La bomba nuclear que es va tirar a Hiroshima i Nagasaki va matar a més de 100.000 persones. La bomba nuclear pot arribar a 500 kt



4.2. La gravetat

Les lleis de la relativitat que Einstein va trobar encaixaven amb les de l'electricitat i les del magnetisme, però no eren compatibles amb les de gravitació de Newton. Segons la llei de gravitació, si hi ha un canvi en la distribució de la matèria en una regió de l'espai, el canvi del camp gravitatori es veuria percebut instantàniament arreu de l'univers. Aquest fet es impossible segons la teoria de Einstein ja que no es pot enviar senyals més ràpides que la llum, i llavors no es instantani. I tampoc es podria dir instantani, perquè llavors implicaria una mesura del temps perfecte, un temps absolut i universal, i la llei

de la relativitat havia destacat que el temps es personal, cada cos material té la seva mesura del temps.

Aquest problema sobre la gravetat el tenia ja a l'any 1907, però no va començar a trobar-hi solució fins el 1911. En aquest any va veure que la acceleració i la gravetat estaven íntimament lligades. Així, va postular que una persona tancada en una caixa tancada, com per exemple l'ascensor, no podrà dir si està en repòs, però afectat per el camp gravitatori del planeta, o si està essent accelerat en un coet en l'espai lliure.

Tanmateix si la corda de l'ascensor es trenca o si el coet deixa de accelerar-se, la sensació de la persona es la mateixa.

Amb aquesta teoria, tan podria ser que la poma hagués caigut al cap de Newton, com que Newton i la terra fossin accelerats en direccions iguals, i haguessin topat amb la poma. Però per una terra rodona això no podia ser, ja que persones en costats oposats de la terra, haurien de estar essent accelerats cap a direccions distintes, i la distancia entre ells seria cada cop més gran. En canvi en la realitat, la poma es la que cau sobre la terra, estigués en un costat o un altre del planeta.

Sembla ser que Einstein va trobar com a solució que la massa i l'energia deformaven l'espai, i així els objectes intenten moure's en línia recta per l'espai-temps, però en presència d'un camp gravitatori l'espai-temps seria corbat i així les seves trajectòries també. Després de llargs anys d'investigació, arribà a una nova teoria de l'espai-temps, i la va anomenar relativitat general, per diferenciar-la de la teoria de la relativitat original, en la qual no intervenia

la gravitació, i que a partir d'aquell moment va passar a dir-se relativitat especial.

Per tal de no modificar totes les equacions existents de la relativitat en un univers permutable, va afegir-hi a les antigues equacions una nova constant cosmològica. Com en la teoria deia que la matèria corbava l'espai-temps de manera que els cossos s'atrauen, aquesta constant corbava l'espai-temps en el sentit oposat, així, va fer una constant de repulsió, i gràcies a aquesta constant, es cancel·laven les corbes i es podien seguir utilitzant les equacions ja existents.

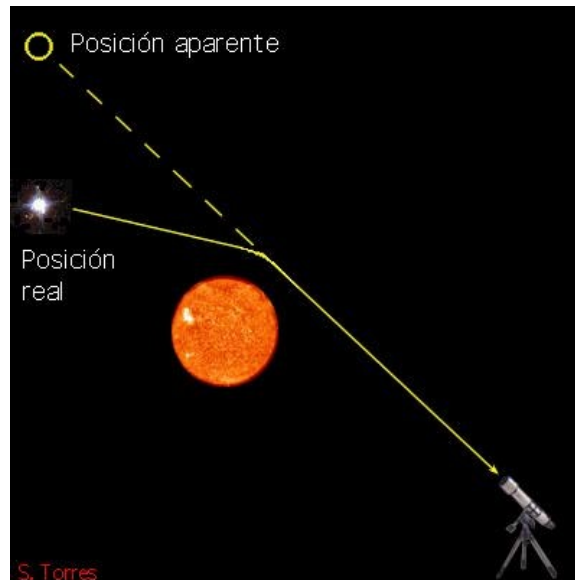
4.3. La llum en un camp gravitatori

Tothom sap que els cossos materials es veuen afectats per els camps gravitatoris que generen altres cossos, i alhora creen un propi camp, així, la matèria crea forces atractives. Però aquest fet no es manifesta només en els cossos materials, sinó que qualsevol tipus de energia crea i es veu afectada per els camps gravitatoris. Aquest fet ha estat comprovat i es veu reflectit en la famosa equació de Einstein $E = mc^2$, en la qual l'energia es directament proporcional a la massa i al quadrat de la velocitat de la llum. Es diu que la línia recta és la trajectòria que fa la llum. Però la llum és energia, i l'energia es veu afectada per la gravetat, així, la llum també es curva amb els camps gravitatoris. Llavors, la línia recta no existeix, sinó que existeix una idea de línia perfecta, i en la realitat, la línia que s'aproxima més a aquesta trajectòria és la que fa la llum. Així, la llum és la línia recta més perfecta, però tot i així és imperfecte. Com es veu al següent esquema (fig 12), si un observador mira a l'espai amb un telescopi, pot arribar a veure una estrella que està situada al darrera

d'un planeta, ja que la llum que emet l'estrella es veu corbada per la massa del planeta, així l'observador creurà estar veien l'estrella en una posició aparent, mentre l'estrella es just d'arrera del planeta.

Fig 12

La llum d'una estrella és desviada en passar prop del sol, degut a que la massa del sol corba l'espai-temps. Això produeix el desplaçament aparent de la estrella.



