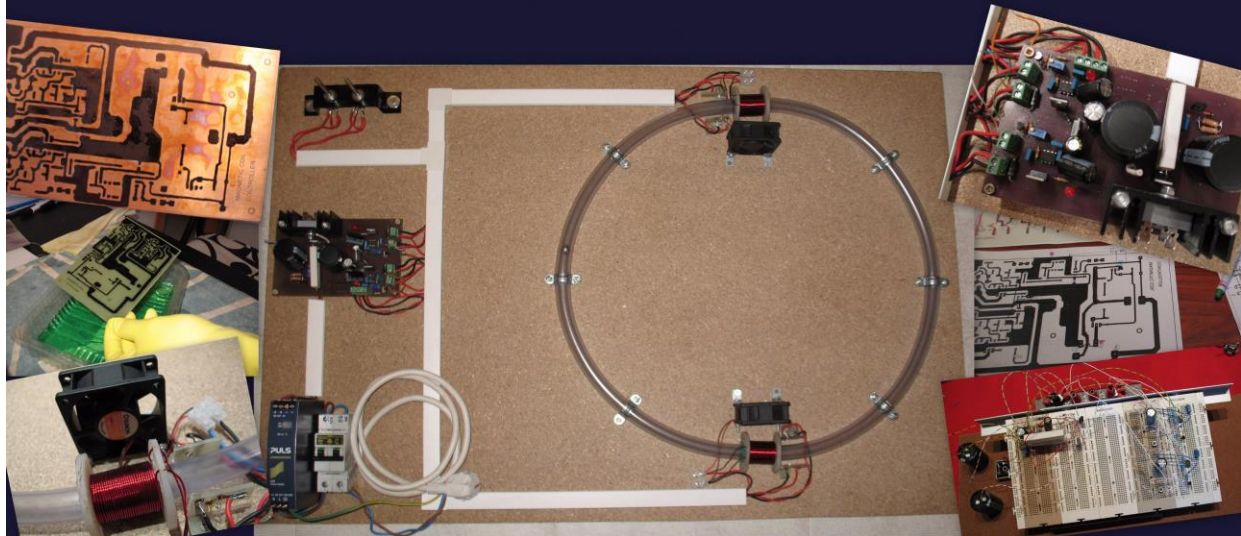


ACCELERANT LES CLAVS DE L'UNIVERS



ADRIÁN COPETUDO

2n Batx. B

16/1/15

INS PERE RIBOT

ESTUDI DEL MODEL ESTÀNDARD

I

DELS ACCELERADORS DE PARTÍCULES

EN BUSCA DE LA TEORIA FINAL

ADRIÁN COPETUDO ESPINOSA

2n BATX. B

16/1/2015

INS PERE RIBOT

TUTORA: PAZ GONZÁLEZ

"Science is not perfect, It's often misused. It's only a tool, but it's the best tool we have: self-correcting, ever changing, applicable to everything. With this tool, we vanquish the impossible."

Carl Sagan (Cosmos)

La ciència no és perfecte, amb freqüència s'utilitza malament. No és més que una eina, però és la millor eina que tenim: s'autocorretgeix, sempre evoluciona i s'aplica a tot. Amb aquesta eina conquerim l'impossible.

AGRAÏMENTS

Aquest treball no hauria estat possible sense l'ajuda del meu pare, per totes les tardes que hem passat durant aquests 6 mesos intentant entendre els esquemes, muntant la maqueta i fent desenes de proves. També vull agrair-li a la meva tutora del treball, Paz González, per confiar en mi, no ficar-me pegues per fer un treball pràctic que cap de nosaltres entenia ben bé i per tots els consells que m'ha donat, així com a Montse Prats, per haver llegit aquest treball i per totes les recomanacions donades i a Rosanna Fernández, la meva ex professora de tecnologia, per ajudar-me incondicionalment i posar-me en contacte amb altra gent, com en Jordi Regalés, un enginyer tècnic electrònic que em va donar un cop de mà amb el circuit electrònic, encara que no ens coneguéssim de res.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 HIPÒTESI	1
1.2 OBJECTIUS.....	1
1.3 METODOLOGIA.....	2
1.4 ABSTRACT	2
2. MATÈRIA, ENERGIA I ANTIMATÈRIA	3
3. EL MODEL ESTANDARD	6
3.1 FERMIONS.....	6
3.1.1 QUARKS.....	7
3.1.2 LEPTONS.....	8
3.2 BOSONS	9
3.3 BOSÓ DE HIGGS	11
4. ACCELERADORS DE PARTÍCULES	14
4.1 QUÉ SÓN?	14
4.2 TIPUS D'ACCELERADORS.....	14
4.2.1 LINEALS	14
4.2.2 CIRCULARS	16
4.2.3 CICLOTRÓ	17
4.2.4 SINCROTRÓ	19
4.3 CENTRES MÉS IMPORTANTS.....	20
4.4 DETECTORS	21
4.5 ACCIDENTS.....	23
4.5.1 SINCROTRÓ U-70.....	23
4.5.2 HOSPITAL CLÍNIC SARAGOSSA	23
4.5.3 LHC.....	24
5. CERN	25
5.1 HISTÒRIA.....	25

5.2	ACCELERADORS DEL CERN.....	30
5.3	EXPERIMENTS I DETECTORS	34
5.3.1	EXPERIMENTS DEL LHC	34
5.3.2	EXPERIMENTS FORA DEL LHC	38
5.4	ENGINYERIA	40
5.4.1	CRIOGENITZACIÓ	40
5.4.2	IMANTS SUPERCONDUCTORS.....	40
5.4.3	SISTEMA DE BUIT	41
5.4.4	SUPERCONDUCTIVITAT	42
5.4.5	ENERGIA NECESSÀRIA.....	42
5.4.6	CAVITATS DE RADIOFREQUÈNCIA.....	43
5.4.7	REFREDAMENT ESTOCÀSTIC.....	44
5.4.8	COMPUTACIÓ.....	45
6.	MÉS ENLLÀ DEL MODEL ESTÀNDARD.....	46
6.1	INCONVENIENTS DEL MODEL ESTÀNDARD	46
6.2	TEORIA DE CORDES.....	46
6.2.1	SUPERSIMETRIA	49
6.2.2	DIMENSIONS EXTRES	51
6.2.3	TEORIA-M.....	52
6.3	ILC	52
7.	PART PRÀCTICA	55
7.1	CIRCUIT IMPRÈS.....	55
7.1.1	OBJECTIUS	55
7.1.2	MATERIAL.....	55
7.1.3	PROCEDIMENTS	55
7.1.4	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	58
7.2	MUNTATGE EXTERN	59
7.2.1	OBJECTIUS	59
7.2.2	MATERIAL.....	59
7.2.3	PROCEDIMENTS	59
7.2.4	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	62
7.3	PROTOBOARD	63
7.3.1	OBJECTIUS	63
7.3.2	MATERIAL.....	63
7.3.3	PROCEDIMENTS	63

7.3.4	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	65
7.4	ALTERNATIVA ELÈCTRICA	65
7.4.1	OBJECTIUS	65
7.4.2	MATERIAL.....	65
7.4.3	PROCEDIMENTS	66
7.4.4	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	67
7.5	RETORN A L'ELECTRÒNICA	67
7.5.1	OBJECTIUS	67
7.5.2	MATERIAL.....	68
7.5.3	PROCEDIMENTS	68
7.5.4	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	68
8.	CONCLUSIONS.....	71
9.	BIBLIOGRAFIA.....	74
10.	ANNEXOS	77
10.1	PLÀNOLS I COMPONENTS.....	77
10.2	PRESSUPOST	83
10.3	GLOSSARI	84

1. INTRODUCCIÓ

He decidit fer el meu Treball de Recerca sobre la física de partícules i els aparells que s'utilitzen per investigar-la, els acceleradors de partícules. He triat aquest tema perquè vull investigar sobre aquestes partícules, que al cap i a la fi són les que formen tot l'Univers i a tots nosaltres, de forma que em sembla un dels temes més importants que existeixen perquè a mesura que s'investiga, es van descobrint nous misteris.

Anteriorment havia decidit fer el meu treball sobre l'energia nuclear i la radioactivitat, ja que en la meua opinió, la primera és l'energia del futur, no necessàriament de fissió, sinó l'energia nuclear de fusió i l'ITER; i la segona, la radioactivitat, que és un dels seus principals inconvenients, sobretot per a la població civil. Vaig abandonar aquesta proposta perquè em semblava massa explotada i tampoc sabia quin treball de camp exclusiu pogués haver fet sobre el tema tractat.

Més endavant em vaig interessar per l'invent del serbi Nikola Tesla, creador del corrent altern: la bobina Tesla, un instrument que permet la transmissió l'electricitat a través de l'aire, sense cables. Aquesta opció la vaig abandonar perquè el treball de camp era massa perillós, ja que aquesta bobina treballa amb voltatges de milers de volts i tampoc tinc els coneixements suficients per realitzar-la correctament.

A causa de tot això, vaig decidir-me fer el meu treball sobre del qual m'agradaria treballar en un futur, la física de partícules, i buscant, vaig trobar un vídeo de com fer un la maqueta d'un accelerador, de forma que això és el que faré.

1.1 HIPÒTESI

“El Model Estàndard no permet explicar tots els fenòmens de l'Univers que sabem que existeixen i és necessària una altra teoria.”

1.2 OBJECTIUS

El meu objectiu és demostrar la meua hipòtesi investigant sobre les partícules que avui dia es coneixen i explicar els diferents tipus de teories existents, que donen resposta als misteris de l'Univers més àmpliament de com ho fa el Model Estàndard.

Un objectiu també és ampliar els meus coneixements sobre aquesta branca de la física, a la que m'agradaria dedicar-me professionalment en un futur; de forma que tinc pensat fer la carrera de Física l'any que ve.

Finalment, un altre objectiu és veure les aplicacions pràctiques i treballar amb nous conceptes de física pel meu compte, per exemple sobre l'electromagnetisme, que aprendré durant el curs.

1.3 METODOLOGIA

Començaré el meu Treball de Recerca explicant la situació de l'Univers actual, la matèria i l'energia i parlaré sobre la teoria del Model Estàndard, en què es classifiquen les principals partícules que coneixem avui dia.

El cos del treball es centrarà en l'estudi dels acceleradors, que classificaré segons de quin tipus siguin i quina sigui la seva funció. També exposaré els fonaments físics que permeten el seu funcionament i em centraré sobretot en el **CERN**, explicant les seves parts i els experiments que allà es realitzen.

També explicaré, segons el que ens permeten conèixer les partícules actuals, quins tipus d'estructura de l'Univers podria ser real i parlaré sobre les principals qüestions sense resposta que encara es donen al nostre univers i que s'estan investigant actualment.

Finalment, detallaré com he realitzat la part pràctica d'aquest treball que consisteix en una maqueta d'un accelerador de partícules circular, utilitzant electroimants per accelerar una bola metàl·lica, que simula els grans acceleradors d'**hadrons**.

1.4 ABSTRACT

I have decided to do my Research Project about Particle Physics, and the devices used to investigate it, the particle accelerators.

I will start my research explaining the situation of the current Universe and the Standard Model of Particle Physics. Next, I will investigate about the particle accelerators, its types and detectors, and I will focus on CERN studying its parts and engineering. Finally, I will expose other alternative theories about the Universe's behaviour. As practical work I will make a circular particle accelerator model, which simulates the Large Hadron Collider, using electromagnets to accelerate a metal ball.

My main objective is to prove my hypothesis: *The Standard Model can't explain all of the Universe phenomena and it is necessary another theory*. I also want to expand my knowledge about this branch of Physics, which I would like to dedicate in the future, and finally, see practical applications and work about new physics concepts, like electromagnetism, on my own.

2. MATÈRIA, ENERGIA I ANTIMATÈRIA

Primer de tot començarem parlant sobre el que és la matèria i l'energia, ja que és tot el que forma el nostre univers.

La definició de matèria és tot allò que té massa i ocupa un lloc a l'espai. Això significa que és quantitzable, ja que la massa es pot mesurar en quilograms (kg) i el seu pes en Newtons (N) sempre que aquesta massa estigui lligada a un camp gravitatori. A més, aquest lloc que ocupa a l'espai es pot definir com el volum, que es mesura en metres cúbics (m³).

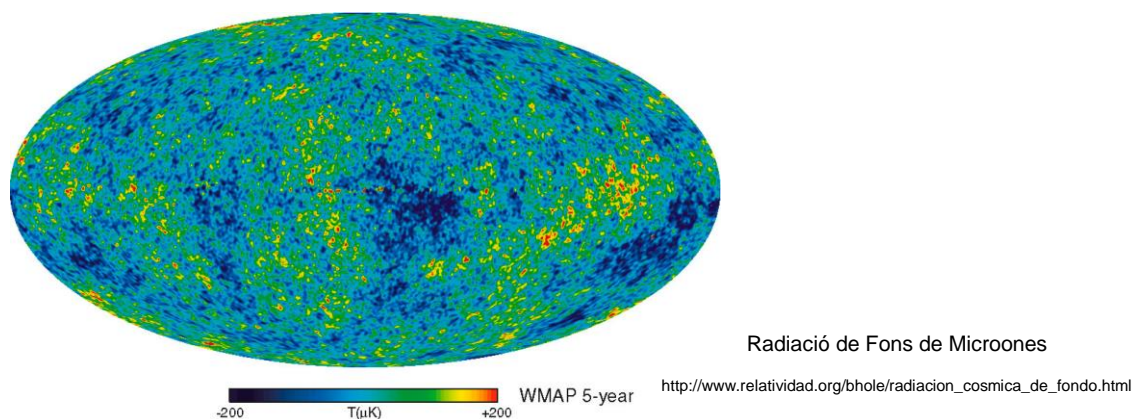
Tota la matèria està formada per àtoms i aquests, per partícules subatòmiques més petites, però d'això parlarem al següent apartat.

El segon component de l'Univers és l'energia, que en el camp de la física es defineix com una magnitud abstracta que està lligada a l'estat dinàmic d'un sistema tancat que roman invariable en el temps i, a més, està present en tots els cossos de l'Univers. Està lligada amb el moviment d'aquests cossos i en el Sistema Internacional es mesura en Joules (J).

Tota aquesta matèria es va formar fa uns 14.000 milions d'anys amb l'explosió coneguda com a Big Bang, que d'un punt infinitament petit però amb una massa, energia i densitat infinita va sorgir tot l'Univers que coneixem. La temperatura dels primers instants de l'Univers era de bilions de graus centígrads, de forma que a mesura que es refredava, les partícules es van començar a ajuntar i van formar els primers àtoms dels primers elements, Hidrogen i Heli, i van quedar les restes de l'explosió en forma de **radiació de fons de microones**, detectada el 1964 per Penzias i Wilson. La radiació de fons va ser causada 380.000 anys després del Big Bang, quan la temperatura era molt inferior i els electrons es van començar a unir amb els nuclis atòmics, formats per protons i neutrons, i es varen formar els àtoms, de forma que la massa opaca que formava l'univers, el plasma, es va tornar més transparent i va deixar escapar aquesta radiació, és a dir, al ordenar-se els electrons i els nucleons, els fotons van quedar lliures i van viatjar per l'espai. Aquesta radiació va ser detectada, sense voler, per aquests dos astrònoms de Nova Jersey.

Big Bang	Punt infinitament petit i dens que comença a expandir-se ràpidament. Es crea el temps.	3 min	10 ⁸ °C, es formen els nuclis atòmics però el cosmos és massa calent per formar els àtoms.
10 ⁻⁴³ s	Superinflació de l'Univers, forces fonamentals no diferenciades. (Època de Planck) 10 ³² °C.	380.000 anys	Electrons es combinen amb els nucleons i formen els àtoms. Els fotons poden escapar. 10 ⁴ °C.
10 ⁻³⁴ s	Sopa d'electrons, quarks i altres partícules. La temperatura era de 10 ²⁷ °C.	10 ⁸ anys	L'Hidrogen i Heli s'agrupen i formen les primeres galàxies. -200 °C.
10 ⁻¹⁰ s	L'Univers es refreda molt ràpidament permetent als quarks unir-se per formar protons i neutrons.	10 ¹⁰ anys	Formació Sistema Solar i la Terra. -270 °C.

Cronologia de l'Univers



A començaments del segle XX, Albert Einstein va plantejar la seva fórmula que relacionava la massa i l'energia i va defensar que eren dues manifestacions de la mateixa cosa.

$$E=m \cdot c^2$$

Aquesta fórmula explicava que la matèria, o la massa, no era altra cosa que una forma d'energia i que a la velocitat de la llum, sigui en una reacció nuclear o en el Big Bang, la matèria es pot transformar en energia (Reaccions nuclears) o viceversa; l'energia en matèria (Big Bang). Però mentre l'energia es transformava en matèria i a la inversa, també es va crear una altra cosa, l'Antimatèria.

L'Antimatèria és exactament igual que la matèria i té la mateixa massa però l'única diferència és que la seva càrrega és oposada. Així l'antipartícula de l'electró és el positró, de càrrega positiva; la del protó és l'antiprotó, de càrrega negativa; i tant el neutró com l'antineutró són de càrrega neutra.

Això fa que quan la matèria i l'antimatèria es troben, s'aniquilen mútuament i desprenen una gran quantitat d'energia. Per ficar un exemple, si tinguéssim la mateixa massa de la mida d'una poma de matèria i una altra d'antimatèria, formarien la mateixa energia que una bomba atòmica de 10 Mt.

Com hem dit abans, la matèria es pot transformar en energia o a la inversa, i també tenim que quan la matèria i l'antimatèria es troben, formen una gran quantitat d'energia. Aquest fenomen a la inversa diu que l'energia ha de donar la mateixa quantitat de matèria com d'antimatèria, és a dir, tota l'energia del Big Bang va formar parts iguals tant de matèria com d'antimatèria, de manera que durant els primers instants de l'Univers les partícules de matèria s'aniquilaven amb les seves antipartícules.

El problema és que la matèria i l'antimatèria van ser creades en parts iguals, així que tota la matèria hauria d'haver-se aniquilat amb tota l'antimatèria, però no va ser així, ja que si hagués succeït això, tot l'Univers s'hagués aniquilat a si mateix i no existiria matèria, només radiació pura. De forma que els físics estan investigant a què va ser degut aquell petit canvi que va fer que la matèria que coneixem avui dia guanyés a l'antimatèria.

Una hipòtesi podria ser que l'antimatèria és més inestable i una petita part es va desintegrar, de forma que quan va acabar la *batalla de la matèria i l'antimatèria*, aquella part d'antimatèria que s'havia desintegrat va permetre l'existència de la matèria que forma tot el que coneixem avui dia, i totes les altres galàxies, és a dir, som els residus d'aquella batalla.

Una altra hipòtesi seria que l'Antimatèria no es va anihilar completament i avui dia podrien existir galàxies i regions de l'espai formades exclusivament d'antipartícules, però no s'han aconseguit observar mai aquestes regions ni a llarga distància, per això la NASA ha enviat una sonda a l'espai per buscar aquesta antimatèria.

Finalment, una hipòtesis podria ser que l'Antimatèria i la matèria no tenen les mateixes propietats físiques i la natura ha afavorit la supervivència d'aquesta última, de forma que l'antimatèria podria haver-se desintegrat o haver desaparegut, ja que no obeeix les mateixes lleis que la matèria ordinària.

3.1.1 QUARKS

Hi ha 6 tipus de quarks agrupats en 3 parelles Up/Down (família I), Charm/Strange (família II) i Top/Bottom (família III).

QUARKS	CÀRREGA	MASSA
Up (u)	+2/3 e	2,3 MeV
Down (d)	-1/3 e	4,8 MeV
Charm (c)	+2/3 e	1,275 GeV
Strange (s)	-1/3 e	95 MeV
Top (t)	+2/3 e	173.07 GeV
Bottom (b)	-1/3 e	4.18 GeV

1e=1,6·10⁻¹⁹C Taula de quarks

Una de les propietats dels quarks és que la seva càrrega elèctrica és fraccionària. Per exemple el quark Up té una càrrega de +2/3 e i el quark Down de -1/3 e; a causa d'això el protó, format per dos quarks Up i un Down, té càrrega positiva (+3/3 e) i el neutró, format per dos quarks Down i un Up té càrrega neutra (0/3 e).

A més, una propietat dels quarks, i dels fermions en general, és que tenen un **spin** fraccionari de ½.

Perquè els quarks respectin el Principi d'exclusió de Pauli, i puguin haver-hi 2 quarks Up iguals dins del protó es va haver d'afegir un nou concepte de càrrega, la de color. Així com la càrrega elèctrica només pot ser negativa o positiva, la càrrega de color pot ser blava, vermella o verda, de forma que s'han de combinar per donar un color blanc (incolòr), per exemple amb un quark de cada color o una parella color/anticolor. Els quarks no són de cap color literalment, només és un altre tipus de càrrega que poden tenir. Així mateix, els quarks **u**, **u** i **u** no són variants del mateix quark, sinó que són partícules diferents; això fa que tinguem 18 tipus de quarks diferents (6 tipus amb 3 colors cadascun).