4.4. La curvatura del temps

Al temps també li succeeix un fet semblant. La velocitat que porta el cos influeix en el seu propi temps. Així, el temps es corba segons la velocitat que porta el cos, i hi ha un temps relatiu per a cada cos. Un exemple d'aquest fet és "La paradoxa dels bessons" que és la següent:

"La paradoxa dels bessons"

Aquesta paradoxa ens explica la relació que hi ha entre el temps i la velocitat. Prenent un gràfic espai-temps (fig 13) amb el temps en l'eix de les Y i l'espai a l'eix de la X, i cada punt com un any. Dos bessons estan inicialment en el punt O. Un dels germans (verd) d'una parella de bessons parteix en un viatge espacial a una velocitat propera a la

de la llum (a $0,8c$) fins al punt Q situat a quatre anys llum de la terra, mentre l'altre bessó (rossa) es queda en la terra. Segons la teoria de la relativitat, per el germà que viatge a una velocitat propera a la de la llum (verd) passaran 3 anys per a arribar a Q, mentre que el bessó de la terra (rossa) passaran 10 anys en total. Aquest fet, comporta que quan el bessó viatger retorni a la terra, el germà de la terra (rossa) haurà envellit 10 anys, mentre que per al viatger (verd), hauran passat 6 anys.

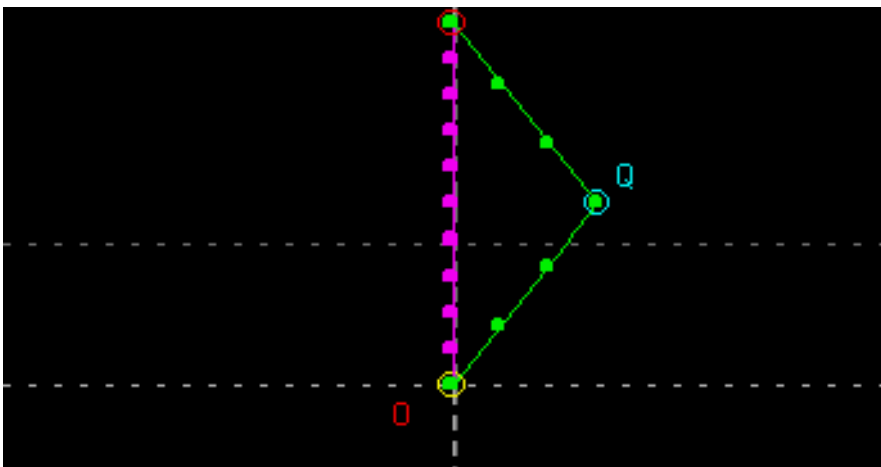


Fig 13

Per al bessó verd hauran passat 10 anys, en canvi per el bessó rosa n'hauran passat 6.

Aquesta paradoxa ha estat comprovada en la terra, en diferents successos:

Amb dos rellotges de alta precisió disposats cada un en un avió (fig 14), un que vola cap a l'est i un que vola cap a l'oest. En trobar-se, el rellotge de l'avió que volava cap a l'est havia passat menys temps que els que volaven cap a l'oest. Aquest fet indica que la velocitat del que volava a favor de la rotació de la terra es veu incrementada per la velocitat de rotació, i el temps passa mes lentament.

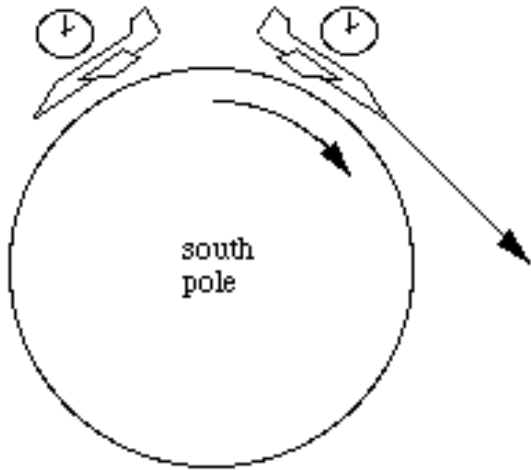


Fig 14

Una versió de la paradoxa dels bessons ha estat provada amb dos rellotges d'alta precisió en avions que volaven en sentits oposats al voltant del món.

Quan es van trobar, el rellotge que havia viatjat cap a l'est indicava un temps lleugerament diferent.

També es veu l'efecte de la velocitat en el temps en els rellotges disposats a diferents altures de la terra. Els rellotges a mes altura sobre el nivell del mar, indiquen un temps mes ràpid, mentre que els que estan mes a prop del nivell del mar són mes lents. Això es degut que la velocitat lineal dels dos rellotges es diferent, encara que la velocitat angular sigui la mateixa. El rellotge mes allunyat del centre de la terra recorre mes espai que l'altre rellotge.

La unificació d'aquestes dues teories, indiquen que l'energia corba l'espai i el temps, i que l'espai i el temps determina amb la seva curvatura el moviment de l'energia.

4.5. L'expansió de l'univers

Després de tot això, la corbatura de l'espai i el temps i l'atracció de la matèria i dels planetes entre si va portar nous conceptes. Està comprovat que com mes lluny estan dos planetes, mes ràpidament s'allunyen entre ells. I les noves observacions indiquen que les galàxies s'estan allunyant de forma exponencial. D'aquesta forma, si les galàxies s'allunyen, en un principi anant cap enrera es lògic que tot

estigues en un mateix lloc, i si la massa atrau a la massa, estaria tota la matèria en un mateix punt conflictiu. Esta calculat que això degué ocórrer fa uns quinze mil milions d'anys, i la densitat d'aquest punt hauria estat enorme (per les observacions de la radiació de fons de microones s'ha arribat a la conclusió de que la densitat fou probablement d'un bilió de bilions de bilions de bilions de bilions de bilions [un 1 seguit de 72 zeros] de tones per centímetre cúbic, i hauria estat a una temperatura d'uns deu mil milions de graus. Aquest principi fou anomenat, per el sacerdot catòlic Georges Lemaitre, "àtom primordial", i actualment es anomenat gran explosió o big bang.

Einstein no va arribar a acceptar aquest començament de l'univers, però tot i així, va haver de pensar en aquesta possibilitat. Igual que amb les estrelles pesades, que van cremant combustible per no veure's atrapades per la seva gravetat, en acabar el seu combustible es veuen atrapades per la seva pròpia massa, i es comencen a comprimir fins a tal punt que esdevenen un forat negre, del qual la llum no pot sortir.

La llei de la relativitat indica que en un forat negre, el temps s'acabaria. Per tan, en el punt inicial del big bang, la massa hauria de estar col·lapsada en un punt sense temps, i mai hauria explotat. Aquesta es una situació que la teoria de la relativitat no aconsegueix explicar.

5. Mecànica quàntica

Des del segle XIX els físics van començar a formular la teoria atòmica de la matèria. Però tot això ens portava a un món diminut, un món de probabilitats i de incertesa. En 1900, Max Planck va descobrir que l'energia no es transmetia de forma continua, sinó que es transmetia en petits paquets d'energia, anomenats quàntums (unitats de radiació). Així, a partir d'aquell moment la matèria i l'energia passaven a ser tots dos discontinus. Per una part la matèria formada per àtoms i altres subpartícules, i per l'altre l'energia transportada per paquets. Més endavant, veient els trets comuns que la matèria i l'energia tenien, es van establir els fonaments matemàtics de l'anomenada mecànica quàntica, en la qual la matèria és ona i partícula alhora.

Les partícules minúscules ja no tenen ven definides la seva posició i la seva velocitat, tot es mou entorn a les probabilitats. Així, en el món quotidià, la probabilitat de que un cos estigui en un lloc es total, i que ho estigui en un altre es nul·la, però en el món microscòpic tot són suposicions. Com diu el principi d'incertesa de Heisenberg. Segons aquest principi, no es pot determinar alhora la velocitat i la posició d'una partícula; si es coneix una, no es pot conèixer l'altre.

Amb aquest principi d'incertesa que estava present en el món subatòmic, Jhon Bell, un estudiant de física, va començar a pensar a partir de quina grandaria es poden utilitzar les lleis de la mecànica quàntica, ¿quants àtoms calia perquè es tingués un sistema prou gran per poder utilitzar les lleis de la física clàssica? En 1935 Schrödinger va formular una paradoxa en la qual, s'hi podia estar involucrat un sistema

tan gran com nosaltres mateixos, o mes ven dit un gat. Ell va formular la hipòtesis següent.

"El gat de Schrödinger"

Imaginem un gat en una caixa opaca tancada (fig 15) (en la pagina 55 de l'anex hi ha un article del país sobre el tema). Dins de la caixa hi ha una ampolla de vidre amb un verí volàtil, i sobre l'ampolla un martell que en el cas que caigui trencarà l'ampolla i el verí matarà al gat. El martell esta connectat a un comptador Geiger que s'activa en contacte amb un electró. Al costat del comptador hi ha un tros d'urani radioactiu, amb la probabilitat d'un 50% d'emetre un electró en una hora. Al tancar tot aquest sistema i esperar una hora, el gat te la probabilitat d'un 50% d'estar viu o un 50% d'estar mort. Si no s'obra la caixa per comprovar-ho, el gat es considera que no està ni viu ni mort.

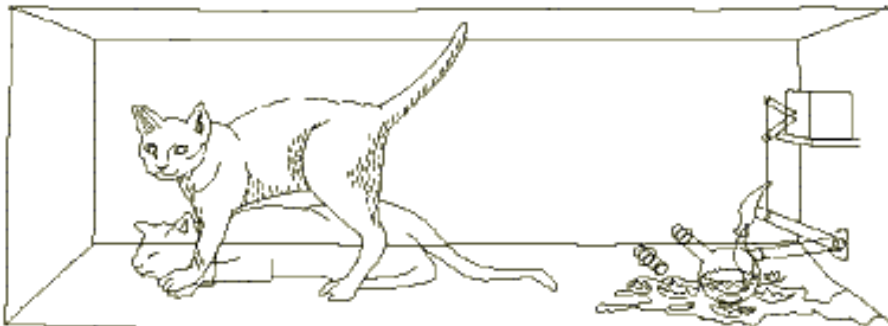


Fig 15

Fins que no s'obri la caixa el gat no es considera ni viu ni mort.

Per resoldre aquesta paradoxa, Hugh Everett proposa la hipòtesis de múltiples universos. Un per a cada possibilitat, en un univers el gat està mort i en l'altre el gat sobreviu.

5.1. La seva magnitud física

Erwin Schrödinger va donar la seva versió sobre la mecànica quàntica en la qual, cada possible estat físic d'un sistema ve expressat per una expressió coneguda com *funció d'ona* del sistema, de manera similar a la descripció de la llum com una ona de camps elèctric i magnètic.

Però tot i això, Schrödinger no sabia encara quin tipus de magnitud física era la que oscil·lava en una ona electrònica. En una ona lluminosa, per exemple, els números donen les intensitats i direccions dels camps elèctrics i magnètics en cada punt de l'espai per el que viatge la llum. Però en principi no es sabia encara quina era la magnitud física de la funció d'ona, només es sabia que venia donada per les equacions de Schrödinger. ¿Llavors que és el que està variant en una ona electrònica?

La resposta va ser donada en l'estudi teòric del comportament dels electrons lliures quan són disparats contra els àtoms. És natural descriure un electró lliure que viatge per l'espai buit com un paquet d'ones. L'equació de Schrödinger indica que quan l'electró xoca contra l'àtom, es trenca; les ones que conté aquest electró són projectades en totes direccions. Això resultava enigmàtic, ja que els electrons que xoquen contra un àtom surten en una direcció o una altre, però no es desfan, segueixen sent electrons. En 1926 Max Born va proposar interpretar aquest comportament peculiar de la funció d'ones en termes de probabilitat. L'electró no es trenca, sinó que hi ha diferents probabilitats de que vagi en una o altre direcció, com mes gran és la probabilitat de que vagi en una direcció, mes grans son els valors numèrics de la funció d'ona. Així, les ones electròniques no son ones de res; el seu significat és

essencialment la probabilitat de que l'electró estigui en un lloc o altre.