Els quarks no es poden trobar aïllats, sempre han d'estar en petits grups, de forma que han d'estar sotmesos a **interaccions fortes** que els mantinguin units. Els grups de dos o més quarks s'anomenen Hadrons, i aquests tenen sempre una càrrega elèctrica de nombres enters. Hi ha dos tipus d'hadrons, depenent de la quantitat de quarks que continguin: s'anomenen barions si estan formats per tres quarks com el protó (**uud**) o el neutró (**ddu**); en canvi si estan formats per un quark i un antiquark s'anomenen Mesons, com per exemple un pió (**ūd**).

Ara explicaré més detalladament els 6 tipus de quarks:

- **Up i Down:** són els quarks menys massius, ja que pertanyen a la família I i són els que es troben en més proporció, ja que els altres més massius decauen en aquests dos. Formen els protons i els neutrons, anomenats nucleons perquè són les partícules que formen els nuclis atòmics; i tota la matèria ordinària formada per aquests.

- **Strange:** trobat el 1947 al estudiar les interaccions dels raigs còsmics com a producte d'una col·lisió però es van adonar que va viure molt més temps, 10^{-10} s, en lloc dels 10^{-23} s previstos. Aquest fenomen es va explicar amb la Llei de l'Estranyesa (anomenada així a causa d'aquest quark) i té relació amb la durada de la seva vida.
- **Charm:** el 1974 es va descobrir la partícula J/Ψ , formada per un quark Charm i un Anticharm. Els quarks Charm i Strange pertanyen a la família II.
- **Bottom:** també anomenat *Beauty*, va ser descobert el 1977 al Fermilab, formant part d'un mesó upsilon, Bottom i Antibottom. Aquest quark i el següent formen la Família III.
- **Top:** es va preveure la seva existència quan es va descobrir el Bottom, per això se'l va anomenar True (*cert*). Va ser descobert el 1995 també al Fermilab i finalment es va quedar amb el nom de Top.

3.1.2 LEPTONS

Els leptons es caracteritzen perquè, a diferència dels quarks aquests sí que poden existir aïllats, de forma que no senten les interaccions fortes. El seu nom prové del grec *leptos*, que vol dir "lleuger". Tots tenen un spin d' $1/2$.

LEPTONS	CÀRREGA	MASSA
Electró	-1 e	0,548 MeV
Neutrí e^-	0 e	< 2 eV
Muó	-1 e	113,429 MeV
Neutrí μ^-	0 e	< 0,19 MeV
Tau	-1 e	1776,82 MeV
Neutrí τ^-	0 e	< 18,2 MeV

Taula de Leptons

Dels 6 tipus de leptons que hi ha, 3 tenen càrrega i 3 no; els 3 que tenen càrrega són: l'electró (e), el muó (μ) i el tau (τ) i els tres tenen càrrega negativa.

Els 3 que no tenen càrrega són els neutrins, que hi ha un per a cadascun amb càrrega negativa. Així tenim un neutrí electrònic, un muònic i un taònic.

- **Electró:** descobert per Thomson el 1897, forma part de la Família I. Té una vida estable, ja que orbita al voltant dels àtoms i no es desintegra. És la base de l'electromagnetisme i per tant de la química. Com ja hem dit té un spin d' $1/2$ i càrrega negativa, mentre que la seva antipartícula, el positró (e^+), té càrrega positiva
- **Muó:** té un temps de vida de 2,2 μ s i es produeix naturalment a l'atmosfera a causa del decaïment dels pions que provenen dels raigs còsmics. Té una massa 200 cops major que la de l'electró, de forma que tendeix a decaure en un electró o un positró. Va ser descobert el 1937 en una cambra de boira i forma part de la Família II.

- **Tau:** és la més massiva, ja que forma part de la Família III i té 3500 cops la massa de l'electró. Té una vida de 0,3 ps (10^{-12} s).
- **Neutrins:** No tenen massa, de forma que no interactuen amb cap altra partícula. Es necessitaria un bloc de plom de milions de km per a detenir la meitat de neutrins que li arribessin, ja que a cada segon milers de milions de neutrins travessen la Terra en línia recta, molts provinents del Sol, i els trobem en grans quantitats pel fet que tenen una vida molt llarga. Hi ha un neutrí per a l'electró (família I), un pel muó (família II) i un pel tau (família III). L'existència del neutrí va ser predita per Pauli, i el 1956, Reines va trobar el primer neutrí bombardejant aigua pura amb neutrons. Els neutrins muònics i taònics van ser descoberts el 1987 per Lederman, Schwarz i Steinberger. Els estudis més recents diuen que si tenen massa, però 500.000 cops més petita que la de l'electró, per això, estan sotmesos a les interaccions dèbils i gravitatòries.

El fet que a la Terra haguem detectat 3 tipus de neutrins permet conèixer la quantitat d'Heli que es va produir al Big Bang, i gràcies a aquesta quantitat d'Heli calculada, els físics asseguren que no poden existir més famílies de partícules.

3.2 BOSONS

Els quarks i els leptons (fermions) formen tota la matèria que ens rodeja, més específicament la família I, formada pels quarks Up i Down, per l'electró i pel neutrí electrònic, ja que les altres dues famílies decauen en aquesta. Però hi ha d'haver alguna cosa que mantingui unides aquestes partícules.

D'això s'encarreguen les forces o interaccions, avui dia es coneixen 4 fonamentals que són:

- **Gravetat:** és la força que es dona entre dos cossos que tenen massa, directament proporcional a aquestes masses i inversament proporcional a la distància que les separa. És la força que ens manté units a terra i a la vegada manté els planetes girant al voltant del Sol. Aquesta força és molt petita però té un abast universal.
Newton va ser el primer que va unificar aquesta força, ja que va dir que la gravitació celeste, de les estrelles i planetes, era la mateixa força que la gravitació terrestre, que fa que les coses caiguin a terra. Més endavant Einstein va donar una explicació teòrica amb la relativitat general, que deia que les grans masses corben el teixit **espai-temps** i els objectes del voltant es veuen obligats a torçar la seva trajectòria.
- **Electromagnetisme:** explica els fenòmens elèctrics i magnètics, basat en les lleis de Maxwell. Fa que càrregues i pols del mateix signe es repel·leixin i els de signes contraris s'atreugin. És la responsable de totes les reaccions químiques i gràcies a aquest fenomen existeixen els motors elèctrics, els generadors, etc. Aquesta força actua en totes les partícules que tenen càrrega elèctrica i té un abast infinit.

Els primers que van veure la relació entre aquests fenòmens elèctrics i magnètics van ser Faraday i Oersted que van fer els primers experiments, però el primer que va establir una teoria va ser Maxwell amb les seves equacions, que diuen que les càrregues elèctriques provoquen tant camps elèctrics com magnètics.

- **Nuclear Forta:** s'encarrega de mantenir units els quarks dintre dels protons i neutrons i a la vegada a aquests altres dintre del nucli atòmic, ja que en distàncies tan petites la gravetat és quasi nul·la però l'electromagnetisme faria que els nuclis atòmics es trenquessin. És la força més gran que es coneix però només actua en distàncies menors a la mida del nucli atòmic (10^{-15} m).
- **Nuclear Dèbil:** ja hem dit que hi ha 6 tipus de quarks i 6 tipus de leptons, però que tots acaben **decaient** en les 4 partícules de la família I, d'això s'encarrega la força nuclear dèbil. També és la responsable de la radiació. Té un radi d'actuació petit, d'uns 10^{-15} m.

És a dir, totes les forces que coneixem: fregament, normal, elàstiques, de viscositat, etc. es poden agrupar en aquestes 4 forces fonamentals, però totes aquestes forces, com la gravetat o el magnetisme, que són les que podem observar a ull nu, actuen a distància, és a dir, els objectes no es toquen, de forma que es va plantejar que aquestes forces es produïssin per l'intercanvi d'algunes partícules. Si fiquem l'exemple de dos patinadors de gel que es llancen una pilota, els dos es mouran cap enrere i aquesta pilota serà la partícula portadora de força. En la física de partícules aquesta partícula se l'anomena Bosó, mentre que els patinadors serien els fermions (quarks i leptons), explicats anteriorment, que corresponen a la matèria. Els bosons són responsables de les 4 interaccions fonamentals, i són els següents:

- **Fotó:** responsable de la interacció electromagnètica, no té massa ni càrrega elèctrica, de forma que es mou a la velocitat de la llum. Té una ona electromagnètica associada que pot ser llum visible, raigs X, ones de ràdio, infraroigs, etc.
- **Gluó:** responsable de la interacció nuclear forta, la seva força és 1000 vegades més gran que l'electromagnètica, per això els nuclis atòmics no es separen. Hi ha 8 tipus i tots tenen càrrega elèctrica neutra. Actuen sobre els quarks i altres gluons per formar hadrons, de forma que tenen un abast de 10^{-18} m. La propietat que tenen els gluons és que la força nuclear forta creix asimptòticament a mesura que la distància entre quarks augmenta, això vol dir que quan els quarks estan molt junts dintre d'un hadró (agrupació de diferents quarks) són pràcticament lliures però a mesura que es separen la força nuclear forta augmenta.
- **Bosons W i Z:** s'encarreguen de la força nuclear dèbil i són molt pesats. El W pot tenir càrrega positiva o negativa i s'encarrega dels decaïments de partícules de la mateixa família, modificant el seu **sabor** (per exemple un muó en un neutrí muònic).

El bosó Z té càrrega neutra i s'encarrega dels decaïments entre diverses famílies (per exemple d'un quark Charm a un Up). Els dos tenen un abast de 10^{-18} m.

- **Gravitó:** partícula no observada, que teòricament és la responsable de la gravetat. És la partícula que menys força té, això fa que qualsevol de les altres forces la puguin vèncer.

Totes aquestes tenen un spin d'1, menys el gravitó que es prediu que tingui un spin de 2. Tots aquests bosons en lloc d'actuar com a partícules aïllades, formen camps on s'exerceix la força. Aquests 4 camps són: camp gravitacional, camp electromagnètic, camp de la força forta i camp de la força dèbil.

A la següent taula podem observar la magnitud o intensitat de les diferents interaccions, agafant com a marc de referència inicial en intensitat la Gravetat, que és la menor de totes.

Interacció	Partícula portadora	Intensitat	Massa (GeV)	Abast (m)
Nuclear Forta	Gluó	10^{38}	0	**
Nuclear Feble	Bosons W i Z	10^{25}	80-90	10^{-15}
Electromagnètica	Fotó	10^{36}	0	Infinit
Gravetat	Gravitó*	1	0	Infinit

Intensitat relativa de les forces fonamentals entre dos protons separats una distància de 10^{-15} m.

*No observat.

** A mesura que augmenta la distància, augmenta la intensitat.

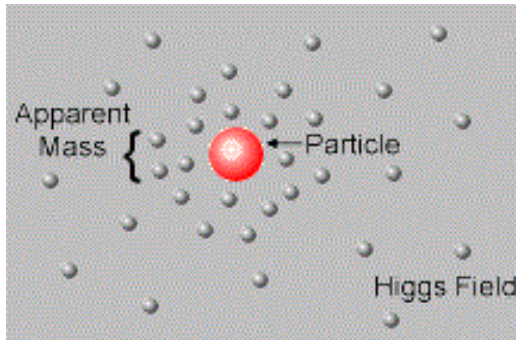
3.3 BOSÓ DE HIGGS

Si féssim el buit en una habitació i traguéssim tots els àtoms de matèria de dins, encara quedaria alguna cosa, quedaria el camp de Higgs.

Peter Higgs és un físic escocès que va predir el 1964, juntament amb 5 físics més, l'existència d'uns bosons que tindrien un spin igual a 0, anomenats Bosons de Higgs, que són els que formen el camp que porta el seu nom. Aquest camp recobreix tot l'Univers de manera contínua, sense forats, és a dir, tot i que fem el buit en una habitació sempre quedarà aquest camp. El problema d'aquest bosó és que era extremadament massiu i amb els mitjans de l'època no es podia observar experimentalment, ja que podia tenir una massa de 115 **GeV** o més elevada.

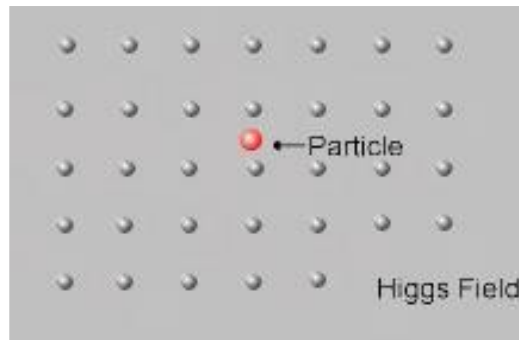
Quan una partícula travessa aquest camp, interacciona amb ell i amb els bosons que el formen, de manera que com més interaccioni una partícula amb aquest camp, més massa tindrà. L'exemple seria una piscina: l'aigua la cobreix sencera i no té cap forat, un peix que neda a l'interior al ser més petit i allargat interacciona poc amb l'aigua però en canvi si

nosaltres intentem córrer dins de l'aigua, ens costarà molt, interaccionarem molt amb l'aigua, i això vol dir que tindrem molta massa.



Partícula que interactua amb el camp de Higgs i tindrà molta massa

<http://www.lhc-closer.es/2/6/5/0>



Partícula sense massa (fotó) que no interactua amb el camp de Higgs

En la primera imatge podem observar que la partícula interactua molt amb el camp de Higgs i l'atreu, de forma que es mourà més lentament i tindrà més massa. Aquesta partícula podria ser un quark, per exemple el quark Top, que és el que més massa té (ja que pertany a la tercera família).

En canvi, a la segona foto podem observar que la partícula no interactua gens amb el camp de Higgs, ja que no altera la posició dels Bosons, de forma que és una partícula sense massa, per exemple un fotó.

Més endavant aquests bosons teòrics van ser utilitzats per Weinberg i Salam per a justificar la massa dels bosons W i Z, ja que les masses d'aquests segons algunes teories haurien de ser molt grans i segons altres, inexistent, però això es solucionava si la seva massa era deguda a un altre bosó, és a dir, si les seves masses fossin aparents. A més de donar massa a les altres partícules, el camp de Higgs també dóna massa a les seves pròpies partícules, ja que aquestes es poden agrupar al voltant d'una altra partícula de Higgs.

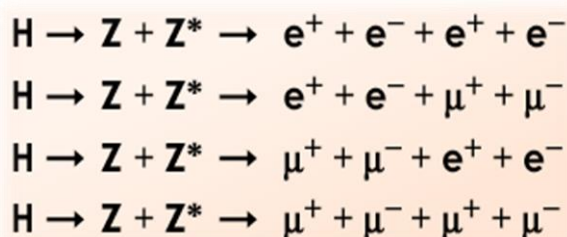
El bosó de Higgs va ser descobert el 4 de juliol de 2012 al CERN pels detectors ATLAS i CMS del LHC, després de mig segle de ser proposat teòricament. Es va anunciar a una conferència a Ginebra que a aquesta partícula li corresponien 5 **sigmes**, és a dir, que hi havia menys d'1 probabilitat entre 1 milió que fos una equivocació.

Higgs \rightarrow b + \bar{b}	(b quark and its antiquark)
Higgs \rightarrow τ^+ + τ^-	(τ lepton and its antiparticle)
Higgs \rightarrow γ + γ	(two photons, also called gammas)
Higgs \rightarrow W⁺ + W⁻	(W boson and its antiparticle)
Higgs \rightarrow Z⁰ + Z⁰	(Two Z bosons)

Probabilitats de decaïment del Bosó de Higgs (el bosó no es pot observar directament, s'observen els seus productes)

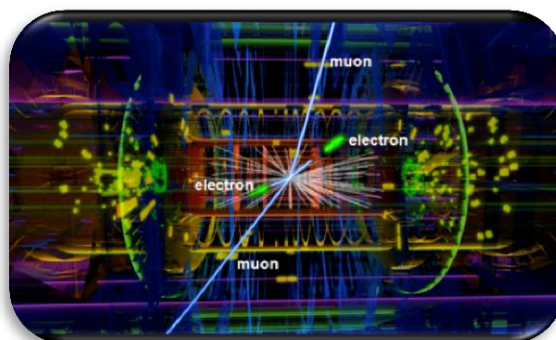
<http://www.particleadventure.org/the-higgs-boson-decays-into-other-particles.html>

En aquesta taula es troben les possibilitats de decaïment del bosó, de més probable (quark i antiquark) a menys probable (dos bosons Z). La millor manera de saber que es tracta del bosó de Higgs és que decaigui en dos fotons o dos bosons Z, ja que els **detectors** ATLAS i CMS tenen més facilitat per detectar aquest últim. Però els bosons Z decauen instantàniament en electrons o muons, així que hi ha 4 possibilitats:



Probabilitats de decaïment dels bosons Z decaiguts d'un bosó de Higgs

<http://www.particleadventure.org/time-evolution-of-higgs-boson-data.html>



Col·lisió on s'observen els productes del Higgs (2 electrons i 2 muons)

<http://www.atlas.ch/photos/events-collision-proton.html>

A la segona imatge podem observar la tercera possibilitat en què els bosons Z decauen en dos muons i dos electrons. A l'hora de calcular la massa del bosó de Higgs, no es pot simplement sumar les masses de les partícules que la formen, ja que en tenir energia cinètica, el bosó de Higgs és molt més massiu.

Per ara sabem que el bosó de Higgs trobat té moltes igualtats amb el Bosó de Higgs del Model Estàndard, però sempre hi ha altres possibilitats com que existeixin lleis físiques noves per explicar les discrepàncies o que existeixin diferents bosons de Higgs amb diferents masses.

Tot i això, si intentem calcular la massa d'un neutró o protó sumant les masses dels 3 quarks que formen cada hadró només obtindrem l'1% de la massa total de la partícula subatòmica, ja que la resta és deguda a l'energia cinètica dels quarks dins de l'hadró, perquè com hem dit abans aquests quarks es poden moure lliurement a dins dels protons i neutrons. Amb tot això podem esbrinar que en realitat el bosó de Higgs només és el responsable de l'1% de la massa de l'Univers, però que si no existís, els electrons escaparien dels àtoms a la velocitat de la llum i els quarks s'agruparien a causa de la gravetat en un gran cos sòlid, de forma que viuríem en un univers buit, fosc i fred.

4. ACCELERADORS DE PARTÍCULES

4.1 QUÉ SÓN?

Els acceleradors de partícules són màquines gegantines que els físics utilitzen per estudiar les partícules atòmiques i subatòmiques i així comprendre el funcionament del nostre Univers.

En els acceleradors de partícules s'assoleixen energies molt altes que permeten accelerar les partícules a fraccions de la velocitat de la llum i així poder-les fer xocar i analitzar les partícules resultants d'aquestes col·lisions, cosa que permet aprofundir en el coneixement de les partícules que formen l'Univers i recrear els primers instants d'aquest, fraccions de segon després del Big Bang.

Però també hi ha acceleradors de partícules que utilitzem en la nostra vida quotidiana o són més propers, per exemple els **tubs catòdics** dels antics televisors o ordinadors, els aparells de radioteràpia, o els raigs X que utilitzen els metges són acceleradors en miniatura.

Els acceleradors són com grans microscopis, però que no poden utilitzar la llum visible perquè té una longitud d'ona molt elevada, que fa que les imatges tinguin poca resolució. En canvi les partícules, al tindre una ona associada, es compleix que la seva **longitud d'ona** és inversament proporcional al seu moment, és per això que s'acceleren a altes energies per reduir la seva longitud d'ona i poder observar partícules més petites.

En els acceleradors s'utilitzen principalment 3 tipus de partícules:

-**Electrons**: s'obtenen fàcilment escalfant una làmina de metall.

-**Protons**: s'obtenen ionitzant àtoms d'hidrogen, que perden el seu únic electró.

-**Antipartícules**: es fa xocar una partícula contra un blanc, de forma que es creen fotons i gluons, i aquests fotons neutres decauen en un parell partícula/antipartícula, que són separades amb camps magnètics.

4.2 TIPUS D'ACCELERADORS

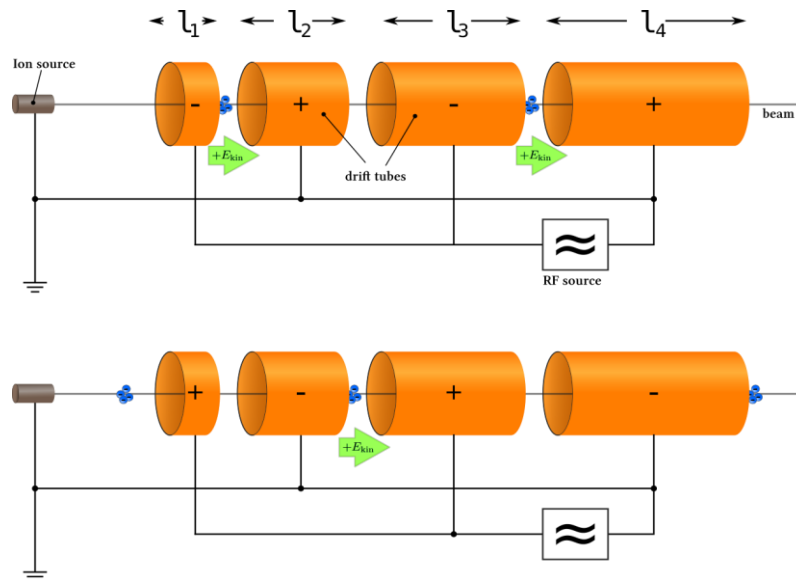
Existeixen dos tipus bàsics d'acceleradors de partícules segons la forma que tenen: lineals o circulars. A més també depèn del blanc sobre el qual impactin les partícules, que pot ser un blanc fix (contra un sòlid, líquid o gas) o contra altres partícules en moviment.