5.2. Principi d'incertesa de Heisenberg.

A Schrödinger no li va acabar d'agradar aquesta interpretació, això explicaria perquè no va aportar mes coneixements sobre la mecànica quàntica. Però Heisenberg. L'any següent, va intentar determinar la posició i el moment d'un electró. Però es va trobar amb un problema. Per mesurar la posició de l'electró és necessari utilitzar llum de curta longitud d'ona, ja que la difracció de la llum fa que les imatges de qualsevol cosa mes petita que la longitud d'ona no es vegin nítides. Però la llum de curta longitud d'ona consisteix en fotons amb un alt moment, i si s'utilitzen aquests fotons per observar l'electró, el moment de l'electró retrocedeix a causa de l'impacte. D'aquesta forma, com més precisa és la posició d'un electró, menys precís és el seu moment. A aquest principi se li ha anomenat *principi d'incertesa de Heisenberg*.

5.3. ¿existeix l'univers independentment de nosaltres?

Un dels debats que es tenen en la mecànica quàntica és si existeix l'univers independentment de nosaltres. Sense observadors que mesurin i considerin el que ens envolta. En el món real de la física quàntica, cap fenomen és un fenomen fins que és un fenomen observat. Antigament es creia que l'electró tenia una velocitat i una posició definides. Però fins que l'home no instal·la tota la maquinaria per determinar la velocitat de l'àtom o la seva posició, aquestes no existeixen.

Per això existeix el gran debat sobre si som simples observadors, o participem en la consecució de les coses, i com les veiem.

Un exemple sobre com intervenim en el transcurs dels fenòmens és un petit joc que li van fer a John Archibald Wheeler, i amb el qual es pot explicar aquesta realitat quàntica.

A l'entrar en l'habitació, vaig advertir que tots els meus amics estaven somrient. Sabia que tramaven alguna cosa, però així i tot hi vaig entrar.

-És un animal?

-No.

-Vegetal? -vaig preguntar al següent.

-No.

-Mineral? -vaig preguntar al tercer.

-Sí.

-És de color verd? -vaig preguntar a l'altre.

-No.

-Blanc?

-Sí.

Jo vaig continuar, però em vaig adonar que cada cop els meus amics tardaven més en respondre. Si sabien ja la paraula, no entenia jo que no poguessin dir ràpidament sí o no.

Jo solament tenia vint preguntes, i aviat havia de pensar en alguna paraula. Així que, finalment, vaig preguntar a un d'ells:

-És un núvol?

Es quedà pensant i pensant, i per fi respongué:

-Sí.

Aleshores tots esclataren amb rialles. M'explicaren que en sortir jo de l'habitació no s'havien posat d'acord en

l'elecció de la paraula: havien convingut en no escollir-ne cap. Cada un respondria el que volgués, amb una condició: si jo preguntava a algú i ell no em contestava ell perdia i jo guanyava. Així que fou tan difícil per a ells com per a mi. Aquella paraula no havia existit fins que jo vaig entrar en l'habitació; fou sols degut a la meva elecció de les preguntes com arribà a existir, però no existia únicament per les meves preguntes, sinó també per les seves respostes.

Es pot observar que tan Wheeler com els seus companys modificaven la realitat d'aquella paraula amagada. La paraula no estava escollida, però tot i així, ¿la paraula "núvol" era ja present des de un principi? ¿O foren les eleccions, les que crearen que poc a poc s'arribes a aquesta paraula?

La mecànica quàntica es troba amb el mateix problema. La partícula que es busca, és mesurada per estris humans. Aquests estris són els que ens portaran a una resposta definitiva. ¿Però la partícula està esperant a ser trobada? Els observadors som els que creem la realitat observant-la i posant-li coordenades i noms a les coses.

Einstein era un dels partidaris sobre la independència de nosaltres i l'univers. Nosaltres no influïm en l'existència d'aquest univers. Mentre Bhor era partidari de que mitjançant l'elecció de maquinaria per fer les observacions pertinents, influïm en el que passa.

6. Acceleradors de partícules

6.1. Que son?

Són dispositius utilitzats per accelerar partícules elementals o ions fins a elevades energies, i per tal de descobrir un món més extens en les subpartícules. Estan formats per una font de partícules elementals o ions, un tub amb el buit al seu interior per on han de circular les partícules, i un sistema per augmentar la velocitat de les partícules.

Les partícules amb una carrega, ja sigui positiva o negativa, són accelerades per mitja d'un camp electrostatic. Una de les formes de aconseguir aquest camp es situant al principi i al final del tub al buit els dos pols de un gran elèctrode, amb una gran diferència de potencial. Un dels acceleradors electrostatics més conegut es l'accelerador de Van der Graaff, fou construït a finals de la dècada de 1930 per el físic nord-americà Robert Jemison Van der Graaff. Aquest accelerador utilitza el mètode del generador de Van der Graaff, i estableix un potencial entre dos electrodes transportant carregues mitjançant una cinta mobil. Els acceleradors de Van der Graaff moderns acceleren partícules fins a energies de 15 MeV. Un electronvolt (eV) és la energia que adquireix un electró al ser accelerat amb una diferència de potencial de 1 volt, i equival a $1,6 \times 10^{-19}$ J. Actualment, els acceleradors arriben a energies de milions d'eV (megaelectronvolts, o MeV), milers de milions d'eV (gigaelectronvolts, o GeV) e inclòs bilions d'eV (teraelectronvolts, o TeV). Les altes energies van aparèixer en 1931, de la ma de Robert J. Van der Graaff amb el seu generador.

Però ell no va ser el pioner de l'acceleració de partícules. En 1932, el físic britànic John Cockcroft i el seu company irlandès Ernest Walton van van accelerar electrons a una energia de 700.000 eV, per mitjà de generadors de alta tensió. Van utilitzar aquests elements per bombardejar nuclis de liti, que es convertien en heli. Mes tard però al mateix 1932 Robert J. Van der Graaff va inventar el seu generador. Poc després de la creació d'aquest generador, els físics nord-americans Ernest Orlando Lawrence i Milton Stanley Livingston van inventar el ciclotró. Aquest Accelerador utilitza un camp magnètic per mantenir les partícules carregades en moviment circular, i en cada mitja volta les partícules són impulsades elèctricament fins arribar a la energia desitjada. El ciclotró assolía altes energies de uns 10 MeV, però el següent pas no es va donar fins passada la segona guerra mundial, quan el físic nord-americà Edwin Mattison McMillan i el físic soviètic Vladimir I. Veksler inventaren el sincrotró.

6.2. Per a que serveixen?

Els acceleradors de partícules poden assolir altes energies, però els de menor energia tenen diferents aplicacions industrials i en laboratoris. Els grans acceleradors de partícules són essencialment per l'àmbit de la investigació del món més petit dels àtoms, estudien l'estructura de les partícules elementals, els components més bàsics de la naturalesa. El mètode empleat per estudiar la estructura més elemental de les partícules és el de accelerar una partícula (el més usual és accelerar un

electró, o un protó), i fer-la col·lisionar contra una altra partícula, fent que aquestes partícules es desintegrin. Després s'estudia la distribució dels fragments, i gràcies a aquestes proves s'aconsegueix informació sobre l'estructura de les partícules elementals.

Com més alta sigui la energia que porta el projectil, més detallada es la informació que s'aconsegueix. Per aquest motiu, els acceleradors són cada cop més potents. A finals de la II Guerra Mundial la major energia que s'havia assolit en aquest àmbit era aproximadament els 100 MeV. Però en 1952 es produí un gran avenç en el disseny dels acceleradors quan els físics nord-americans Livingston, Ernest D. Courant i Hartland S. Snyder introduïren el principi d'enfoc intens. En l'actualitat, els majors acceleradors del món, assoleixen energies superiors a 1 TeV o 1 bilió de eV. Per accelerar les partícules, també és necessari tenir un major espai, això fa que els acceleradors també augmentin de grandària, fins a tal punt que per assolir la recerca de partícules a un nivell de la longitud de Planck, la longitud més petita de la física, de l'ordre de un mil·límetre dividit per cent milions de bilions de bilions, caldria un accelerador de partícules més gran que el nostre sistema solar. I la creació d'un accelerador de tal grandària seria físicament impossible, ja sigui per la gran quantitat de primeres matèries que caldrien, i per els diners que es necessitarien.

6.3. Tipus d'acceleradors

- Electrostatics

- a) Generador de Van der Graaff

El mètode que utilitza aquest accelerador (fig 16) consisteix en un terminal de alta tensió format per una esfera metàl·lica buida, muntada en la part superior de una columna aïllant. Una corretja continua de material dielèctric, com cotó impregnat de cautxú, es mou des de una politja situada en la base de la columna fins l'altre situada en l'interior d'aquesta. Mitjançant una tensió d'uns 50.000 volts s'emeten electrons des de una pinta metàl·lica de pues afilades, paral·lel a la corretja mòbil. La corretja transporta les carregues fins l'interior d'aquesta, on son retirades per altres pintes i portades a la superfície de l'esfera. A mesura que la corretja va recollint carregues i les transporta fins l'esfera, es crea una diferencia de potencial de fins a 5 milions de volts.

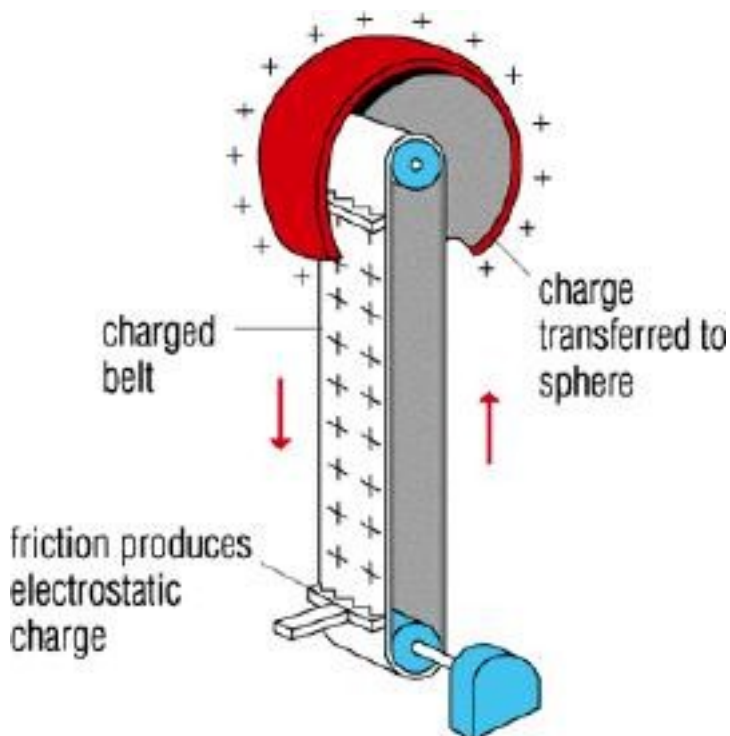


Fig 16

Les pintes de la part inferior del generador dipositen els electrons a la cinta, aquesta transporta els electrons fins la pinta de dalt i són acumulats a l'esfera.