4.2.1 Lineals

Els acceleradors lineals, també anomenats LINAC, utilitzen un conjunt de plaques o tubs situats en línia, cada un més gran que l'anterior, que es connecten els senars i els parells entre si, de forma que se'ls aplica un camp elèctric altern que va oscil·lant de manera que el feix de partícules és atret pel tub següent de polaritat oposada i en el moment que creua el

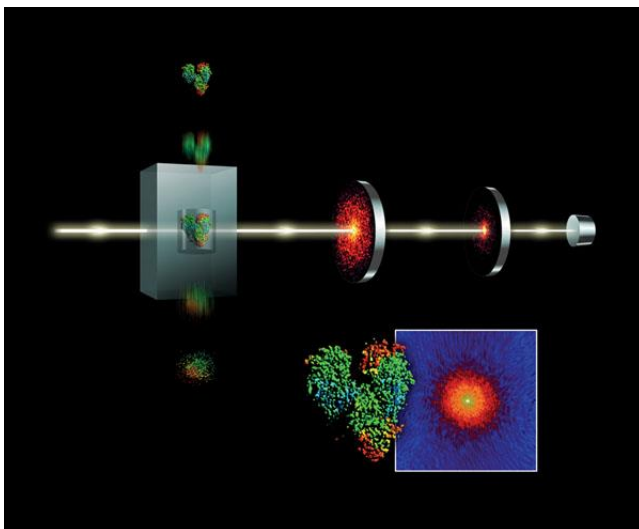
tub, canvien les polaritats i aquest tub repel·leix el feix de partícules mentre que el tub següent les atreu, i així successivament.

Cada tub és més llarg que l'anterior seguint aquesta fórmula $L_n=L_1\sqrt{n}$ en què L_1 és la longitud del primer tub i n és el nombre del tub. Així cada tub li va donant un petit impuls fins que s'accelera a velocitats properes a la llum. La principal dificultat d'aquests acceleradors és que s'ha de variar la polaritat dels tubs just quan la partícula es troba al final perquè el següent tub no la repel·leixi.



Esquema d'un accelerador lineal
http://es.wikipedia.org/wiki/Acelerador_lineal

L'accelerador lineal més gran del món és el SLAC o Accelerador Linear de Stanford, que té 3 km de longitud i es fan xocar parells de feixos de partícules electró-positró. A més, utilitzen els electrons per produir Raigs X d'alta energia que permeten fer fotografies d'àtoms i molècules tridimensionals.



Fotografia d'una molècula (el feix de radiació colpeja les molècules que cauen amb diferents angles i així es forma la imatge 3D)

http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser_de_electrones_libres



Representació del Linac de Stanford en una imatge de la superfície

<http://phys.org/news/2012-09-slab-taus-bottom-quarks-standard.html>

Els acceleradors lineals poden tindre tres funcions diferents:

- Accelerar partícules contra un blanc fix, on hi ha un detector líquid, sòlid o gasós per analitzar la trajectòria de les partícules produïdes.
- Accelerar partícules en direccions oposades per ferles col·lidir en un detector com en el cas anterior.
- Pre-accelerar les partícules dels acceleradors circulars per després injectar-les en aquests grans anells perquè augmentin molt més la seva energia.

4.2.2 Circulars

En els acceleradors circulars s'utilitzen dos camps independents, el camp elèctric accelera les partícules i el camp magnètic corba la seva trajectòria fins que els dos feixos de partícules, que s'acceleren en sentits contraris, xoquin.

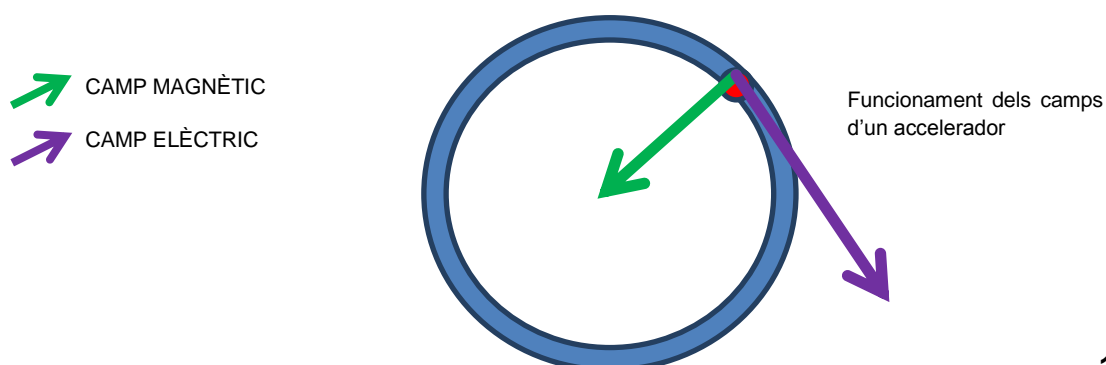
Els acceleradors circulars presenten avantatges i desavantatges respecte dels lineals.

Els avantatges són que en ser circulars es pot mantenir l'acceleració contínua, ja que les partícules poden circular indeterminadament per ells, en canvi en els lineals només hi ha una oportunitat per accelerar-les.

Un altre avantatge que es deriva de l'anterior és que ocupen molt menys espai que els lineals, ja que per aconseguir determinades energies, els acceleradors lineals es troben limitats per la seva pròpia longitud, en canvi els circulars es poden fer més petits, tot i que el feix de partícules haurà de donar més voltes.

El principal desavantatge d'aquests acceleradors és que emeten el que s'anomena **Radiació de Sincrotró** a causa de la seva trajectòria corbada, que té dos aspectes negatius. El primer és que aquesta radiació és perjudicial per a la salut com qualsevol radiació, i el segon aspecte negatiu és que aquesta radiació provoca una pèrdua d'energia. Tot i això, alguns acceleradors tenen instal·lacions especials encarregades d'aprofitar aquesta radiació, també anomenada Llum de Sincrotró, que són Raigs X d'alta energia que s'utilitzen per a l'estudi de materials i espectroscòpia.

Aquesta radiació s'incrementa quan més lleugeres són les partícules, per exemple si són electrons o positrons generaran grans quantitats d'aquesta radiació. Però si no es vol utilitzar aquesta radiació, es poden utilitzar partícules més pesades com els protons, que no emeten tanta radiació i a més arriben a energies més elevades.

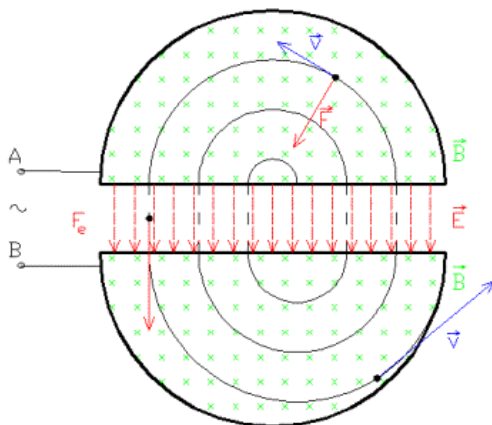


4.2.3 Ciclotró

El ciclotró és un tipus d'accelerador de partícules circular basat en un camp elèctric altern que va impulsant la partícula mentre corba la seva trajectòria en forma d'espiral. Aquest accelerador utilitza dos parells de plaques metàl·liques en forma de "D", situats en una cambra al buit. Primer s'aplica un camp magnètic vertical i perpendicular a les plaques, aleshores es col·loca, per exemple, un protó al centre, que es veurà atret per la placa negativa, en el moment que estigui a punt de tocar les plaques aquestes canvien la polaritat, i el protó serà atret cap a l'altre placa corbant la seva trajectòria, i així successivament, de forma que recorrerà una trajectòria en espiral i s'aconseguirà accelerar fins a altes velocitats.

Els ciclotrons aconseguixen velocitats de fraccions la velocitat de la llum, però no tant com els sincrotrons. Per exemple els ciclotrons de protons aconseguixen energies de màxim 10 MeV, de forma que s'utilitzen per aplicacions de baixes energies, com per exemple produir ^{18}F pels **PET**, o per esterilitzar instrumental i aliments, per tractar alguns tipus de càncer, fer anàlisis de masses, etc.

El ciclotró va ser inventat l'any 1934 per Livingstone i Lawrence, que accelerava ions de H_2 . Primer van construir un d'11 cm de diàmetre que arribava a 80 KeV i van anar construint d'altres més grans fins aconseguir els 8 milions de eV, que va ser utilitzat per a finalitats mèdiques.



x: camp magnètic, perpendicular al paper i cap a dins, que corba la trajectòria dels protons.

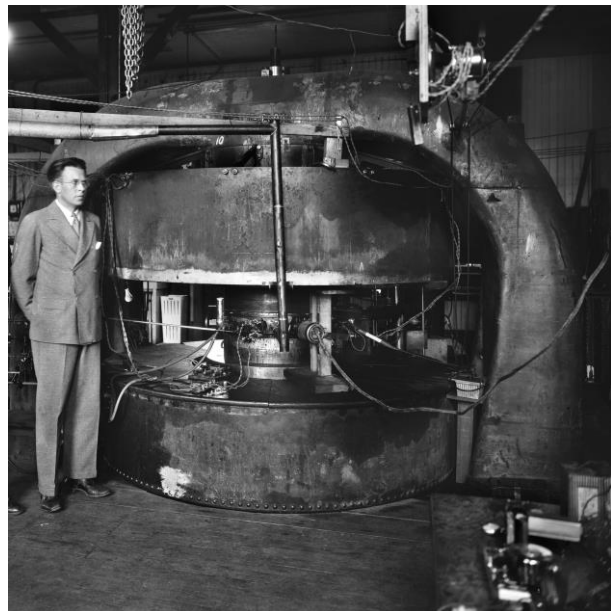
E: camp elèctric variable, que accelera els protons.

v: velocitat dels protons.

F: força que experimenten els protons a causa del camp magnètic i la velocitat.

Esquema d'un ciclotró

<http://cerezo.pntic.mec.es/~jgrima/Ciclotron.htm>



Lawrence i el seu ciclotró

<http://losmundosdebrana.wordpress.com/2013/04/17/ernest-lawrence-y-los-inicios-de-la-gran-ciencia-i-los-muchachos-del-rad-lab/>

La dificultat que presenten els ciclotrons és la velocitat de les partícules, és a dir, quan les velocitats són petites en comparació a la de la llum, es pot utilitzar la **física newtoniana** de forma que tenim que:

$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}$, la Llei de Força de Lorentz. En què F és la força que pateix la partícula, q és la càrrega d'aquesta, v és la velocitat de la partícula i B és el camp magnètic. Aquesta fórmula explica perquè al aplicar un camp magnètic a una partícula en moviment, es produeix una força que corba les trajectòries de les partícules. A més tenim que:

$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$, la Segona Llei de Newton.

$\mathbf{a} = \frac{v^2}{r}$, ja que en ser un moviment circular tenim una acceleració normal.

Si les combinem, tenim que: $q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$; aïllant la velocitat: $v = \frac{q \cdot B \cdot r}{m}$.

Al ser un moviment circular tenim una velocitat angular $\omega = \frac{v}{r}$, de forma que tenim que

$\omega = \frac{q \cdot B}{m}$ i la **freqüència** associada a aquesta velocitat és

$f = \frac{B \cdot q}{2\pi \cdot m}$, ja que $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

Aquesta freqüència s'anomena freqüència d'oscil·lació del ciclotró i és la mateixa que s'ha d'aplicar al camp elèctric per poder accelerar les partícules. Com es pot observar no té relació amb la velocitat de les partícules o el radi que descriuen, de forma que és molt fàcil accelerar-les.

La dificultat ve quan s'assoleixen velocitats properes a la llum, on s'ha d'aplicar la **mecànica relativista**, utilitzant el **factor de Lorentz**, de forma que la freqüència serà aquesta:

$$f = \frac{Bq}{2\pi m} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Com es pot observar, ara sí que es té en compte la velocitat, de forma que això és un greu problema a l'hora d'ajustar la freqüència dels pols elèctrics per sincronitzar-la amb la freqüència del moviment circular de les partícules.

Aquest problema es pot corregir amb un dispositiu automàtic que varia el període del camp magnètic, perquè en tot moment coincideixi amb el període del moviment de les partícules. Per fer això es connecten les plaques en forma de "D" a un detector de radiofreqüència que modifica la freqüència del camp magnètic. Aleshores ara hem obtingut un sincro-ciclotró, és a dir, un ciclotró sincronitzat.

4.2.4 Sincrotró

El sincrotró és un accelerador de partícules circular amb forma toroïdal, o de cercle, que utilitza un camp elèctric per moure la partícula i la força de Lorentz amb un camp magnètic per corbar la seva trajectòria. Hi ha diversos tipus de sincrotrons: d'electrons, de protons, anells d'emmagatzematge, col·lisionadors.

Els principis del funcionament del sincrotró van ser explicats simultàniament per McMillan a Califòrnia i Veksler a l'URSS . El primer sincrotró es va construir a Califòrnia.

Per corbar aquesta trajectòria s'utilitzen dos tipus d'imants superconductors diferents:

- **Imants de direccionalment dipolars:** apliquen el camp magnètic adequat per corbar la trajectòria de les partícules gràcies a la Llei de Força de Lorentz, que ja s'ha vist abans.
- **Imants deflectors quadri-polars:** la seva funció és concentrar el feix de partícules i enfocar-lo.

A més d'aquests dos tipus d'imants hi ha les cambres d'acceleració, formades per cavitats de radiofreqüència i camps elèctrics que donen petits impulsos com els acceleradors lineals.

Normalment en un mateix centre es troben diversos sincrotrons, cadascun destinat a un experiment. A més, els sincrotrons han de treballar amb altes energies, de forma que necessiten *boosters*, que són acceleradors circulars més petits que el principal on es pre-acceleren les partícules abans d'injectar-les al sincrotró principal.

A causa de tot això els sincrotrons es construeixen en centres complexos que realitzen experiments internacionals, els més importants són:

SINCROTRÓ	LOCALITZACIÓ
LHC (Large Hadron Collider)	CERN (Suïssa)
DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron)	Hamburg i Berlín (Alemanya)
SOLEIL (Soleil Synchrotron)	París (França)
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility)	Grenoble (França)
APS (Advanced Photon Source)	Argonne (EEUU)
ALS (Advanced Light Source)	Berkeley (EEUU)
ELETTRA (Elettra Synchrotron Light Source)	Trieste (Itàlia)
SPring-8 (Super Photon Ring 8GeV)	Hyogo (Japó)
SLS (Swiss Light Source)	Institut Paul Scherrer (Suïssa)
CLS (Canadian Light Source)	Universitat Saskatchewan (Canadà)

LNLS (Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón)	Campinas (Brasil)
MAX-lab	Universitat Lund (Suècia)
DIAMOND (Diamond Light Source)	Oxfordshire (UK)
ALBA	UAB (Espanya)

Sincrotrons més importants

4.3 CENTRES MÉS IMPORTANTS

Els acceleradors de partícules es troben en grans complexos científics per a la recerca o bé en universitats per fer estudis. Aquests centres científics més importants arreu del món són els següents:

SLAC (Centre d'Acceleradors Linears de Stanford): és un laboratori nacional d'energia que es troba a Califòrnia (EUA), fundat el 1962. Utilitza feixos d'electrons en un accelerador lineal per investigar sobre física de partícules, biologia, medicina, química i física dels estats sòlids. Aquí es van descobrir el quark *charm* i el leptó *tau*.

Fermilab: és un laboratori de física d'altres energies situat a Chicago (EUA) i anomenat en honor a Enrico Fermi, pioner en la física de partícules. Aquí es van descobrir els quarks Bottom i Top i fins al 2011 va allotjar el segon accelerador més potent del món, el Tevatró, un anell de 4 milles de circumferència que investigava les col·lisions protó-antiprotó.

CERN (Organització Europea per a la Recerca Nuclear): Situat a Ginebra (Suïssa), és el laboratori de física de partícules més gran del món i allotja el LHC, el sincrotró més potent del món amb de 27 km de circumferència. Aquí es van descobrir els bosons W i Z i es va crear la *world-wide web* (www.). Parlarem més a fons del CERN en el següent apartat.

BNL (Laboratori Nacional de Brookhaven): Situat a Nova York (EUA), conté el NSLS-II (Sincrotró Nacional de Font de Llum), que és el sincrotró de raigs X més nou, obert a finals del 2014 (amb un cost de 912 milions de dòlars), utilitzat per estudiar les propietats dels materials amb una gran resolució a escales nanomètriques.

CESR (Anell d'Emmagatzematge d'Electrons de Cornell): és un sincrotró de 800 metres de circumferència situat sota la universitat de Cornell, Nova York (EUA), que col·lideix electrons i positrons a 12 GeV.

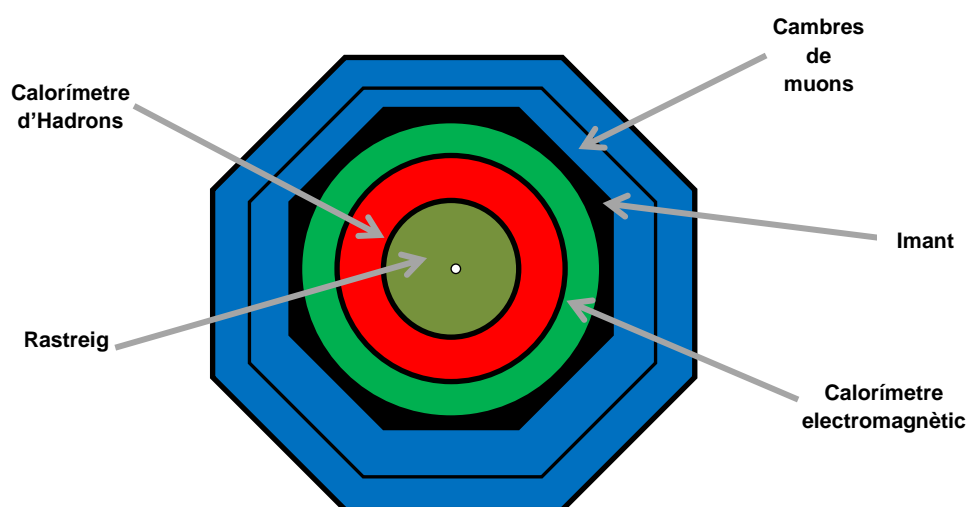
DESY (Sincrotró Alemany d'Electrons): es troba a Alemanya, dividit en Hamburg, on estan els acceleradors PETRA i HERA que col·lideixen protons i electrons i en Zeuthen, que investiga els neutrins i els raigs gamma. PETRA va descobrir els gluons, portadors de la força nuclear forta.

KEK: Situat a Tsukuba (Japó) es va crear originàriament per promocionar els estudis experimentals sobre partícules elementals. El seu accelerador més important, TRISTAN, col·lideix electrons i positrons a 30 GeV.

IHEP (Institut de Física d'Altes Energies): ubicat a Beijing (Xina). Conté diferents acceleradors: un Linac, un sincrotró, etc. És el centre de recerca de física nuclear i de partícules més gran de Xina.

4.4 DETECTORS

Ja hem estudiat la forma en què s'acceleren les partícules però en la majoria dels casos, aquests acceleradors de partícules s'utilitzen també com a col·lisionadors, per estudiar les partícules produïdes en el xoc i saber de què estan formades i com decauen les altres partícules. Per fer tot això necessiten màquines i dispositius que captin aquestes partícules, els detectors. La majoria dels detectors que s'utilitzen actualment tenen aquesta estructura:



Esquema dels components d'un detector

Calorímetre: són detectors "destructius", ja que per mesurar directament l'energia de les partícules, aquestes han d'emetre tota la seva energia per excitar els nuclis del detector gràcies a la força electromagnètica o la nuclear forta i la llum que posteriorment es dirigirà a un fotomultiplicador. Hi ha dos tipus de calorímetres: els electromagnètics, per mesurar l'energia dels electrons, fotons i partícules carregades. Normalment estan fets de vidre de plom per reduir l'amplitud de la cascada de partícules; i els hadrònics, per mesurar l'energia dels protons, neutrons i altres hadrons.

Cambra de bombolles: Inventada el 1960 per Arthur Glasser, consistia en un gran recipient ple d'hidrogen líquid una mica per sota del punt d'ebullició, de forma que quan una partícula la travessa fa que l'hidrogen bulli i deixa un rastre de bombolles. A més la cambra està sota un camp magnètic per separar les partícules segons la càrrega i té una càmera per captar aquests rastres de partícules, però no serveix per mesurar la velocitat d'aquestes.

Cambra d'espurnes: Utilitzada als anys 70, consisteix en un recipient ple d'un gas noble (argó o xenó) i Heli, situat entre dues plaques de diferent potencial elèctric. El seu funcionament es basa en què quan un electró o una partícula carregada travessa la mescla,

deixa un rastre d'ions, després es produeix la descàrrega i es veu una espurna per on ha travessat la partícula.

Cambra de boira: semblant a les dues anteriors, però aquesta conté vapor d'aigua súper refredat i súper saturat, de forma que quan una partícula amb suficient energia el travessa, l'ionitza i es formen les gotes de líquid al voltant. Així es produeixen les traces i a més depenent de la partícula formarà traces més fines o més amples.

Cambra proporcional de multi fils: aquest detector està format per fils paral·lels equidistants, que actuen com a ànode, connectats a terra i situats entre dues plaques a alts voltatges, de forma que es crea un camp elèctric regular excepte al voltant dels **ànodes** on es fa més intens. Les càrregues alliberades per una partícula es desplacen cap a l'ànode on poden ser enregistrades. Es fiquen 3 cambres juntes cada una amb els ànodes orientats en un dels 3 eixos de l'espai per saber en les 3 coordenades la posició de la partícula. Amb 3 d'aquestes cambres triples separades és possible conèixer la trajectòria de les partícules.

Detector Cherenkov: es basa en la radiació que emet una partícula que es mou en un medi més ràpidament que la llum en el mateix medi, ja que les ones electromagnètiques de la partícula formen un con de llum (Radiació Cherenkov), que permet conèixer la velocitat de la partícula amb l'amplada del con i la càrrega elèctrica segons la quantitat de fotons emesos.

De forma que el llindar d'aquesta radiació és $\beta_p > \frac{1}{n}$ on $\beta_p = \frac{v}{c}$ i n= índex de refracció del material. Normalment s'utilitza Heli, que té l'índex de refracció més baix conegut.

Fotomultiplicador: és un detector òptic que es basa en dues parts, un fotocàtode o càtode fotoemissiu que emet electrons quan incideix llum sobre ell (efecte fotoelèctric) depenent de la longitud d'ona d'aquesta llum; després uns elèctrodes enfoquen aquests electrons cap a l'ànode, també anomenat dínode, on incideixen els electrons i es creen electrons secundaris de menys energia que són dirigits a un altre dínode. Així es forma una cascada de partícules segons la radiació rebuda.

Pampallugador: quan una partícula pesada o un ió el travessa, el pampallugador absorbeix part de la seva energia i la desprèn en forma d'un flaix de llum curt. Per utilitzar-lo com un detector es connecta al fotomultiplicador per esbrinar quina partícula era.

Detectors temps de vol: aquest detector és capaç de mesurar la velocitat d'una partícula fins al 98% de la velocitat de la llum amb un marge d'error de 150 ps. Es tracta de dues plaques situades a 1,2 m que en incidir una partícula en la primera es posa en marxa un cronòmetre. La principal funció d'aquest detector és avisar als altres detectors que s'aproxima un feix de partícules, ja que utilitza el mateix procés dels altres detectors, on el pampallugador produeix llum quan és excitat per la partícula i en els fotomultiplicadors aquesta llum és convertida en una cascada d'electrons.

Detector de transició de radiació: serveix per poder distingir les partícules a altes energies, ja que quan un protó o un electró viatgen gairebé a la velocitat de la llum els seus moments són molt semblants i no es poden distingir als detectors de Temps de Vol o

Cherenkov. Aquest detector es basa en els raigs X que produeixen els electrons quan passen a través de 100 capes amb diferent **índex de refracció**, per exemple polipropilè i buit. Quan les partícules travessen aquestes 100 capes, arriben a uns recipients formats per CO_2 i Xenó que tenen un cable al centre a 1600 V, de forma que les partícules ionitzen els gasos i aquests creen una cascada de ionització al voltant del cable, que emet un impuls elèctric. Els electrons es poden distingir perquè en crear raigs X, aquests ionitzen encara més el gas, en canvi els protons no.

4.5 ACCIDENTS

4.5.1 SINCROTRÓ U-70

El 13 de juliol de 1978, el científic Anatoli Bugorski estava realitzant la seva tesi doctoral al sincrotró U-70 a Protvino (Rússia), que per aquella època era l'accelerador més potent que existia i segueix sent el més potent de tota Rússia, amb 70 GeV. Anatoli estava reparant una peça de l'equip de l'accelerador quan els sistemes de seguretat van fallar i es va injectar un feix de protons que li va travessar el cap. Segons les seves paraules no va sentir dolor però va veure un flaix com un miler de Sols. Aquest feix mesurava uns 2000 Gray quan va penetrar al seu cap i 3000 Gray en sortir.

Això va fer que se l'inflamés la part esquerra de la cara i es produïssin cremades a la pell, al crani i al teixit cerebral. A més va perdre l'oïda interna esquerra, se li va paraitzar la meitat esquerra de la cara a causa de la destrucció dels nervis i pateix epilèpsia. Tot i això va acabar el doctorat, és coordinador d'experiments de física i està casat.

4.5.2 HOSPITAL CLÍNIC SARAGOSSA

Va ser un accident produït a l'Hospital Clínic Universitari Lozano Blesa (Saragossa), entre els dies 10 i 20 de desembre de 1990. És l'accident més gran que s'ha produït en la història de la radioteràpia.

El dia 7 d'aquell mes, un tècnic va reparar l'accelerador que es va posar en funcionament el dia 10, però el dia 19 en la revisió anual es van trobar una anomalia, ja que en lloc de treballar a 7 MeV com requerien els pacients, treballava a màxima potència, 40 MeV, 6 cops més dosi de la necessària. La causa era que en lloc de modificar la trajectòria dels electrons, el tècnic va modificar la seva energia, però el quadre de funcionament marcava els 7 MeV teòrics. Durant aquests deu dies es van tractar 27 pacients amb càncer que van presentar inflamacions i cremades a la pell i la medul·la òssia. El primer pacient va morir al cap de dos mesos, i així fins a 25 dels 27 afectats.

Finalment l'hospital i els metges van ser absolts i es va culpar al tècnic, i en segon lloc, a l'empresa General Elèctric, que fabrica aquests aparells, amb indemnitzacions de 2,4 milions d'euros (400 milions de pessetes) per a les famílies afectades.

4.5.3 LHC

El 19 de setembre del 2008, mentre es feien comprovacions per posar en marxa el LHC, les connexions elèctriques entre un dipol i un quadrupol dels sectors 3-4 van fallar i va resultar un dany mecànic, que va fer que s'alliberés una quantitat d'Heli al túnel del LHC.

Mentre s'estava incrementant el corrent fins als 9,3 kA en el circuit principal del dipol, a una velocitat de 10 A/s, va aparèixer un voltatge resistiu que va augmentar de 300 mV fins a 1V, de forma que es van activar els sistemes de descàrrega de l'energia i es van introduir les **resistències d'abocament** (dump resistors), per produir un avortament d'energia més ràpid.

Durant el primer segon d'aquests successos es va produir un arc elèctric que va danyar el recinte de l'Heli, que es va començar a abocar en el sistema de buit. A més, com s'estava incrementant el corrent, va començar a augmentar la pressió. Quan la pressió va excedir a l'atmosfèrica com a mesura de seguretat, es van obrir les vàlvules de buit, alliberant l'Heli al túnel del LHC. Tot i això la pressió augmentava més que disminuïa, de forma que les grans forces van separar els dipols dels subsectors del costat, arrancant els seus ancoratges del formigó del túnel i danyant les connexions.

Es van alliberar ràpidament 2 t d'Heli i 4 t més abans que es restaurés l'electricitat per poder controlar les vàlvules criogèniques, és a dir, 6 t de les 15 t d'Heli totals.



Avaria del LHC

http://www.drngen.com.ar/2009/12/lhc-imagenes/103_00811007/



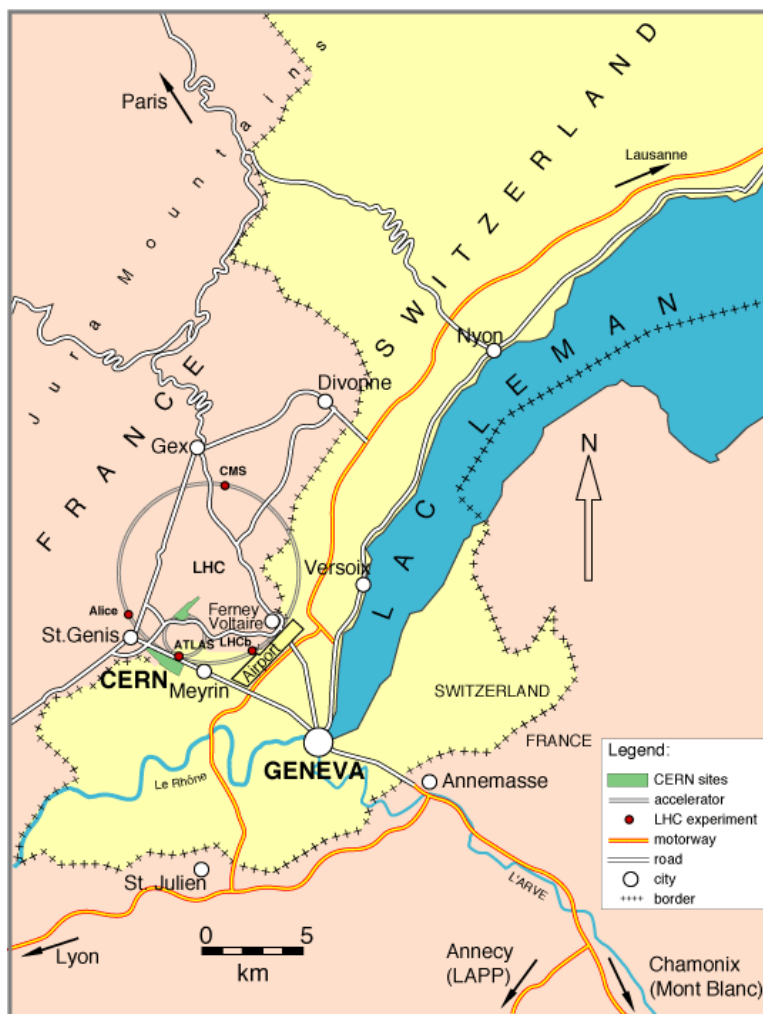
Últimes preparacions per implantar un dels imants substituïts

<http://www.agenciasinc.es/Noticias/El-LHC-volvera-a-funcionar-en-el-verano-de-2009>

5. CERN

El CERN o Organització Europea per a la Recerca Nuclear és una institució on treballen més de 10.000 científics i enginyers de 100 països que col·laboren per estudiar les partícules fonamentals de la matèria i comprendre l'estructura de l'Univers.

Aquesta organització fundada el 1954, es troba a la frontera Franco-Suïssa, al costat de Ginebra, i conté l'accelerador de partícules més gran de tot el món, el LHC que mesura 27,3 km de circumferència.



Mapa polític CERN

<http://losmundosdebrana.wordpress.com/2013/04/17/ernest-lawrence-y-los-inicios-de-la-gran-ciencia-i-los-muchachos-del-rad-lab/>

5.1 HISTÒRIA

- Al desembre de 1939, després de la Segona Guerra Mundial, els científics de tota Europa havien deixat de col·laborar internacionalment. Alguns científics francesos, italians i fins i tot Niels Bohr a Dinamarca, van proposar de fer un laboratori de física atòmica a escala europea.

El 9 de Desembre el físic francès Louis de Broglie va fer la primera proposta oficial per crear un laboratori europeu a la Conferència Cultural Europea, reunida a Lausana (Suïssa). Més endavant, a la 5a Conferència General de la UNESCO a Florència (Itàlia), el físic americà Isidor Rabi va proposar la creació de laboratoris d'investigació que cooperessin internacionalment.



De Broglie

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1929/broglie-bio.html

Isidor Rabi



http://es.wikipedia.org/wiki/Isidor_Isaac_Rabi

Finalment, quan la UNESCO es va reunir a París el 1951, es va establir un consell provisional anomenat Consell Europeu per a la Recerca Nuclear, signat per 11 Estats membres.

- El 1952, a la tercera reunió d'aquest consell provisional es va escollir per referèndum on estaria aquest laboratori Europeu i va guanyar Ginebra. El 17 de maig de 1954 van començar la construcció del CERN.
- A la sisena sessió del CERN al juny de 1953 a París, es va firmar la convenció pels 12 Estats membres fundadors que la van anar ratificant. El 29 de setembre de 1954 es va crear oficialment l'Organització Europea per a la Recerca Nuclear, tot i que va mantenir les sigles CERN. Aquests Estats Fundadors eren: Bèlgica, Dinamarca, França, la República Federal Alemanya, Grècia, Itàlia, Països Baixos, Noruega, Suïssa, Suècia, Regne Unit i Iugoslàvia.
- El 1957, el primer accelerador del CERN, el Sincro-Ciclotró (SC) es va posar en funcionament per estudiar la física nuclear i de partícules; amb energies de 600 MeV. A partir de 1964 es va concentrar només a la física nuclear, ja que es va estrenar un nou accelerador per a la física de partícules.
- L'any 1967, va treballar conjuntament amb ISOLDE, un separador de massa d'ions per investigar en física nuclear, astrofísica i medicina. El 1990 ISOLDE va començar a treballar amb un altre accelerador i el SC va deixar de funcionar després de 33 anys.

- Al Novembre de 1959 el Protó Sincrotró (PS) va accelerar protons per primer cop, amb una energia de 28 GeV convertint-se en l'accelerador més potent en aquell temps.

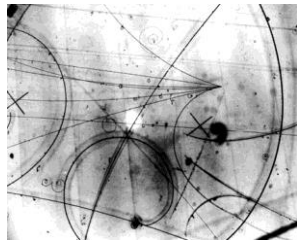
Es va dedicar a estudiar la física de partícules i després de 1970 el PS va començar a subministrar partícules pre-accelerades per als nous acceleradors.



Protó Sincrotró (PS)

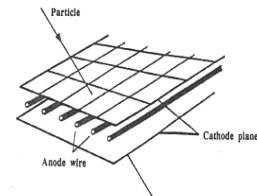
<http://home.web.cern.ch/about/accelerators/proton-synchrotron>

- El 1965 es van fer les primeres observacions de nuclis d'antimatèria, concretament antideuteró, format per un antiprotó i un antineutró. Aquestes partícules es van observar simultàniament al CERN i a l'accelerador de Brookhaven, Nova York. Totes aquestes observacions es feien en cambres de bombolles i s'examinaven les fotografies manualment, fins que el 1968 Georges Charpack, del CERN, va inventar els detectors elèctrics anomenats "cambra proporcional de multi fils", que consistien en una cambra plena de gas amb molts cables detectors paral·lels connectats a amplificadors individuals que permetien observar coses molt més petites, i aquests, connectats a un ordinador. Charpack va guanyar el Premi Nobel el 1992 per aquest invent que va permetre examinar els resultats dels experiments mil cops més ràpid.



Cambra de bombolles

<http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/profesores/prof32.html>



Cambra proporcional de multifils

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1992/press.html

- Aprovat l'any 1965 i construït al 1971, els Anells d'Emmagatzematge Interseccionats (ISR) es van posar en funcionament, ja que els físics van descobrir que si dues partícules xocaven de front, assolirien molta més energia que una partícula xocant contra un blanc fix. De forma que es va començar a utilitzar el PS per accelerar els protons que s'enviarien al ISR per fer-los xocar de front. Després de 13 anys, el 1984 va deixar de funcionar i els físics es van centrar en un altre accelerador.
- El 1971 es va aprovar la construcció del Súper Protó-Sincrotró (SPS) de 7 km de circumferència a 40 m de profunditat, el primer accelerador gegantí que es va construir al CERN i el primer que va creuar la frontera França-Suïssa, dissenyat per treballar a 300 GeV. Es va posar en funcionament al 400 GeV gràcies a les millores que es van desenvolupar durant la seva construcció, actualment treballa a 450 GeV i està format per 1317 electroimants convencionals.

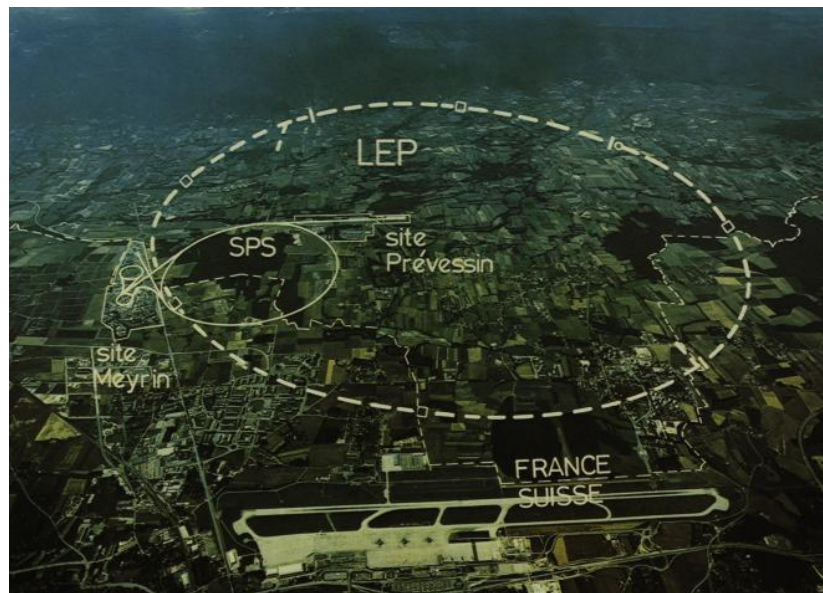
Aquest accelerador s'ha utilitzat per investigar l'antimatèria, l'estructura dels protons, la matèria exòtica, els primers instants de l'Univers, etc. El 1981, el SPS va fer les primeres col·lisions protó-antiprotó, gràcies a una nova tecnologia anomenada refredament estocàstic, i el 1983 es van descobrir els camps dels bosons W i Z, de la força nuclear feble.



Súper Protó Sincrotró (SPS)

<http://home.web.cern.ch/about/accelerators/super-proton-synchrotron>

- L'any 1986 van començar a utilitzar ions pesats com a partícules per demostrar la teoria del plasma de quarks-gluons (la sopa de partícules elementals) que va existir entre 20 i 30 ms després del Big Bang, que es va descobrir completament el 2000.
- El 1988 va acabar la construcció del túnel del nou accelerador que substituïria als Anells d'Emmagatzematge, el Gran Col·lisionador Electrò-Positró (LEP), de 27 km de circumferència. Aquest accelerador estava format per 5176 imants i 128 cambres d'acceleració i enviava partícules als detectors ALEPH, DELPHI, L3 i OPAL.



Esquema de l'accelerador LEP sobre la fotografia de la superfície

<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/history/lep-e.html>

Es va estrenar el 1989 i funcionava a 100 GeV, quan es va millorar amb 288 cambres d'acceleració superconductores va arribar als 209 GeV. Aquest accelerador va estudiar la força electrodèbil i altres teories com que únicament hi havia 3 famílies de partícules. Va ser tancat l'any 2000, per construir el LHC.

- Al Nadal de 1990 es va obrir públicament al món la primera pàgina web després de definir els seus components principals: URL, http, html i un buscador. Aquesta primera pàgina web era: Info.cern.ch. El 1994 es va aprovar la construcció del LHC.

- El 1995 es van crear àtoms d'antihidrogen per primer cop, a l'Anell d'Antiprotons de Baixa Energia (LEAR), cada àtom amb una vida de 40 mil milionèsimes de segon abans d'anihilar-se. Dos anys més tard es va tancar aquest anell per la construcció del LHC, però com els físics que estudiaven l'antimatèria volien continuar investigant, es va construir el Descelerador d'Antiprotons (AD).



Anell d'Antiprotons de Baixa Energia (LEAR)

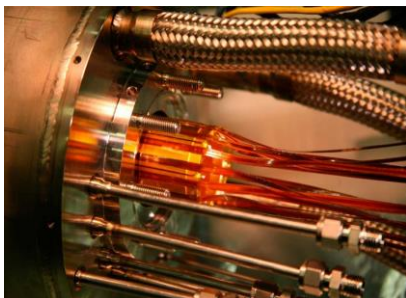
<http://cds.cern.ch/record/749051>



Descelerador d'antiprotons (AD)

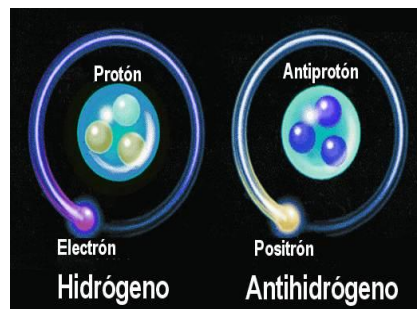
<http://home.web.cern.ch/about/accelerators/antiproton-decelerator>

- El 1997 es van aprovar els experiments CMS i ATLAS per investigar la naturalesa de la matèria, les seves forces i el bosó de Higgs. Al mes següent, es va aprovar l'experiment ALICE, on anteriorment hi havia el L3, per estudiar el plasma de quarks-gluons. A l'any següent es va aprovar el quart experiment, el LHCb, per estudiar la violació de la simetria, és a dir, perquè la matèria va guanyar a l'antimatèria.
- El 10 de setembre de 2008, el primer feix de protons va accelerar-se al LHC, el nou accelerador de 27,3 km de circumferència que va aprofitar el túnel de l'antic LEP. Dedicat a estudiar la matèria fosca, la massa, els primers instants de l'Univers, la simetria, etc. El dia 19 d'aquell mateix mes es va produir una avaria que hem explicat al punt d'accidents de l'apartat anterior. A l'abril del 2009, l'últim dels 53 imants fets malbé va ser instal·lat i el LHC es va tornar a posar en funcionament.
- L'any 2011, el detector ALPHA va aconseguir atrapar 300 àtoms d'antihidrogen durant 1000 s, cosa que els va permetre estudiar-los detalladament i dibuixar-los mitjançant un làser o microones per comparar-los amb l'hidrogen. Aquell mateix any es va donar a conèixer que s'apropaven al descobriment del bosó de Higgs, ja que tant ATLAS com CMS suposaven que el bosó tindria una massa d'uns 120 GeV.