• De camp magnètic i elèctric variables

a) El betatró

El betatró és un dels acceleradors de partícules existents en l'actualitat. El betatró va ser inventat en 1941 per Donald W. Kerst. El betatró construït en 1945 accelerava electrons a una energia de 10^8 eV. En accelerar electrons, les seves masses augmenten considerablement, així, un electró amb una energia de 1 MeV té una massa tres cops més gran que un electró en repòs. Per accelerar aquest electrons, es fan servir els betatrons. El betatró consisteix bàsicament en una càmera toroidal en la que s'ha fet el buit. Aquesta càmera està situada entre els dos pols de un gran electroïman, que funciona amb corrent alterna. Mentre l'electró va donant voltes, s'ha d'anar variant el flux magnètic i el camp guia, ja que sinó, el radi que forma la circumferència es va fent cada cop més gran, i no hi cabria en el betatró.

Els betatrons són utilitzats actualment per estudiar certes reaccions nuclears, i com a fonts de radiació en tractaments contra el càncer.

b) El ciclotró

El ciclotró és el primer accelerador de partícules amb forma circular. Ernest O. Lawrence, un físic nord-americà obtingué el Premi Nobel de Física en 1939, aquest físic va ser el inventor d'aquest accelerador de partícules. El ciclotró es com un accelerador lineal, però amb forma circular. La forma d'aquest accelerador de partícules es divideix en dos enormes D's (fig 17) amb el buit al seu interior i formant un cercle entre les dos. Entre una D i l'altre s'hi fa una diferencia de potencial per tal que quan la partícula amb una carrega elèctrica passi d'una D a l'altre s'acceleri.

Gràcies al camp magnètic uniforme perpendicular a la trajectòria de les partícules en el que estan situades, les partícules comencen a girar, però a mesura que la seva velocitat i la seva massa augmenten, el radi que forma la circumferència es va fent mes gran, apropant-se a les parets interiors de les des. Com es pot veure en la formula del radi de la circumferència, la massa (m) i la velocitat (v) són directament proporcionals al radi de la circumferència.

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Per evitar aquest problema, el camp magnètic es pot anar fent mes gran. Al arribar a una velocitat pròxima a la de la llum, la partícula sofreix un augment considerable de la seva massa, i es molt difícil retenir la partícula en la circumferència. En aquest moment es en el que es procedeix a deixar-la sortir i xocar contra l'objectiu.

En 1945, el físic soviètic Vladímir Y. Veksler y el físic nord-americà Edwin M. McMillan van trobar una solució al problema que presentava el gran augment de la massa i del

perímetre que la partícula creava, que era massa gran per retenir la partícula. Van proposar el sincrociclotró, o ciclotró de freqüència modulada. El que aquest accelerador aconseguia era anar disminuint la acceleració de la partícula a mesura que la seva massa era més gran gràcies al oscil·lador (l'encarregat de donar la acceleració a la partícula). Actualment, el sincrociclotró més gran que existeix és el fasotró, de 6 metres del Institut Conjunt d'Investigació Nuclear de Dubna (Rússia). Aquest accelerador, fa augmentar la energia dels protons a més de 700 MeV, i conté imants que pesen unes 7.000 tonelades.

El ciclotró més potent del món és el K 1200, va començar a funcionar en 1988 en el National Superconducting Cyclotron Laboratory, de la Universitat Estatal de Michigan (EEUU). Aquest accelerador pot arribar a accelerar partícules a una energia pròxima als 8 GeV.

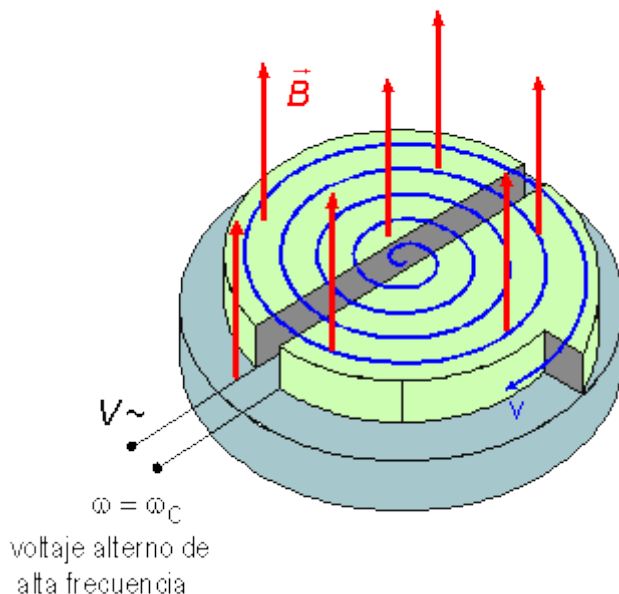


Fig 17

L'esquema d'un ciclotró. Es poden veure els dos D's i el recorregut que fa la partícula. Després de sortir del centre fent un moviment circular, surt disparada cap a l'objectiu.

7. l'espectròmetre de masses

L'espectròmetre de masses (fig 18) es una maquina capaç de diferenciar tipus d'elements de la taula periòdica per mitjà de la seva massa molecular, i del xoc contra una placa fotogràfica. Fou inventada en 1919 per el físic i químic britanic F. W. Aston. Els espectròmetres de masses estan formats essencialment per sis cambres o parts, la cambra on s'introdueix la mostra, un ionitzador, un accelerador, un deflector, un detector, i un registrador.

El mètode que utilitza l'espectròmetre de masses es el següent:

S'introdueix l'element que es vol enregistrar, en la cambra de ionització s'ionitzen diferents isòtops d'un mateix element químic. Els ions que s'obtenen tenen la mateixa carrega, però diferents masses. Més tard, aquest ions inicialment en repòs, són accelerats en l'accelerador per mitjà d'una diferencia de potencial ΔV . L'increment de la seva energia cinètica es igual a la pèrdua d'energia potencial elèctrica:

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

Així, el ió agafa una velocitat:

$$v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}$$

Els ions en penetrar en el deflector, amb un camp magnètic uniforme \vec{B} perpendicular a la trajectòria d'aquest, descriu una òrbita circular de radi:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Finalment la partícula xoca contra un detector connectat a un enregistrator que dona la informació necessària per diferenciar una partícula d'una altre.