Detector ALPHA

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/alpha>



Àtoms d'Hidrogen i Antihidrogen, aquest últim estudiat al detector ALPHA al 2011

<http://www.educacioncontracorriente.org/secciones/ciencia/19852-diferencia-entre-los-atomos-del-hidrogeno-y-el-antihidrogeno-abriendo-ventanas-a-la-fisica>

- El 4 de juliol del 2012 els dos experiments van mostrar una nova partícula de 125 GeV i la van identificar com el Bosó de Higgs, també coneguda com "la partícula de Déu", cosa que va portar molta polèmica amb l'Església. A finals del 2012, el LHC va fer una parada prevista de 20 mesos per augmentar la seva energia de 8 TeV a 14 TeV, s'ha anunciat que es posarà en funcionament al gener del 2015 amb una energia inicial de 13 TeV i es preveu que treballarà amb aquesta energia almenys fins al 2035.

JUEVES, 5 DE JULIO DE 2012

El Vaticano se defiende del Boson de Higgs

A la pregunta de si el descubrimiento del principio de la materia contradice los fundamentos de la Iglesia Católica, responden que detrás del Boson de Higgs esta Dios y se quedan tan panchos.

Pues claro que está Dios, queridos y falsos pastores, pero no el dios que vosotros siempre habéis defendido.

<http://jerarquiacatolica.blogspot.com.es/2012/07/el-vaticano-se-defiende-del-boson-de.html>

EL PAÍS PORTADA INTERNACIONAL PO

SOCIEDAD

EDUCACIÓN SALUD CIENCIA MEDIO AMBIENTE IGUALDAD CONSUMO COMUNICACIÓN

ESTÁ PASANDO La epidemia del ébola Homofobia Acoso escolar Reforma del abo

"El bosón de Higgs no tiene nada que ver con Dios"

- El director del CERN, Rolf-Dieter Heuer, defiende en Dublín la prudencia con que se anunció el hallazgo de la nueva partícula que podría ser el Higgs
- ¡La partícula de Higgs por fin!

http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/07/13/actualidad/1342192994_926891.html

LAVANGUARDIA Ciencia
Viernes, 9 de enero 2015 Ediciones Quiero

Portada Internacional Política Economía Sucesos Opinión Deportes Vida Tecnología

ES Magazine Món Barcelona Ciencia Sanidad Salud Bienestar Qué estudiar Natur

Higgs asegura que "no hay conflicto entre el Dios creador y lo que se ha descubierto del Universo"

"Es perfectamente posible tener creencias religiosas y ser a la vez científico", ha dicho el físico escocés, uno de los galardonados con el Príncipe de Asturias

<http://www.lavanguardia.com/ciencia/20131024/54391625338/higgs-asegura-no-conflicto-dios-creador-descubierto-universo.html>

Titulars que mostren les controvèrsies entre el Bosó de Higgs i l'Església

5.2 ACCELERADORS DEL CERN

Tot el procés comença amb una ampolla d'hidrogen que injecta uns quants àtoms dintre de l'accelerador Linac2 (antigament era el Linac1 i el 2017 s'obrirà el Linac4). Abans d'accelerar-los s'aplica un camp magnètic per separar els electrons, de forma que només queden els protons que circulen pel Linac2 a una energia de 50 MeV, accelerant-los com he explicat abans, amb cavitats de radiofreqüències i camps elèctrics alterns. Al guanyar velocitat i energia, els protons augmenten un 5% la seva massa. A més els imants quadripolars comprimeixen els protons per formar un feix.



Ampolla d'Hydrogen

<http://flickrhivemind.net/Tags/cern,linac/Interesting>



Linac2

<http://linac2.web.cern.ch/linac2/>

Quan arriben al final del Linac2 entren en l'Amplificador Protó Síncrotró (BPS), que està format per 4 síncrotrons superposats. La seva funció és accelerar els protons fins que tenen una energia de 1.4 GeV per enviar-los al Protó Síncrotró (PS). Abans de 1972, els feixos passaven directament del Linac2 al PS on s'acceleraven fins a 26 GeV, però com portaven una energia de 50 MeV, el nombre de feixos simultanis que podien entrar al PS era molt limitat; amb el BPS aquest nombre de feixos va augmentar 100 cops.

Els protons provinents de BPS, entren al Protó Síncrotró (PS), antigament l'accelerador principal del CERN, on són accelerats fins als 25 GeV d'energia. El PS té una circumferència de 628 m i 277 imants convencionals, 100 dels quals són els dipols que s'encarreguen de corbar el feix. Aquest síncrotró ha accelerat, des que està en funcionament: protons, partícules alfa, nuclis d'oxigen i sofre, electrons, positrons i antiprotons.



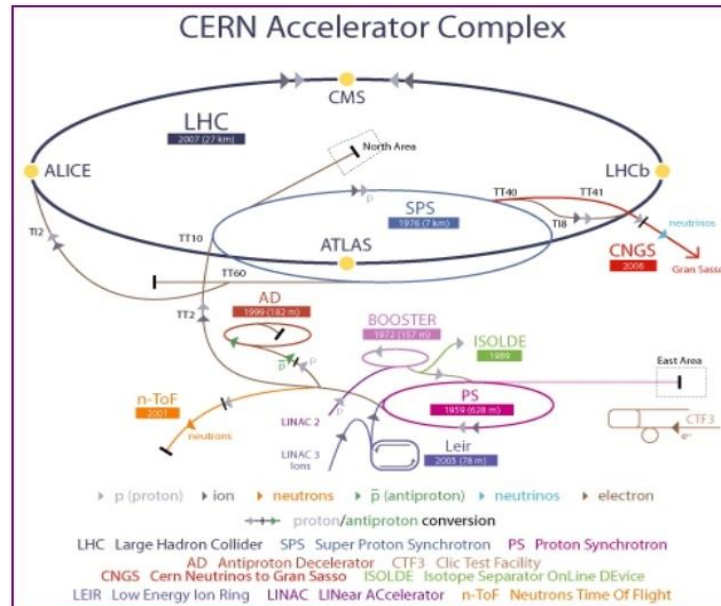
Amplificador Protó Síncrotró (BPS)

<http://www.lhc-facts.ch/index.php?page=psb>

Després del PS passen al segon accelerador més gran del CERN, el Súper Protó Síncrotró (SPS) de 7 km de circumferència que subministra partícules al LHC i als experiments NA61/SHINE, NA62, COMPASS i el projecte CNGS. A més va ser al SPS on es van descobrir els bosons de la força nuclear dèbil, Z i W. En aquest accelerador s'assoleixen energies de 450 GeV amb 1317 electroimants, 744 dels quals són els dipols encarregats de corbar la seva trajectòria.

Després del SPS els feixos de protons passen al major i més potent accelerador construït en el món, el Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC) amb 27,3 km de circumferència a 100 m sota terra. El LHC s'omple de protons durant 4 minuts i 20 segons, després aquestes partícules s'acceleraven fins al 4 TeV (teraelectró-volt) durant 20 minuts i estan 10 hores al dia donant voltes, una meitat dels feixos en sentit de les agulles del rellotge i l'altre a la inversa. Els dos tubs per on circulen els protons en les dues direccions, es creuen en 4 punts de la circumferència, on hi ha els 4 detectors (ALICE, ATLAS, CMS i LHCb) i en cada col·lisió s'assoleixen energies de 8 TeV.

Aquest accelerador té grans imants superconductors que necessiten estar a una temperatura de -271°C i per dins del tub ha d'haver-hi un "buit ultra-alt", perquè res interaccioni amb els protons. Tots aquests fenòmens i la forma de com aconseguir-los els explicaré a l'apartat d'enginyeria.

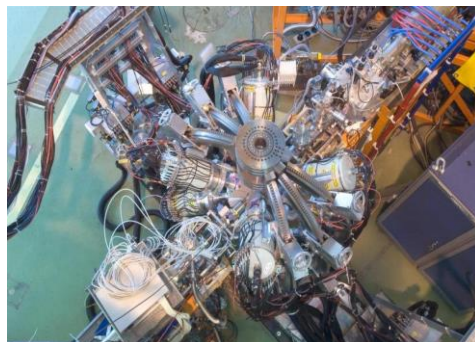


Esquema del complex d'acceleradors del CERN
<http://te-dep-epc.web.cern.ch/te-dep-epc/machines/general.stm>

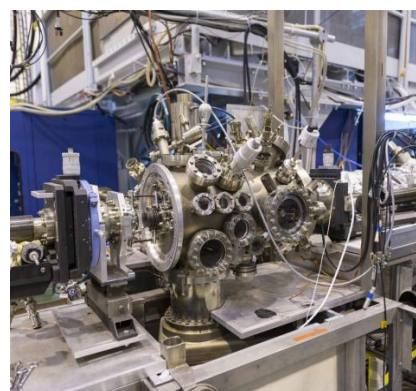
A part d'aquests 5 acceleradors que ja he explicat, hi ha altres acceleradors que es deriven d'aquests cinc i realitzen experiments de menor grau. Aquests altres acceleradors els explicaré a continuació:

El Descelerador d'Antiprotons (AD) s'utilitza per investigar àtoms d'antimatèria a baixes energies. Els protons que provenen del PS xoquen contra un gran bloc de metall i emeten energies tan elevades que són suficients per formar un parell protó-antiprotó de cada milió de col·lisions. Aquests antiprotons es mouen propers a la velocitat de la llum i aleatòriament, de forma que el AD els ha de "condicionar". Amb grans imants s'aconsegueixen centrar i ajuntar tots els antiprotons i amb un camp elèctric molt potents se'ls frena. Més endavant passen pel mig d'un núvol d'electrons. Aquesta tècnica se l'anomena "refrigeració" i serveix per reduir el moviment lateral dels antiprotons i evitar la pèrdua d'energia. Quan aquestes antipartícules es troben al 10% de la velocitat de la llum poden sortir del AD cap als experiments. Tot aquest procés tarda més o menys un minut. Els experiments que es realitzen amb antiprotons són: ATRAPS, ATHENA, AEGIS, ALPHA, ASACUSA i ACE; que els veurem en un altre apartat.

La Instal·lació del Separador de Massa dels Isòtops en Línia (ISOLDE), utilitza feixos de nuclis radioactius de baixa energia, és a dir, aquells nuclis amb una determinada quantitat de neutrons que fan que siguin radioactius. Agafen un feix de protons d'alta energia del PSB que xoquen contra un blanc molt gruixut i produeixen una gran varietat de fragments nuclears, que més endavant s'ionitzaran a baixa energia per fer diferents experiments. Durant 45 anys s'han utilitzat més de 700 isòtops de 70 elements diferents i cada any es realitzen uns 50 experiments.



Instal·lació del Separador de Massa
<http://te-dep-epc.web.cern.ch/te-dep-epc/machines/general.stm>



ISOLDE
<http://isolde.web.cern.ch/>

El projecte CNGS o CERN Neutrins al Gran Sasso agafa els protons del SPS i fa que xoquin contra un bloc de grafit, en aquesta col·lisió es formen kaons i pions que amb dos lents magnètiques són reconduïdes cap a les instal·lacions del Laboratori Nacional del Gran Sasso a Itàlia a 732 km.

Aquests dos tipus de partícules viatgen a través d'un túnel d'1km abans d'endinsar-se en la roca. En aquest túnel els pions i kaons decauen en muons i aquests en neutrins muònics. Al final del túnel hi ha un bloc de grafit de 18 m de grossor que absorbeix els protons, pions i kaons que no han decaïgut. Els muons que tampoc ho han fet es paren per la mateixa roca i els neutrins continuen el seu viatge fins a Itàlia, ja que no interaccionen amb gairebé res. Al Gran Sasso s'investiga si aquests neutrins muònics poden decaure en muons taònics al travessar matèria, gràcies a un fenomen que s'anomena "oscil·lacions", a causa de la baixa massa dels neutrins.



Secció del LHC

<http://www.v3.co.uk/v3-uk/news/2183178/cern-confirms-error-faster-light-results>



Mapa distància CERN- Gran Sasso

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/27900>

Els dos últims acceleradors també s'encarreguen de subministrar partícules al LHC, però no protons sinó ions de plom. El primer accelerador és el Linac3, que com tots els acceleradors lineals està format per tubs conductors amb camps elèctrics alterns i també té imants per mantenir els protons junts en un feix. A més, a mesura que s'acceleren els ions els electrons són arrencats, ja que és molt més fàcil accelerar nuclis que ions sencers. El Linac3 consumeix 500 mg de plom cada dues setmanes i es preveu que funcionarà fins al 2022.

El segon d'aquests acceleradors, és l'Anell de Ions de Baixa Energia (LEIR), on van a parar els ions de plom del Linac3. El LEIR divideix cada feix de ions del Linac3 en 4 feixos més petits de 220 milions de ions cada un, que s'acceleren de dos en dos de 4,2 MeV fins a 72 MeV, en 2,5 segons. Després d'això passen al PS, al SPS i finalment al LHC. El LHC utilitza 592 feixos petits de ions, de forma que el LEIR tarda 10 min a subministrar-li. Anteriorment al 1993 hi havia el LEAR, que en lloc de ions, accelerava Antiprotons, però més endavant es va construir el Descelerador d'Antiprotons, de forma que el LEAR es va convertir en el LEIR.

5.3 EXPERIMENTS I DETECTORS

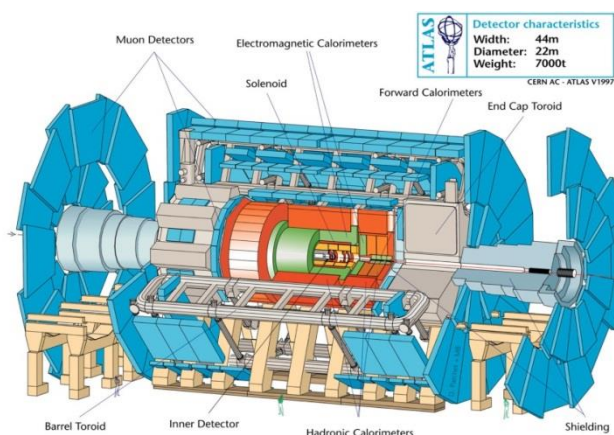
A continuació explicaré els principals experiments que es realitzen al LHC i als altres acceleradors que he explicat, i que donem nom als detectors que utilitzen.

5.3.1 Experiments del LHC

Hi ha 4 grans experiments: ATLAS, ALICE, CMS i LHCb i tres experiments més petits: TOTEM, LHCf i MoEDAL:

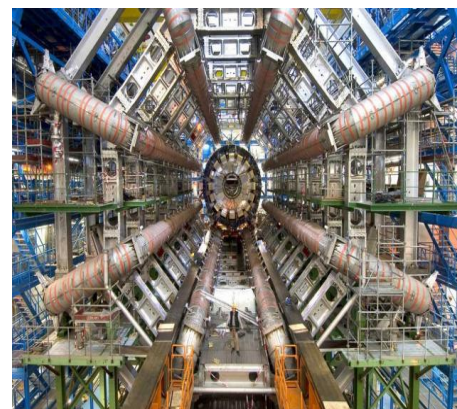
- ATLAS (Aparell Toroïdal del LHC): no té un objectiu exacte sinó que investiga un ampli camp de la física des del bosó de Higgs fins a la matèria fosca o dimensions paral·leles. Té sis capes de detectors diferents per identificar la trajectòria de les partícules i la seva energia. A més hi ha un sistema magnètic format per 8 bobines superconductores de 25 m de llargada que corba les partícules per poder esbrinar el seu moment.

Aquest detector de 25 m d'amplada, 25 d'alçada i 46 de llarg, de 7000 tones, es troba sota el poble de Meyrin (Suïssa) i hi treballen més de 3000 científics.



Esquema del detector ATLAS

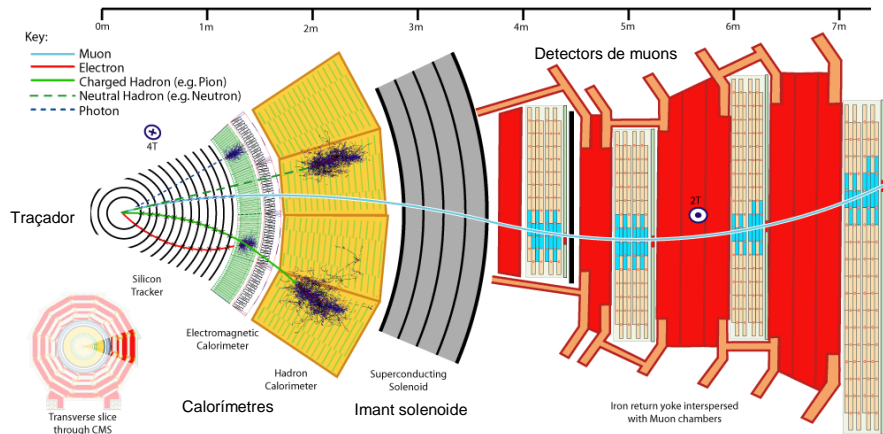
<http://scipp.ucsc.edu/personnel/atlas.html>



Secció del detector ATLAS on s'aprecien els 8 toroides externs

<http://www.i-cpan.es/atlas.php>

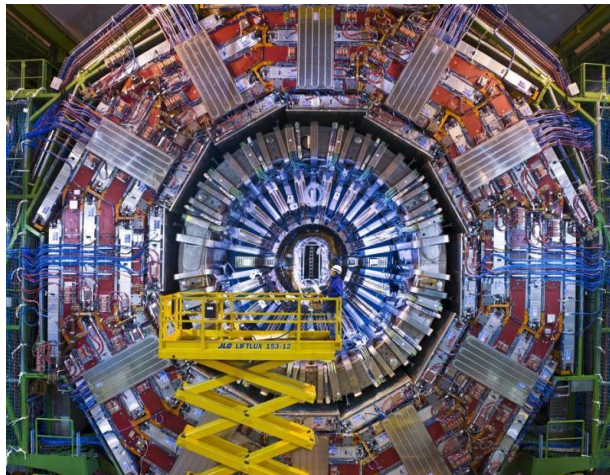
- El detector intern (*inner detector*) traça la trajectòria de les partícules per esbrinar quines són.
 - El calorímetre electromagnètic absorbeix i mesura l'energia de les partícules amb càrrega i fotons. Està fet de plom i acer inoxidable.
 - El calorímetre hadrònic mesura l'energia dels hadrons que travessen el calorímetre electromagnètic. Està fet d'acer i refrigerat amb argó.
 - Els detectors de muons, la part més externa, mesura el moment dels muons corbant la seva trajectòria.
 - El solenoide produeix un camp al voltant del detector intern de 2 T per mesurar el moment de les partícules més energètiques.
 - Els 8 toroides (bobines) externs creen un camp magnètic pels detectors de muons i els calorímetres.
- CMS (Solenoid Compacte de Muons): té els mateixos objectius generals que l'ATLAS però utilitza procediments diferents. El CMS està format principalment per un solenoide que forma una gran bobina superconductora cilíndrica que fa un camp magnètic de 4 T (100.000 el camp magnètic de la Terra). Aquest detector mesura 15x15 m i 21 m de llarg i pesa 12.500 t. a diferència dels altres detectors, va ser construït a terra, dividit en 15 seccions i ajustat sota terra.



Esquema de l'interior del detector CMS

<http://www.lhc-closer.es/1/5/8/0>

- Traçador: 10 milions de barres i 60 milions de píxels de silici tracen el recorregut i la desintegració de les partícules. És la 1a capa.
- Calorímetres electromagnètics i hadrònics (2a i 3a capa): el primer, fet de plom mesura l'energia d'electrons i fotons i el segon, de bronze i acer, mesura l'energia dels hadrons.
- Imant solenoide: fet de Niobi i Titani i refrigerat amb Heli líquid forma un camp magnètic de 3,8 T mesura la massa i la càrrega de les partícules estudiant la seva trajectòria.
- Detectors de muons: detecten els muons i mesuren la seva quantitat de moviment.



Alçat del CMS

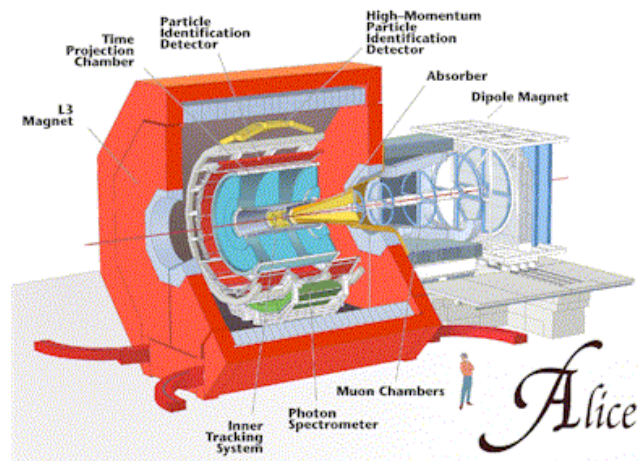
<http://motts.blogspot.com.es/2011/10/cms-sees-susy-like-trilepton-excesses.html>

- ALICE (Un Gran Experiment de Col·lisió de Ions): és un gran detector de ions encarregat d'estudiar la matèria que interactua a grans densitats i energies, és a dir, el plasma de quarks-gluons format després del Big Bang. L'objectiu d'aquest experiment, on s'assoleixen temperatures 100.000 cops majors que al centre del Sol amb els xocs dels ions de plom que permet als quarks separar-se i alliberar-se de la força nuclear forta, és estudiar si es poden trobar quarks individuals, com es

comporta la matèria a aquestes temperatures, perquè els protons pesen 100 cops més que la suma del pes dels seus quarks, etc.

ALICE mesura 16x16 m i 26 m de llarg i pesa 10.000 t. està situada sota el poble de St. Genis-Puilly (França) i hi treballen més de 1000 persones.

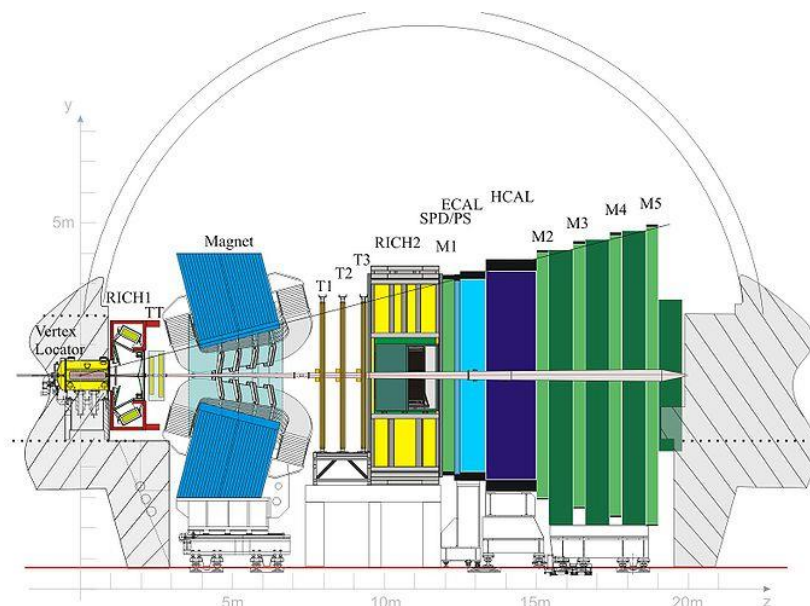
Com els altres dos detectors ALICE té les cambres de muons i fotons però té un component exclusiu que és la Cambra de Projecció Temporal (TPC), explicada al capítol anterior, que rastreja les partícules i els punts d'interacció i també proporciona informació dels moments i dels vèrtexs de les col·lisions.



Esquema detector Alice

<http://jpodmodernphysics.yolasite.com/detectors.php>

- LHCb (Gran Col·lisionador d'Hadrons *beauty*): aquest detector investiga perquè no hi ha antimatèria i les diferències entre aquesta i la matèria normal, és a dir, la violació de la simetria, i per fer això estudia principalment el quark Bottom, també anomenat *beauty*.



Esquema del detector LHCb

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

- El Vèrtex central s'encarrega d'estudiar les trajectòries de les partícules.
- El RICH1 identifica les partícules amb moments baixos i el RICH2 les partícules de moments alts.
- T1,T2 i T3 són detectors fets amb silici que gràcies al camp magnètic proporcionat per l'ímant, reconstrueixen la trajectòria de les partícules i enregistren els seus moments.
- Els calorímetres electromagnètics (blau cian) i hadrònics (blau fosc) mesuren l'energia dels electrons, fotons i hadrons.
- Les M (verd) identifiquen els muons.

La principal característica d'aquest detector és que no té forma de "ceba" com els altres tres, és a dir, en els altres tres experiments els detectors formen capes un a sobre de l'altre, en canvi en aquest experiment, els detectors van un rere l'altre, en sèrie amb una longitud total de 20 m. Aquest detector pesa 5.600 t, està situat sota el poble de Ferney-Voltaire (França) i hi treballen sobre 700 científics.

Els tres experiments més petits els explicaré breument a continuació:

- TOTEM: utilitza 8 detectors principals localitzats en parelles i repartits en 4 punts, abans i després, del detector CMS. Mesura la massa i la forma dels protons amb les variacions de la seva energia i altres coses que no es poden mesurar als detectors més generals, per complementar a les mesures del CMS.
- LHCf: Aquest experiment utilitza les partícules projectades en línia recta (pions) per les col·lisions que es produeixen al ATLAS per simular els raigs còsmics i poder estudiar les cascades de partícules que es formen i així poder millorar els experiments amb raigs còsmics reals; està format per dos detectors de 40 kg a 140 metres abans i després de ATLAS.
- MoEDAL: l'objectiu d'aquest experiment és trobar una nova partícula amb càrrega magnètica que s'ha anomenat "monopol magnètic" així com partícules massives estables altament ionitzades. Aquest detector està format per 400 detectors nuclears de traces, cada un d'aquests formats per 10 làmines de plàstic, actuen com una pel·lícula fotogràfica al voltant del vèrtex del LHCb, si aquesta nova partícula existeix, deixarà un forat totalment recte a les 10 làmines de plàstic d'un dels detectors.

5.3.2 EXPERIMENTS FORA DEL LHC

Els experiments que es realitzen en els altres acceleradors impacten contra un blanc fix que pot ser sòlid, líquid o gas i que sovint serveix de detector també. A continuació resumiré breument els experiments que es fan a cada accelerador.

- Súper Protó Sincrotró:

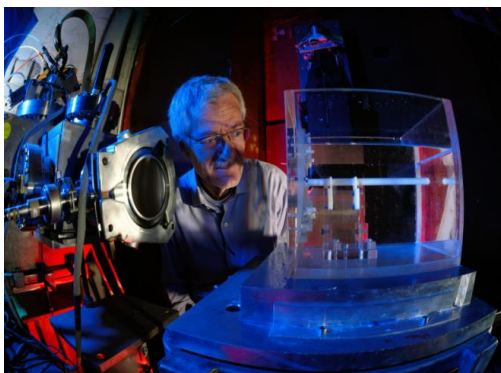
- COMPASS (Aparell Comú per l'Estructura i Espectroscòpia dels Muons i Protons) investiga l'estructura dels hadrons i estudia els quarks i gluons.
- NA61: investiga les propietats dels hadrons que es formen quan xoquen diferents partícules (protons, ions, pions).
- NA62: amb les col·lisions de protons contra un blanc de beril·li s'estudia la probabilitat que els kaons decaiguin en pions i aquests en neutrins.

- Protó Sincrotró:

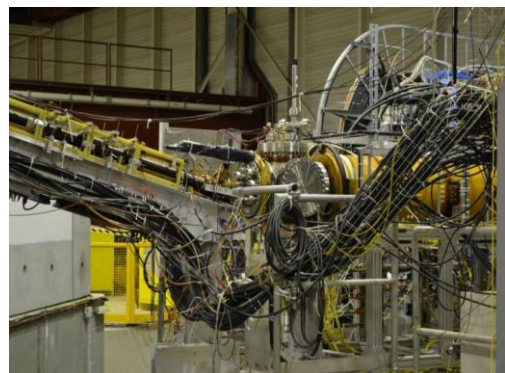
- DIRAC: investiga la força nuclear forta estudiant el decaïment d'àtoms de pions, formats per un pió positiu i un negatiu.
- CLOUD: investiga la relació entre els raigs còsmics i la formació de núvols i el clima, fent passar raigs còsmics per una cambra de boira

- Descelerador d'Antiprotons:

- ACE (Experiment de Cèl·lules d'Antiprotons): estudia l'impacte dels antiprotons al xocar amb cèl·lules d'hàmmster, que es podria utilitzar per destruir les cèl·lules cancerígenes amb l'energia que es desprèn.
- AEGIS (Experiment d'Antihidrogen: Gravetat, Interferometria i Espectroscòpia): utilitza àtoms d'antihidrogen per estudiar la força de la gravetat entre la Terra i l'antimatèria.
- ALPHA: combina antiprotons i antielectrons per formar àtoms d'antihidrogen i poder estudiar-los i comparar-los amb l'hidrogen normal. Es van aconseguir atrapar aquests antiàtoms durant 1000 s (16 min).
- ASACUSA (Espectroscòpia Atòmica i Col·lisions Utilitzant Antiprotons Lents): estudia les simetries i interaccions entre matèria i antimatèria.
- ATRAP (Trampa d'Antihidrogen): compara l'antihidrogen amb l'hidrogen normal, igual que ALPHA, refredant aquests àtoms perquè puguin ser estudiats.



Experiment de Cèl·lules d'Antiprotons (ACE)
<http://home.web.cern.ch/about/experiments/ace>



Trampa d'antihidrogen (ATRAP)
<http://home.web.cern.ch/about/experiments/atrap>

5.4 ENGINYERIA

El LHC és la màquina més gran del món, formada per quilòmetres de bobines i milers d'electroimants. A més, és el telescopi més potent del món, ja que permet observar coses tan llunyanes com la creació de l'Univers i a la vegada és el microscopi més potent, perquè permet observar partícules de la mida d'un quark. A part d'això, és un dels llocs més freds de l'Univers perquè treballa a temperatures de -271°C i a la vegada és el lloc més calent de l'Univers, ja que les col·lisions arriben a temperatures 100.000 majors que al centre del Sol.

Totes aquestes gestes i algunes més són gràcies a tots els enginyers i científics que treballen i col·laboren, de forma que a continuació explicaré la tecnologia necessària per portar-los a terme:

5.4.1 Criogenització

El LHC és sistema de criogenització més gran del món, ja que els imants principals treballen a $1,9\text{ K}$ ($-271,3^{\circ}\text{C}$), més fred que l'espai exterior, que es troba a $2,7\text{ K}$.

Els imants del LHC treballen a $8,33\text{ T}$ de manera que necessiten un corrent d' 11.850 A circulant per les bobines. Per arribar a aquests voltatges i evitar sobreescalfaments, es fa servir el fenomen de la superconductivitat, que consisteix a refredar un material conductor fins que la seva resistència sigui mínima o gairebé nul·la.

El refredament criogènic tarda setmanes a completar-se i es divideix en tres fases: primer es refreda l'Heli a 80 K mitjançant 10.000 tones de nitrogen líquid, després es refreda a $4,5\text{ K}$ utilitzant turbines, s'injecta als grans electroimants i finalment es refreda de $4,5\text{ K}$ a $1,9\text{ K}$.



Sistema de refredament criogènic

S'utilitza Heli, ja que permet mantenir la temperatura a grans distàncies. A més, l'Heli té una propietat que si el refredem a $4,2\text{ K}$, es torna líquid però si el continuem refredant fins $2,17\text{ K}$ passa a un estat de líquid superfluid, que condueix la calor de forma excel·lent, per això s'utilitza.

5.4.2 Imants superconductors

Com he dit abans s'assoleixen camps magnètics de $8,4\text{ T}$ amb un corrent d' 11.850 A que circula per les bobines superconductores. Si no existís la superconductivitat, es necessitarien 120 km d'accelerador per igualar al LHC.

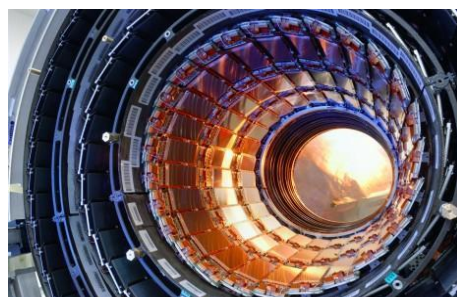
Hi ha dos tipus principals d'imants:

- Els imants de reixeta, s'encarreguen de corbar la trajectòria i alinear el feix de partícules. S'utilitzen 1232 imants dipolars, situats cada 15 m, que pesen 35 t, per corbar les trajectòries i els imants quadripolars per compactar el feix. A més, també hi ha imants sextupolars, octopolars i decapolars per corregir les petites imperfeccions dels camps magnètics dels dipols.
- Els imants d'inserció, estan al començament dels detectors i serveixen per compactar encara més el feix de partícules. Consisteixen en tres imants **quadripolars**, que s'anomena triplet interior. Al LHC hi ha 8 triplets interiors a l'inici dels 4 experiments ALICE, ATLAS, CMS i LHCb, que compacten el feix de 0,2 mm a 16 micròmetres de diàmetre. També hi ha dipols magnètics per corbar i estudiar les trajectòries de les partícules, disminuir la seva dispersió, reduir la seva intensitat per desfer-se de les partícules o evitar que les partícules toquin les parets del LHC.



Dipol magnètic

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/29723>



Electroimants

http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_Muon_Solenoid

5.4.3 Sistema de buit

El sistema de buit del LHC és un dels majors que existeixen, amb 104 km de longitud: 54 km pels dos tubs de 27 km del LHC i 50 km més de canonades exteriors. La seva característica principal és que està format per tres sistemes diferents: un per l'interior del LHC, tant buit com l'espai exterior, perquè les partícules no xoquin amb res mentre s'acceleren, amb una pressió entre 10^{-10} i 10^{-11} mbar; el segon per aïllar els imants refredats criogènicament i el tercer per aïllar la línia de distribució d'heli i que així no es filtri la temperatura ambient de les altres sales, aquests dos últims es troben a una pressió de 10^{-6} mbar.

Per fer aquest buit ultra-alt s'injecten criogènicament 9000 m³ de gas, que gràcies a les temperatures extremadament baixes de l'interior del LHC, el gas es condensa i s'adhereix a les parets del tub. Després de dues setmanes d'injectar gas s'assoleixen pressions de 10^{-10} mbar.



Sistema de buit

<http://www.lhc-closer.es/2/4/15/0>

A les sales a temperatura ambient s'utilitza un recobriment format per un aliatge de titani, zirconi i vanadi que absorbeix les molècules residuals quan s'escalfa. Els gasos que queden, com el metà o els gasos nobles s'extreuen amb bombes de ions.

A més, en aquestes sales es realitza "l'enfornat", que consisteix a escalfar tots els components a 300 °C per millorar la qualitat del buit, sempre lentament per poder regular les baixes pressions.

5.4.4 Superconductivitat

Aquesta fenomen va ser observat el 1911 per Heike Kamerlingh Onnes que va descobrir que el mercuri per sota de 4,2 K no ofereix resistència al pas de corrent.

La superconductivitat es caracteritza primer per no oferir resistència, de forma que no es dissipa energia amb l'efecte **Joule** i segon, si hi ha un camp magnètic bastant feble al voltant del superconductor, el camp no penetra en el material i es queda a la superfície, a això se l'anomena efecte Meissner.

Ni la física convencional ni la teoria quàntica elemental poden explicar el fenomen de la superconductivitat. El 1957. John Bardeen, Leon Cooper i John Schrieffer van explicar la superconductivitat segons els "parells d'electrons" de Cooper, és a dir, quan un electró es movia atreia els ions positius del metall que s'acumulaven en un punt i atreien l'electró següent, de forma que a temperatures molt baixes s'anul·lava la força d'interacció dels electrons. Aquesta teoria microscòpica de la superconductivitat s'anomena BCS, pels seus descobridors. El que la teoria no explica és la superconductivitat a "alta temperatura" d'alguns materials a 80 K.

A més, hi ha dos tipus de superconductivitat, segons el material: al primer tipus si s'aplica un camp magnètic suficientment gran, es trenca l'efecte Meissner i es perd la superconductivitat. Al segon tipus encara que s'apliquin camps magnètics intensos, existeix un estat no superconductor i superconductor simultàniament a dins del material de forma que permet la superconductivitat en presència de camps magnètics alts, com en els acceleradors de partícules.

5.4.5 Energia necessària

El CERN gasta 1,3 TWh (Terawats-hora) d'electricitat anualment, que equivaldria a mantenir el consum elèctric de 300.000 llars mitjanes del Regne Unit durant 1 any, o a 4.700 bilions de Joules cada any.

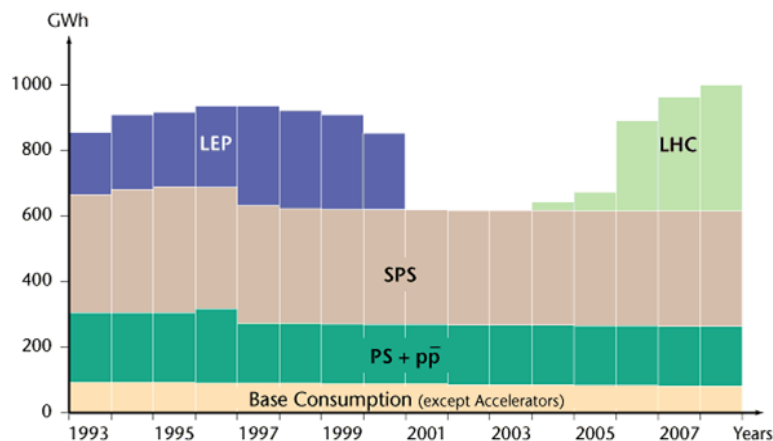
$$1,3 \text{ TWh} \cdot \frac{10^{12} \text{ W}}{1 \text{ TW}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4,68 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

Aquest consum no és sempre constant, ja que mentre funciona el LHC entre maig i mitjans de desembre, el consum arriba als 200 MW, en canvi durant l'hivern el consum cau a 80 MW.

Al principi l'electricitat provenia d'una subestació suïssa que portava l'energia on fos necessària i als anys 70 es va connectar una altra subestació francesa que forma part de la xarxa europea. Actualment la xarxa francesa subministra a tot el CERN però es conserva la primera com a seguretat.

En la subestació s'utilitzen cables de coure però es perd molta energia en el camí i més encara quan aquest cable es refreda a temperatures del LHC, properes al zero absolut, de forma que dins del LHC, s'utilitza un aliatge Niobi-Titani superconductor 100 cops millor conductor que el coure. Per reduir les pèrdues inicials al criogenitzar el coure, primer es refreda amb aigua.

Tot i això, l'energia que s'estalvia utilitzant la superconductivitat es perd en el sistema de criogenització necessari per permetre aquesta superconductivitat, de forma que s'està investigant sobre fer tota la xarxa, des de la subestació, de cables superconductors.

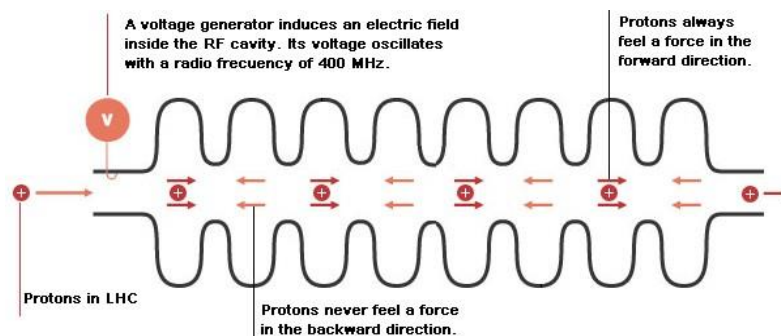


Consum elèctric CERN 1993-2008

<http://www.lhc-closer.es/2/4/7/3>

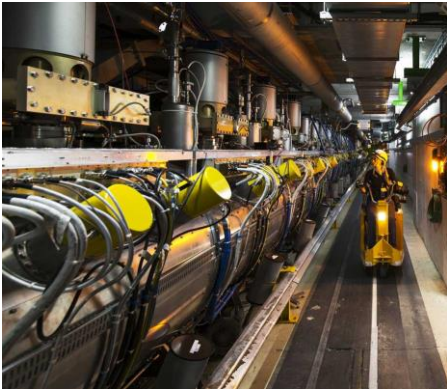
5.4.6 Cavitats de radiofreqüència

Les cavitats de radiofreqüència són cambres metàl·liques situades al voltant del tub del LHC, que contenen un generador que produeix un camp electromagnètic, que gràcies a l'estructura de la cambra s'amplifica. Aquest camp oscil·la a uns 400 MHz, de forma que si els protons anessin amb l'energia correcta, no experimentarien variacions, però si van a més o menys velocitats, es veuen frenats o accelerats per així compactar-se i formar un "bunch" (raïm).