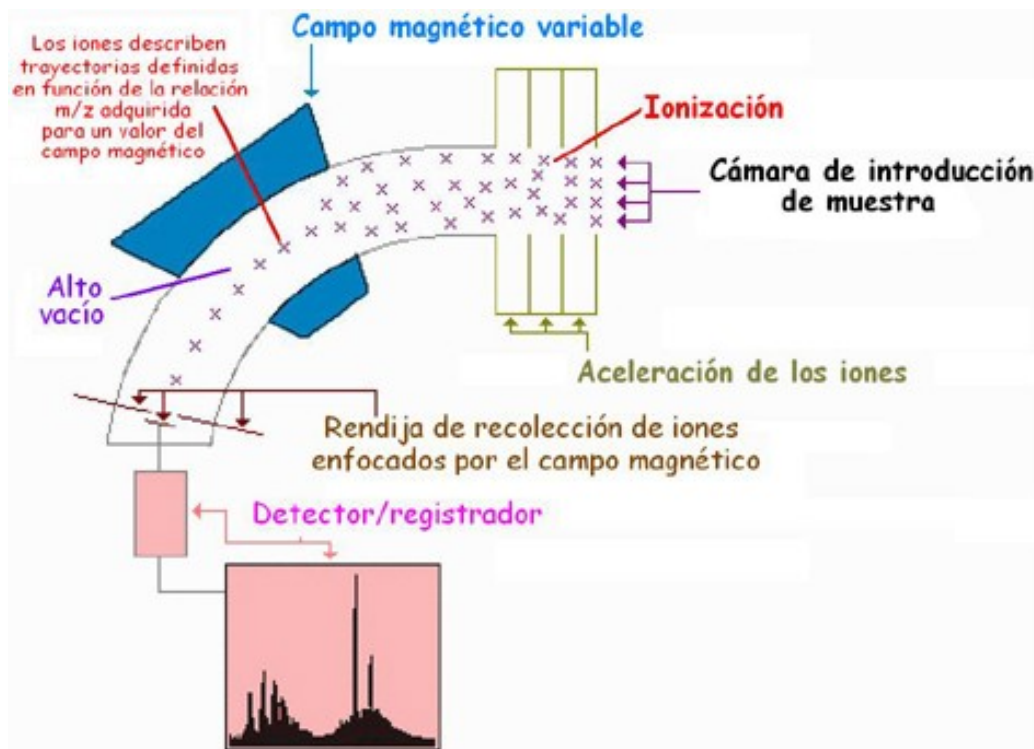


Fig 18

Esquema del recorregut que fa la partícula a registrar. La mostra s'introdueix per la dreta de l'esquema, després de ionitzar-se quedant-se les partícules carregades amb una carrega surten disparades. El moviment rectilini que hauria de fer la partícula es veu modificat per una acceleració que apareix cap a un centre imaginari. Finalment arriba al detector que enregistra la senyal.

8. Conclusió

Les expectatives que tenia han anat variant duran el transcurs de l'any, però finalment he arribat a escriure i llegir el que realment m'agradava. Un tema que m'agrada, però suposo que difícil pel meu nivell. Cal dir que en un principi pensava que no seria capaç de redactar tantes pàgines d'un mateix tema, però el que passava era que la elecció del tema tal com jo el tenia enfocat tenia poca informació.

Finalment he agafat la inèrcia del treball, però no l'he pogut allargar lo que voldria per manca de temps, i per la mala organització d'aquest. És una experiència que calia experimentar, i que et fa canviar la manera de organitzar-te el temps. T'obre els ulls, i et mostra que la feina d'un any resumida en uns dies es impossible de fer, sort que aquesta observació la vaig copsar a temps.

Definitivament no esperava que el treball acabes enfocat cap a un àmbit més general que amb el que era de propòsit inicial. Però gràcies a això he adquirit més coneixements dels que hauria aconseguit en un principi. Aquest canvi de tema m'ha obert el treball cap a moltes altres portes i altres temes relacionats. Però no és podia posar tot, i la manca d'estudis superiors no hem permetien arribar a entendre alguns conceptes molt llunyans per mi, encara.

Espero arribar a comprendre algun dia molts dels conceptes que se m'han quedat lluny, i que pretenc assolir en un futur. Així, aquest treball m'ha introduït en un món, en un tema difícil però que pretenc atrapar.

9. Bibliografia

GASCON, Jaume [et al.]. *Max planck El coneixement del món físic*. Barcelona: Edicions 62, novembre de 1984.

JIMÉNEZ, Alberto. *Einstein Guía para jóvenes*. España: Lóguez, 2001.

BERNSTEIN, Jeremy. *Perfiles cuanticos*. Madrid: McGraw-Hill, 1991.

WEINBERG, Steven. *El sueño de una teoría final*. España: Drakontos, 1994.

FUSTERO, Xavier [et al.]. *La relativitat*. Barcelona: Fundació la caixa de pensions, 1985.

BERNABÉU Josep [et al.]. *La revolució quàntica*. Barcelona: Fundació la caixa de pensions, 1987.

DIAS, Jorge [et al.]. *Introdució a la física*. España: McGraw-Hill, 2001.

HAWKING, Stephen. *L'univers en una closca de nou*. Barcelona: Columna Crítica, 2002.

MONSÓ, Ferran; SUÁREZ, Mario. *Física I*. España: edebé, 2002.

BAIG, Antoni [et al.]. *Filosofia 1*. Ripollet: teide, 2002.