Oscil·lacions del camp electromagnètic per accelerar els protons

<http://www.lhc-closer.es/2/4/7/2>



Exterior d'una cavitat de radiofreqüència (RF)

<http://science.portalhispanos.com/wordpress/2012/09/13/el-lhc-colisiona-protones-con-iones-pesados-por-primera-vez/>

Hi ha 16 cavitats de radiofreqüència, situades en 4 punts diferents, on hi ha uns refrigeradors gegants anomenats criomòduls, amb 2 cavitats per cada un dels dos tubs del LHC, on els protons guanyen l'energia necessària durant la seva acceleració de 450 GeV a 4 TeV, per així mantenir-se dintre del camp magnètic dels imants.

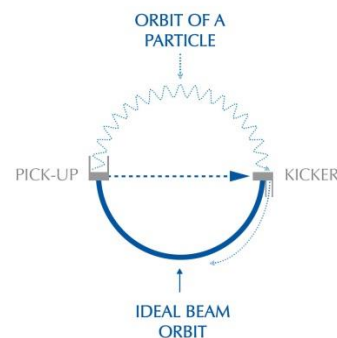
Aquestes energies les obtenen al cap de 15 min, després d'haver passat 1 milió de vegades per les cavitats. Gràcies a aquests criomòduls les cavitats treballen en estat de superconductivitat, per evitar pèrdues d'energia.

5.4.7 Refredament estocàstic

Aquesta tècnica va ser inventada per Simon van der Meer als anys 70, que consistia en compactar el feix augmentant la seva densitat per reduir el desordre i les oscil·lacions del feix. S'anomena refredament com a referència a la teoria cinètica dels gasos que diu que com menys temperatura tenen, menys energia cinètica i menys es mouen; eliminant aquests moviments involuntaris del feix també es redueix la pèrdua d'energia.

Aquest és un sistema de retroalimentació que té dos components: el detector de "recollida" (*pick-up*), que mesura la trajectòria de les partícules i la seva desviació, i envia un senyal al segon component, el "xutador" (*kicker*), que crea un camp elèctric per modificar la trajectòria i corregir les desviacions respecte al centre de gravetat.

Com el feix són un conjunt de partícules, normalment protons, individuals, el sistema no pot corregir totes les trajectòries a la vegada, de forma que es necessiten varies voltes fins que el feix es torna més fi i dens.



Esquema funcionament Refredament Estocàstic

<http://home.web.cern.ch/about/engineering/stochastic-cooling>

5.4.8 Computació

Al LHC es porten a terme 600 milions de col·lisions per segon i els detectors envien els resultats d'aquestes col·lisions com a senyals electrònics al Centre de Dades (DC) per reconstruir-les digitalment, però cada any es produeixen 30 PB (1000 TB o 10^{15} bytes) d'informació, que és impossible que els científics l'analitzin a la recerca de col·lisions peculiars.

Per això el 2002 van començar a utilitzar la computació Grid que es divideix en dues etapes, a la primera etapa es filtren els 600 milions de col·lisions per segon a 100.000 col·lisions, mitjançant una sèrie d'algoritmes que eliminen aquelles col·lisions comunes i familiars. La segona fase, més especialitzada, filtra aquestes 100.000 col·lisions i selecciona 100 o 200. Grid també permet compartir les grans quantitats de dades produïdes amb milers d'ordinadors al voltant de tot el món, que emmagatzemin dades i amb una comunitat de més de 8.000 físics perquè analitzin i processin les dades a temps real.

El Grid es divideix en 4 nivells, al DC està el nivell 0 que compta amb 11.000 servidors, 100.000 nuclis de processador i processa 1 PB de dades cada dia (equivalent a 210.000 DVDs). A més el Centre de Recerca de Física Wigner, a Budapest, ofereix 20.000 nuclis de processament més i una capacitat de 5,5 PB per ajudar al DC. Aquest nivell 0 que processa les dades, les transmet al nivell 1, format per 13 centres de computació, un d'ells a Espanya, connectats amb el CERN, amb la Xarxa Òptica Privada del LHC, que treballa a 10 GB de dades per segon. Aquest nivell 1 emmagatzema encara més dades que no es poden emmagatzemar al DC, les torna a processar i les envia al nivell 2, que està format per 155 membres, la majoria universitats o instituts científics, per exemple la Universitat de Barcelona rep dades del LHCb o la Universitat Autònoma de Madrid que rep dades de ATLAS. Finalment el nivell 3 correspon a científics individuals que poden observar i analitzar les col·lisions al seu propi ordinador, però aquest nivell no té relació amb la Xarxa Òptica Privada del LHC.



Centre de Dades del CERN

<http://home.web.cern.ch/about/computing>



Cables connectats a un detector

<http://home.web.cern.ch/about/computing/processing-what-record>

6. MÉS ENLLÀ DEL MODEL ESTÀNDARD

6.1 INCONVENIENTS DEL MODEL ESTÀNDARD

El model estàndard ens permet explicar molts fenòmens i interaccions a partir de 6 leptons, 6 quarks i les 4 forces, però també guarda molts misteris que encara no s'entenen, per exemple perquè no s'ha observat naturalment l'antimatèria, què és la matèria fosca, si els leptons i quarks són les partícules més fonamentals que hi ha o perquè hi ha tres famílies, etc.

A més, les dues raons més importants són: primer, la impossibilitat de descriure la gravetat, tot i ser la primera interacció que vam descobrir, ja fa més de 3 segles; i segon, el que s'anomenen els 19 paràmetres lliures, que corresponen a les masses, càrregues i intensitats relatives de totes les partícules del Model Estàndard, és a dir, experimentalment s'han esbrinat totes aquestes dades, però teòricament no tenen cap explicació.

Per això es parla avui dia que és necessària una altra teoria, una Gran Teoria Unificada que expliqui totes les interaccions a la vegada. El primer que va fer un pas en aquesta teoria va ser James Maxwell, en unificar l'electricitat i el magnetisme. Albert Einstein també va intentar buscar aquesta Teoria Final en els darrers anys de la seva vida, però no ho va aconseguir.

6.2 TEORIA DE CORDES

Els dos pilars bàsics de la física moderna són la Relativitat General, aplicable a objectes de grans masses i dimensions; i la Mecànica Quàntica, aplicable a objectes més petits que un àtom i de masses extremadament petites. A causa d'això, depenent del que volem estudiar, utilitzarem una o l'altra, ara bé, quan estudiem objectes molt petits però extremadament massius, com el Big Bang o el centre d'un forat negre, hem d'aplicar les dues teories, i aquí és quan deixen d'encaixar.

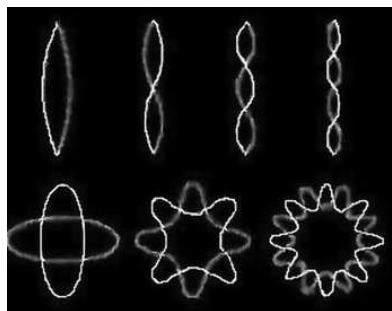
Segons la relativitat general, en absència de masses en grans distàncies, l'espai-temps presenta una estructura llisa i plana. En canvi, segons el **principi d'incertesa de Heisenberg**, a distàncies molt més petites, hi ha un frenesí i un caos d'ondulacions de l'espai-temps, batejat per John Wheeler com "escuma quàntica". S'ha de destacar, que a mesura que ens allunyem d'aquesta escuma, es va homogeneïtzant, de forma que l'acabem veient llisa, per això es pot aplicar la relativitat general a escales suficientment grans. Però per arribar a entendre la natura l'hem d'analitzar amb la màxima precisió que disposem, de forma que no podem ometre aquestes fluctuacions quàntiques que, tot i que costa imaginar, només es manifesten en escales de l'ordre de 10^{-35} m, el que s'anomena la *Longitud de Planck* (per fer-nos una idea, si agaféssim un àtom i l'ampliéssim a la mida de tot l'univers conegut, aquesta Longitud equivaldria a l'alçada d'un arbre).

Per unificar aquestes dues grans teories, es va crear la Teoria de les Supercordes, que essencialment diu que les partícules fonamentals de l'univers, en lloc de ser partícules puntuals, són uns filaments unidimensionals de mida la Longitud de Planck, que vibren i segons aquestes vibracions formen els diferents tipus de partícules (leptons, quarks, bosons). Aquesta teoria és més atractiva ja que permet explicar tot l'Univers a partir d'un sol tipus de partícula, les Supercordes, i no amb 16 partícules diferents, com diu el Model Estàndard.



Representació hipotètica de les Supercordes

<http://espaciociencia.com/teoria-11-dimensiones/supercuerdas/>



Formes de vibració de les Supercordes

<http://www.culturizame.es/preguntas/ciencia/que-son-las-supercuerdas>

La història de la teoria de cordes es remunta al 1968, quan el físic teòric Gabriele Veneziano volia trobar una explicació a la força nuclear forta, trobada experimentalment, de forma que recercant entre els llibres va trobar una equació del matemàtic Euler, anomenada funció Beta d'Euler, que explicava aquesta interacció. Més endavant es va comprovar que aquesta equació presentava contradiccions amb aquesta interacció i no va ser fins al 1970 que tres físics van comprovar que si es canviaven les partícules puntuals per filaments vibrants, s'eliminaven les contradiccions amb les dades experimentals. 4 anys després, Schwarz i Scherk, van descobrir que aquests filaments vibrants podrien explicar, no només la nuclear forta, sinó les altres 3 interaccions, tot i que això presentava conflictes amb la mecànica quàntica.

El 1984, Greene i Schwarz van resoldre aquestes contradiccions i van veure que aquesta teoria podria explicar tota la matèria. Això va causar la Primera Revolució de les Supercordes, que va durar dos anys, en la que tot el món va començar a investigar sobre aquesta teoria i es van fer més de mil publicacions. Tot i això, la dificultat d'aquesta teoria no era resoldre les equacions, sinó formular aquestes equacions, cosa que era extremadament difícil, de forma que molts teòrics van abandonar la teoria.

Com ja hem dit abans, segons aquesta teoria, els bucles de les cordes són de la mida de la longitud de Planck, és a dir, 10^{20} vegades més petits que el nucli d'un àtom, de forma que no és possible veure'ls experimentalment. Tot i això, si ens preguntem de què estan formades les cordes, hi ha dues possibles respostes: la primera, que encara s'està investigant, és que hi ha components més elementals que les cordes, i la segona, que té més pes que la primera, és que les cordes són cordes i no estan formades per res més (així com un paràgraf està format per frases, les frases per paraules, les paraules per lletres i les lletres són el component lingüísticament elemental, les cordes també ho són).

En resposta als 19 paràmetres lliures del Model Estàndard, la teoria de cordes presenta una explicació, ja que depenent de les seves vibracions formarà unes partícules o altres. Segons això, com major sigui l'amplitud de les vibracions i menor la longitud d'ona, amb més energia vibraran aquestes cordes (vibren més frenèticament) i, gràcies a l'equació d'Einstein, sabem que la massa i l'energia són equivalents, de forma que com més frenèticament vibri una corda, més massiva serà la partícula que formi. A més, de manera semblant a aquesta, segons la vibració de les cordes també es poden conèixer les altres característiques de les partícules. Això permet, en certa mesura, unificar totes les partícules, ja que les partícules deixen d'estar fetes de "materials" diferents, per exemple l'electró, que és negatiu, o el neutrí, que és neutre, i passen a estar formats per dues cordes idèntiques, que simplement vibren diferent. Gràcies a això, la teoria de cordes pot estar considerada com una Gran Teoria Unificada, que tant havien buscat els físics.

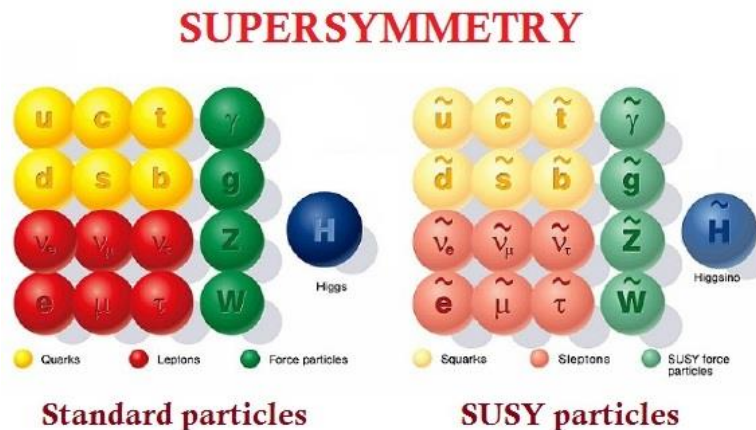
L'any 1974, Schwarz i Scherk van calcular, mitjançant les fórmules matemàtiques, la tensió que havien de tenir aquestes cordes i van obtenir el que s'anomena la Tensió de Planck, que equivaldria a 10^{39} tones (com a comparació, la tensió de les cordes d'un piano és de 30 tones) de forma que en ser cordes tan rígides, impliquen 3 conseqüències: la primera és la petita longitud de les cordes (10^{-33} cm); la segona és que degut a la tensió, necessiten molta energia per vibrar, que es coneix com l'Energia de Planck, que si la traduïssim a massa, tindríem una massa de 10^{19} vegades la massa d'un protó (equivalent, per exemple, a la massa d'una mota de pols), cosa que no explicaria la massa de les partícules, ja que ens dóna una massa bilions de vegades major, però aquí és quan la teoria de cordes es combina amb la mecànica quàntica, que amb les seves vibracions ultramicroscòpiques anul·la i modifica les vibracions de les cordes, de manera que acabem obtenint les masses correctes (per exemple, les vibracions de la corda del gravitó s'anul·len perfectament, de forma que obtenim una partícula sense massa); i la tercera conclusió de les cordes rígides és que tenen modes de vibració infinitament diferents (infinites amplituds i longituds d'ona), és a dir, hi ha infinites partícules possibles. Tot i això, els models més energètics de vibracions formen partícules molt massives i inestables, que haguessin decaïgut poc després del Big Bang.

A més, es va descobrir que en augmentar l'energia de les cordes, permetien sondejar distàncies més petites (com les partícules puntuals en els acceleradors), però a partir de certa energia, aquesta feia augmentar la mida de les cordes, sempre per sobre de la mida de la longitud de Planck, de forma que les cordes permeten ometre les fluctuacions quàntiques, ja que no són capaces de sondejar espais tan petits, cosa que permet unificar els dos pilars de la física, ja que aquestes fluctuacions no modificarien els components més bàsics de la natura, les cordes (una analogia podria ser que en passar la mà per un paper, encara que el paper estigui format microscòpicament per estructures de cel·lulosa rugoses, el notarem llis, ja que els nostres dits no poden sondejar mides tan petites).

6.2.1 Supersimetria

La Supersimetria (SUSI) és una d'aquestes possibles Grans Teories i s'està investigant en els detectors ATLAS i CMS, que ja sabem com funcionen.

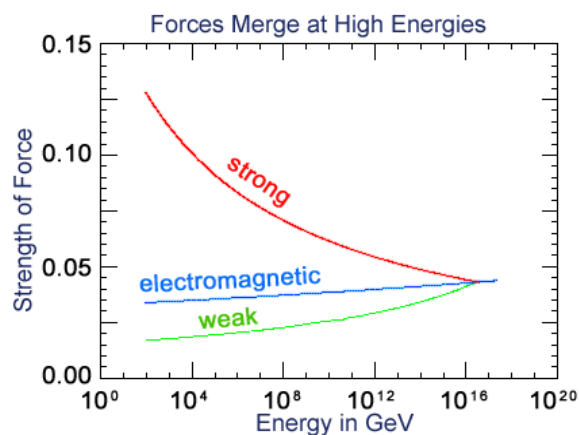
Segons aquesta teoria, cada partícula de l'univers està associada a una altra partícula, la seva súper-companya o (spartícula). Si la partícula original és un bosó, per exemple un foto (spin 1), la seva spartícula serà un fermió, el fotí (spin $\frac{1}{2}$); o al contrari, la spartícula de l'electró (fermió de spin $\frac{1}{2}$), és el selectró (bosó de spin 0). De forma que les partícules tenen la mateixa càrrega però una diferència de $\frac{1}{2}$ spin.



Partícules del Model Estàndard Supersimètric

<http://cuentos-cuanticos.com/2011/09/01/supercosas/>

Les dades actuals apunten que les forces nuclears dèbil i forta i l'electromagnètica es fusionen en una sola força a altíssimes energies (de l'ordre de 10^{16} eV). Segons els físics Glashow i Georgi, quan la temperatura de l'Univers era major de 10^{28} K, les tres forces eren manifestacions de la mateixa i les seves intensitats coincidien (és a dir, quan l'Univers tenia 10^{-39} segons d'edat), a partir d'aquesta temperatura, la força nuclear forta es va separar, i a la temperatura de 10^{15} K, es van separar les altres dues interaccions.



Gràfica que mostra com les 3 interaccions convergeixen a altres energies

<http://www.particleadventure.org/grand.html>

Més endavant, es va comprovar que aquestes tres forces quasi coincidirien en aquesta energia i temperatura, però no completament. Tot i això, si s'introduïen les partícules supersimètriques, gràcies a les fluctuacions quàntiques que produeixen, fan que aquestes interaccions no gravitatòries acabin coincidint.

La supersimetria podria explicar fenòmens com la matèria fosca, invisible als nostres ulls (i a qualsevol tipus de radiació) però que ocupa el 21% de tot el cosmos. La matèria ordinària, descrita al model estàndard, només representa el 4%, ja que quan els astrònoms mesuren la rotació de les galàxies, obtenen que les galàxies giren sobre si mateixes molt més ràpidament del que haurien de fer-ho, segons les masses que calculen que tenen. Per això s'ha plantejat que existeix un tipus de matèria que està sotmesa a la gravetat però no la podem veure.

Encara no s'han trobat aquestes partícules però es creu que es poden trobar experimentalment a les altes energies de la gràfica anterior. A més, aquesta teoria prediu l'existència de 5 bosons de Higgs, cosa que dificultaria el misteri de la massa de les partícules.

Realment, la supersimetria va lligada amb la teoria de cordes, ja que aquesta teoria preveia una partícula, anomenada taquíó, que el quadrat de la seva massa seria negatiu, això comportava que a la teoria de cordes fallava alguna cosa; fins que als anys 70, es va incloure la supersimetria a la teoria de cordes, cosa que va permetre aplicar la teoria no només als bosons com deia Veneziano, sinó també als fermions (ja que tenien models de vibració simètrics) i a més, va resoldre el problema del taquíó.

L'inconvenient va arribar el 1985, quan es van presentar 5 formes diferents de lligar la supersimetria dins de la teoria de cordes, de forma que teníem 5 teories de cordes diferents que es diferenciaven completament en alguns detalls. Això no ajudava, ja que només hi ha un univers i només necessitem una teoria que expliqui aquest univers.

Aquestes 5 teories són:

- Teoria del Tipus I: és igual que la del Tipus II B, però en aquesta teoria poden existir cordes obertes.
- Teoria del Tipus II A: en aquesta teoria, depenent si les vibracions són en el sentit de les agulles del rellotge o oposades, seran partícules diferents.
- Teoria del tipus II B: aquesta teoria diu que les vibracions són idèntiques girin en sentit de les agulles del rellotge o en sentit oposat.
- Teoria del tipus heteròtric $O(32)$: en aquesta teoria les vibracions en sentit de les agulles són com la dels Tipus II, però les vibracions oposades són les de la teoria bosònica de Veneziano (de 26 dimensions) és a dir, les vibracions en sentit horari es mouen en 10 dimensions, però les del sentit antihorari en 26.

- Teoria del tipus heteròtric E_8E_8 : inclou una altra versió de la supersimetria però en aquesta, les cordes vibren en les mateixes dimensions independentment dels sentits.

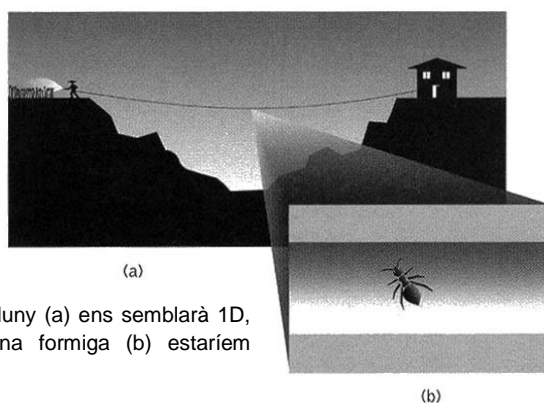
Més endavant es va descobrir, per sort, que realment eren 5 visions diferents de la mateixa teoria. En un principi es va preveure que aquestes partícules supersimètriques de mateixa càrrega i spin diferenciat en $\frac{1}{2}$ de les partícules ordinàries, serien molt massives, de forma que amb els mitjans de l'època no es podien observar i van predir que el 2010, amb el LHC, s'aconseguirien observar. El fet que encara no hagin estat observades no rebutja la teoria de cordes, simplement pot ser causat perquè aquestes súpercompanyes poden ser encara més massives del que s'esperava en un principi.

6.2.2 DIMENSIONS EXTRES

Segons la teoria de cordes han d'existir 6 dimensions més, a part de les 4 existents. Aquestes 6 dimensions podrien ser tan petites que ni les veiéssim i estarien en espais molt petits anomenats espais de **Calabi-Yau**.