Diccionari de la llengua catalana. 1^a ed. Barcelona:
Enciclopèdia catalana i edicions 62, 1995

Anonim. "Quo". *Que este año no sea la bomba* [Madrid], núm.
99(diciembre 2003), p. 16.

KANE, Gordon. "investigación y ciencia". *Más allá del modelo
stándar de la física* [Madrid], núm.(agosto 2003), p. 48.

JOLIE, Jan. "investigación y ciencia". *Descubrir la
supersimetría* [Madrid], núm.(septiembre 2002), p. 58.

MAUROU, Gérard; UMSTADTER, Donald. "investigación y
ciencia". *Luz extrema* [Madrid], núm.(julio 2002), p. 69.

<http://www.cica.es/aliens/dfamnus/famn/links.htm>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccion/betatron/betatron.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

<http://webs.demasiado.com/Barbosa/particulas.html>

<http://www.upsam.com/Servicios/relinter/cern.htm>

<http://pdg.ge.infn.it/particleadventure/spanish/index.html>

<http://microcosm.web.cern.ch/Microcosm/esp/captesp.html>

<http://www.lafacu.com/apuntes/fisica/atomo/default.htm>

<http://www.fnal.gov/>

<http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/22/htm/lagran2.htm>

<http://enciclopedia.us.es>

http://www.iaa.es/art_ideal/garay.html

<http://feinstein.com.ar/DespuesdelBigBang.html>

<http://fis.cie.uma.es/docencia/2002-03/A109/tema5/tema5intro.html>

10. Annex

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

Vandellòs empata con Francia en la pugna por el reactor de fusión

• Los expertos de la UE destacan que la opción catalana sería más económica

FERRAN

GERHARD

TARRAGONA

El informe elaborado por un grupo de expertos sobre la idoneidad de los municipios de Vandellòs (Baix Camp) y Cadarache (Francia) para albergar el futuro reactor experimental de fusión nuclear (ITER) no se decanta por ninguna de las dos opciones. El dictamen estima que ambas zonas "son inusualmente atractivas" para recibir esta compleja instalación, aunque destaca el menor coste de la opción catalana.

El estudio, redactado por siete expertos encabezados por el científico británico David King, fue entregado el miércoles a la Comisión Europea y destaca que ubicar el ITER en Vandellòs sería más económico, aunque subraya la mejor valoración técnica de Cadarache. El ahorro en la fase de construcción si se elige Vandellòs oscilaría entre los 34 y los 274 millones de euros (5.657 y 45.590 de pesetas) y supondría reducir el coste total del proyecto, cuantificado en 4.570 millones de euros (760.384 millones de pesetas), en un 11%.



Edificio del reactor de la nuclear Vandellòs 1, el pasado junio. Foto: ARCHIVO / JOAN PUIG

UNA

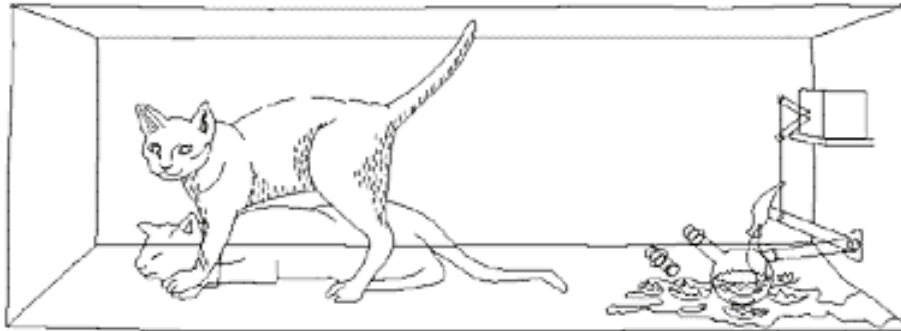
DECISIÓN

POLÍTICA

Los redactores del informe coinciden en que las dos ubicaciones tienen ventajas y que son "fuertes contendientes" a las sedes que proponen Canadá y Japón. Fuentes comunitarias han explicado

que la decisión sobre la candidatura europea, que se tomará en la reunión del Consejo de Ministros de Competencia de la UE los próximos días 22 y 23, dependerá de criterios políticos y de la estrategia de alianza de los países. En un principio había reticencias a otorgar a Francia el ITER, porque este país ya concentra la investigación nuclear en fisión. Pero el distanciamiento del Gobierno español en sus relaciones con otros países europeos tras la postura del Ejecutivo de José María Aznar sobre la guerra de Irak podría beneficiar a Cadarache. Por esta razón, España pretende que las dos candidaturas europeas opten a la selección internacional. Esta alternativa es desaprobada por otros países de la UE, por lo que todo apunta a que sólo una de las dos competirá con Canadá y Japón. En el proyecto participan como socios la UE, Estados Unidos, Canadá, Japón, Rusia y Corea del Sur. El Ayuntamiento de Vandellòs considera que la elección de la población solucionaría su futuro económico y llenaría el vacío que provoca el cierre y desmantelamiento de la central nuclear Vandellòs 1, tras el incendio que sufrió en octubre de 1989. El alcalde, Josep Castellnou, manifestó ayer su esperanza de que la localidad sea elegida: "Cumplimos --dijo-- las principales condiciones exigidas". Los ecologistas ya se han pronunciado en contra de este equipamiento.

El gato de Schrödinger, ni vivo ni muerto



El experimento parte de un elemento radiactivo en el que un átomo tiene un 50% de probabilidades de emitir una partícula para transformarse en un átomo diferente en un tiempo dado. En una caja cerrada se mete a un gato y una ampolla de veneno. Si se produce la desintegración radiactiva del átomo, un detector activa un martillo que rompe la ampolla de veneno y el gato muere. En el mundo cotidiano hay un 50% de probabilidades de que el gato esté vivo y las mismas de que esté muerto, y sin abrir la caja es imposible saberlo.

EL PAÍS