Per poder imaginar-se que existeixen més dimensions de les que podem veure podem pensar en aquest exemple:

Si ens imaginem que tenim una corda lligada entre els dos costats d'un precipici, aleshores, un equilibrista que estigui creuant la corda la veurà com una línia (1D), ja que només podrà avançar cap endavant o cap enrere. En canvi, una formiga que està situada sobre la corda podrà avançar tant en la llargada com en l'amplada de la corda, aleshores per a la formiga la corda serà en 2D.



La corda vista des de lluny (a) ens semblarà 1D, en canvi si fóssim una formiga (b) estariem caminant sobre 2D

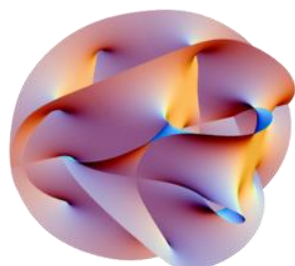
<http://www.librosmaravillosos.com/eluniversoelegante/capitulo08.html>

Per això diem que només podem percebre 3 dimensions més la del temps, ja que les altres existeixen en espais molt petits de l'espai-temps, a aquestes dimensions les denominarem dimensions plegades i no les podem veure perquè són més petites que un àtom.

Gràcies a aquestes dimensions extremes es van poder explicar les propietats negatives d'algunes partícules (com la massa del taquíó), ja que si només disposem de 3 dimensions espacials, les vibracions de les cordes estan limitades a aquestes 3 direccions, en canvi, si s'ampliaven a 9 dimensions espacials, desapareixien totes les propietats negatives.

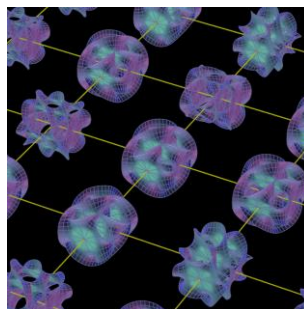
La importància d'aquestes dimensions està sobretot en la seva forma, ja que són dimensions extremadament petites, però les cordes també ho són, així que depenent de la forma que tinguin aquestes dimensions, les cordes vibraran d'una manera o d'una altra, així que, tot i que aquestes dimensions són tan petites que són imperceptibles per a nosaltres, sí que modifiquen el nostre món aparentment tridimensional.

Un tipus particular d'espai de sis dimensions podria ser el que s'anomena espai de Calabi-Yau, tot i que existeixen desenes de milers d'aquests espais de 6 dimensions, davant de la infinitat de formes matemàticament possibles, són relativament estranys.



6 dimensions plegades en un espai de Calabi-Yau

http://es.wikipedia.org/wiki/Varietad_de_Calabi-Yau



Representació de les dimensions plegades en l'espai-temps

<http://physicsforme.com/tag/calabi-yau/>

Tot i això, d'aquestes desenes de milers de formes de Calabi-Yau, depenent de la forma obtindrem diferent nombre de famílies de partícules i interaccions fonamentals, de forma que si escollim només 3 famílies i 4 interaccions fonamentals, s'aconsegueix reduir aquest "catàleg" d'espais diferents.

6.2.3 TEORIA-M

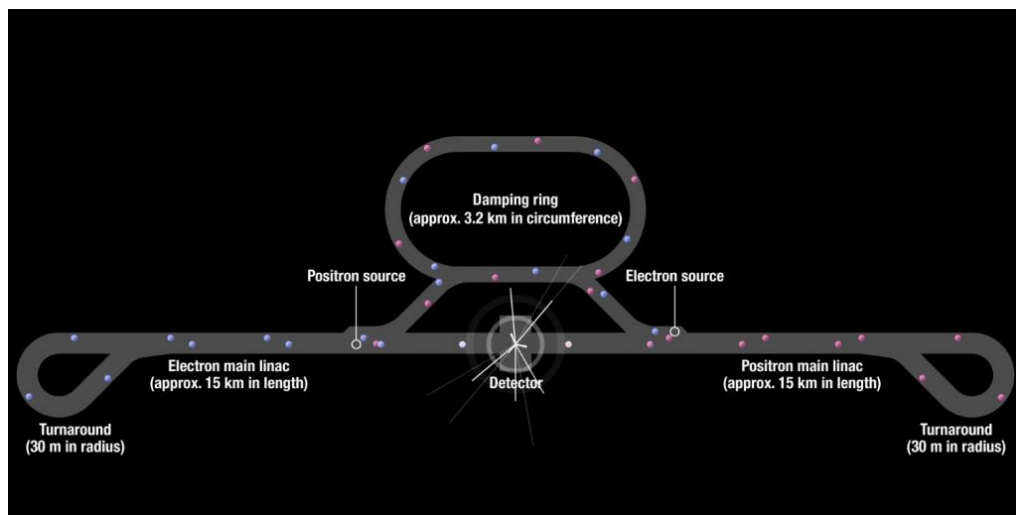
A partir de la Segona Revolució de les Supercordes (1995) es va demostrar que un cop es ressolessin totes les equacions de les diferents teories de cordes arribaríem a la conclusió que totes són iguals, que només existiria una teoria, la que s'anomena Teoria-M (com a analogia, podem pensar que cada teoria és com una pota d'una estrella de mar, però en el fons, totes són el mateix, i hem de trobar aquest vincle d'unió). Amb això, els físics van descobrir dues característiques de la Teoria-M encara inexplicables: la primera és que aquesta teoria ha de presentar 11 dimensions, 10 espacials i el temps; i la segona característica és que segons aquesta teoria no només existeixen cordes vibrants, sinó també membranes, bombolles, etc. Però totes aquestes formes, exceptuant les cordes, tenen grans masses, de forma que es necessiten grans energies per descobrir-les, però contràriament a això, en ser tan pesades exerceixen poca influència sobre les propietats físiques del nostre univers.

6.3 ILC

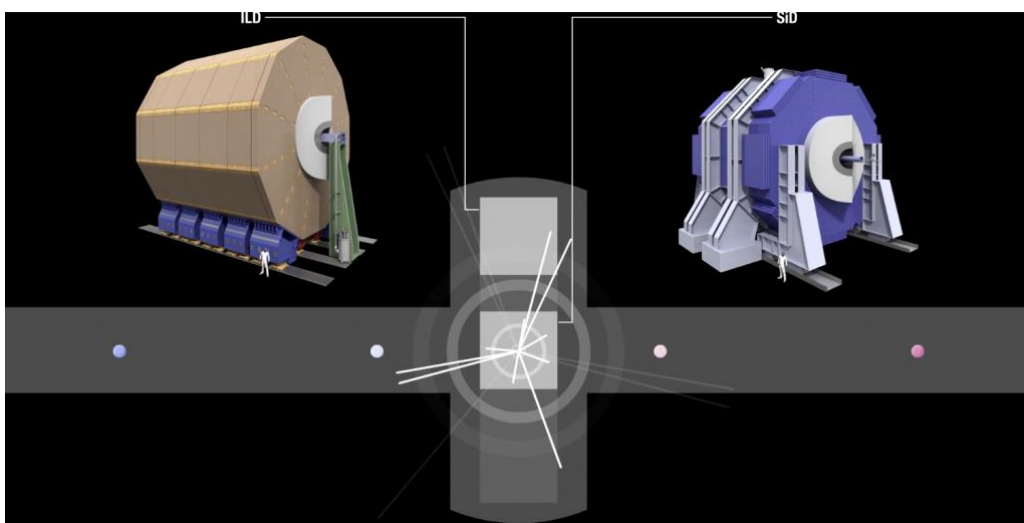
El Gran Col·lisionador Internacional (*International Large Collider*) serà un accelerador lineal on xocaran electrons-positrons de 31 km de llargada i xocaran amb una energia de 500 GeV i que en un futur s'ampliarà a 1 TeV amb una llargada de 51 km. Cada feix d'electrons

contindrà 20 milions de partícules que xocaran 14.000 cops per segon. Totes aquestes dades obtingudes complementaran als descobriments fets en el LHC, ja que aquest utilitza protons.

Aquest accelerador igual que el LHC, estarà situat a 100 metres sota terra i refrigerat a una temperatura de -271 K. Els electrons i els positrons giraran primer en un anell de 3,2 km de perímetre, situat al centre del complex, on es comprimiran els feixos de partícules. A continuació els electrons són enviats a un extrem del complex situat a 15 km mentre es van accelerant i, els positrons, són accelerats en la direcció inversa; de forma que a l'extrem d'aquest accelerador hi ha una corba tancada de 30 m de radi on els electrons i positrons giren i s'apropen cap al centre de l'accelerador cada cop més ràpid fins que xoquen al mig d'aquest, on estan els dos detectors: el ILD (Gran Detector Internacional) i el SiD (Detector de Silici); que gràcies a un sistema innovador, aquests dos detectors es podran anar intercanviant.



En aquesta imatge es veu com els electrons creats a la seva font, giren a l'anell i són dirigits cap a l'esquerra on finalment seran redirigits cap a la dreta, cap al centre de l'accelerador, on xocaran amb els positrons que porten sentits contraris



Aquí es poden observar els dos detectors (situats a les caselles blanques) que poden lliscar cap a baix per a que en lloc de treballar el SiD (com a la imatge), treballi el ILD.

<http://newsline.linearcollider.org/2013/08/08/the-ic-at-a-glance-2/>

L'accelerador estarà format per 16000 cavitats superconductores de Niobi pur, situades a dins dels mòduls criogènics. Aquestes cavitats seran el cor de l'accelerador i permetran accelerar als electrons-positrons al 99,9999999999% de la velocitat de la llum.

Aquest accelerador s'encarregarà d'estudiar totes aquelles partícules, com el bosó de Higgs, que han estat detectades molt costosament i altres partícules noves que encara no s'han descobert, ja que són més massives, de forma que per produir-les necessitem donar més energia a les partícules. Aquest col·lisionador no serà capaç d'observar les supercordes perquè aquestes, al ser extremadament petites, necessitariem moltíssima energia per veure-les (s'ha calculat que amb la tecnologia actual d'imants superconductors, necessitariem un accelerador de la mida de la nostra galàxia per poder observar les cordes), però potser si podem observar algun resultat o producte que confirmi la seva existència.

7. PART PRÀCTICA

7.1 CIRCUIT IMPRÈS

7.1.1 Objectius

L'objectiu d'aquest apartat és fer la placa de coure segons els esquemes elèctrics per, més endavant, poder-hi soldar tots els components electrònics.

7.1.2 Material

- | | |
|--|---|
| -Paper setinat 100 g/m ² | -Acetona (C ₃ H ₆ O al 95,5%) |
| -Impressora làser | -Sulfuric (H ₂ SO ₄ al 20%) |
| -Planxa | -Aigua oxigenada (H ₂ O ₂) |
| -Retolador indeleble | - Alcohol 96° |
| -Placa emulsionada de fibra de vidre 100x160 | -Draps |
| -Dos recipients de plàstic | -Aigua |
| -Paper de vidre | -Pinces |
| | -Trepant petit |

7.1.3 Procediments

El primer de tot és obrir la placa de fibra de vidre sobre on imprimirem el circuit i netejar el recobriments negre que porta per a protegir el coure de l'exterior. Per fer això utilitzarem un fregall d'alumini o un paper de vidre i fregarem la placa fins que no quedin restes del recobriments.

Perquè quedi completament neta i brillant, mullarem un drap amb alcohol de farmàcia de 96° i acabarem de netejar la placa per que la tinta del circuit es fixi bé. A partir d'ara és recomanable no tocar la placa amb els dits.

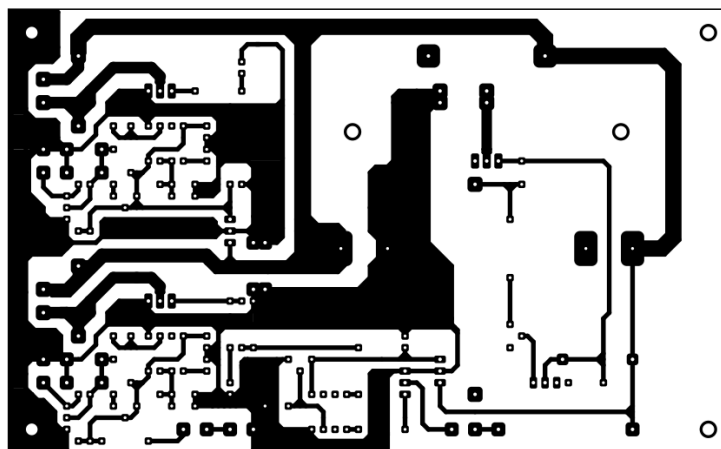


Traient el recobriments amb el paper de vidre



Netejant la placa amb l'alcohol

Un cop amb la placa polida i preparada, hem d'imprimir el circuit que volem gravar en el paper setinat en una impressora làser. Això últim és imprescindible, ja que és necessari el tòner que utilitzen les làser, la tinta d'impressora normal no serveix.



Esquema de les pistes de la placa

Un cop ja tinguem impreses les pistes del circuit, s'han de retallar, amb compte de no tocar la tinta. Seguidament el col·locarem boca avall sobre la placa, amb la tinta tocant la part del coure. A continuació planxarem el circuit sobre la placa amb molt de compte al principi per no moure el paper i, quan el paper ja estigui fixat a la placa, planxarem amb més força perquè la tinta passi del paper a la placa.

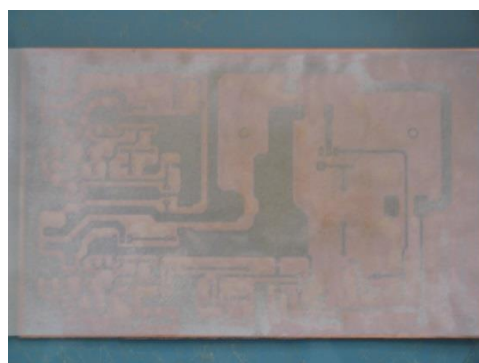


Planxant les pistes sobre la placa de coure

A continuació, omplirem un recipient amb aigua i amb unes pinces col·locarem la placa de coure a dins. Esperarem una mitja hora perquè el paper mullat es desprengui de la placa; si veiem que tarda molt podem sacsejar el recipient per crear onades i ajudar al paper a desprendre's. Seguidament retirarem els trossets de paper per veure com ha quedat la impressió del circuit. Si no ens agrada, sempre podem netejar la tinta amb un drap amb acetona i tornar a planxar a sobre un altre paper amb el circuit imprès.



Col·locant la placa ja planxada en l'aigua



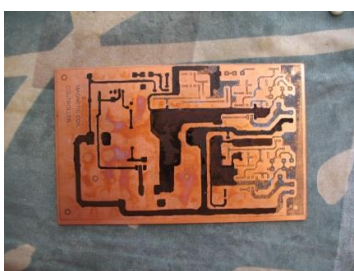
El paper mullat desprentant-se de la tinta i el coure

Si hem esperat el temps suficient, el coure ens quedarà net però quedaran restes de paper a sobre la tinta, de forma que l'eliminem amb molt de compte rascant amb un drap mullat amb aigua. És molt important eliminar tot el paper, ja que després pot fer que dues pistes, que no ho haurien d'estar, estiguin connectades.

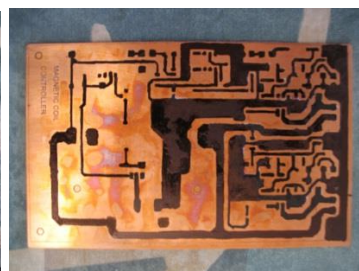
A més, si han quedat imperfeccions a les pistes pel fet que el tòner no s'ha fixat correctament, podem repassar-les amb un retolador inesborrable. En el meu cas, només va quedar un lleu contorn de les pistes, de forma que les vaig repassar totes amb el retolador.



Restes de paper sobre la placa



Pistes lleument marcades

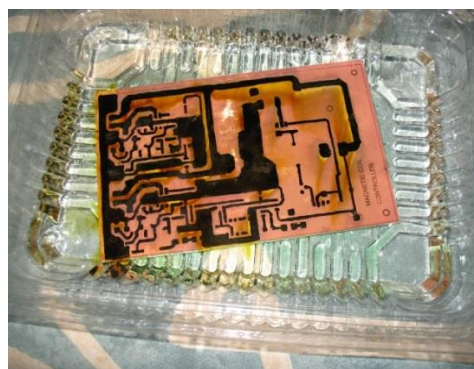


Pistes repassades amb el retolador

A continuació prepararem dos gots i dos recipients de plàstic. Un el deixarem a part i l'omplirem d'aigua de l'aixeta, per netejar la placa; en l'altre recipient farem una mescla 50% HCl i 50% H_2O_2 amb l'ajuda dels dos gots on abocarem un parell de dits de cada reactiu, sempre protegits amb guants, ja que l'àcid clorhídric no ens pot tocar la pell. A continuació abocarem els dos reactius en el recipient de plàstic i col·locarem la placa també a dins. Observarem que, a causa de la reacció, la mescla va agafant un color verdós. Podem donar copets al recipient per accelerar la reacció.



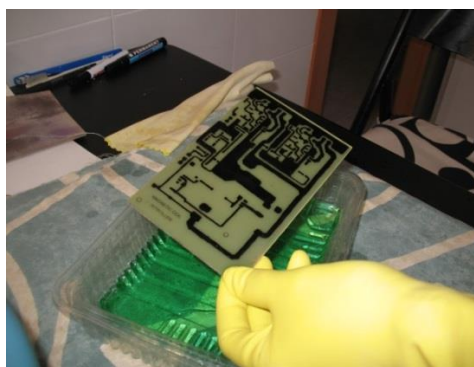
Material necessari



Placa a la mescla



Mescla verdosa que està dissolent el coure



Placa sense el coure innecessari

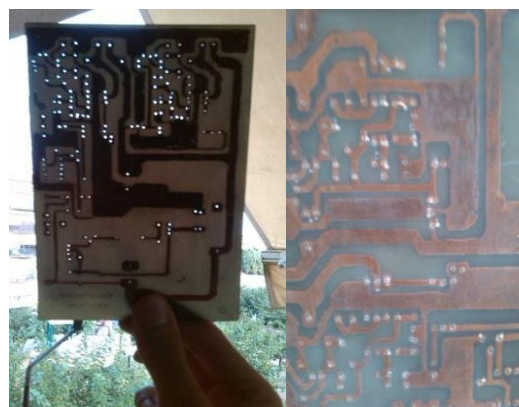
Al cap d'una hora, més o menys, ja no quedarà coure a la placa, de forma que la traiem del recipient de la mescla i la col·loquem amb el de l'aigua d'aixeta per esbandir-la. Els productes químics es poden abocar per l'aixeta però molt diluïts amb aigua.

Amb un drap moll d'alcohol netejarem bé la tinta i el tòner, i les pistes de coure aniran apareixent. Si la tinta es resisteix a sortir, podem utilitzar paper de vidre.

És recomanable revisar totes les pistes del circuit amb un polímetre i comprovar que tenen continuïtat. Finalment, amb un petit trepant haurem de fer els forats on s'encaixaran les potes dels components elèctrics. Jo he utilitzat broques de 0,5 mm i 0,7 mm i per les potes dels components més grans com els díodes, d'1 mm.



Foradant la placa amb el trepant petit

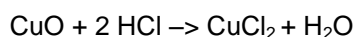
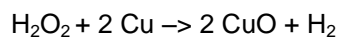


Placa ja foradada

7.1.4 Resultats i conclusions

El primer procés de planxar el circuit i deixar-lo en aigua, el vaig haver de fer dos cops, ja que el primer cop quasi no s'apreciaven les pistes, de forma que al segon cop vaig estar molta més estona planxant i vaig deixar la placa reposar a l'aigua durant més d'una hora. Tot i això, tampoc van quedar gaire marcades, segurament degut al tipus de paper setinat, de forma que vaig repassar-les amb el retolador, cosa que va ser més senzilla i ràpida.

La reacció que dissol el coure és la següent:



De forma que el color verdós de la mescla és degut al Cu^{2+} i les bombolles que s'observen són l'hidrogen que s'allibera a l'exterior.

La part més problemàtica va ser foradar la placa, ja que la broca era massa petita inclús pel trepant petit, de forma que vaig provar a enrotllar la broca amb cinta adhesiva per augmentar el seu gruix perquè encaixés al trepant, però la calor despresa al girar separava la broca i la cinta, de forma que vaig haver de col·locar 5 broques a la vegada dins del trepant per augmentar el gruix. Tot i això, com havia de foradar el coure, el motor del trepant no tenia gaire força i les broques es gastaven molt ràpidament, de manera que les havia

d'anar renovant sovint. Tot i això, va ser una experiència nova i interessant que no em va portar més que un parell de tardes.

7.2 MUNTATGE EXTERN

7.2.1 Objectius

L'objectiu d'aquesta part del treball era construir la part externa del treball que, com veurem més endavant, és l'única part que no variarà independentment si utilitzem el circuit electrònic o altres alternatives.

7.2.2 Material

- | | |
|---|--|
| -Tauler de fusta aglomerada 60x90 cm | -Cable de coure gruixut |
| -1 metre de mànega transparent $\varnothing_{\text{interior}} = 14\text{mm}$ i $\varnothing_{\text{exterior}} = 20\text{ mm}$ | -Cola |
| -6 abraçadores metàl·liques | -Bola metàl·lica $\varnothing = 10\text{ mm}$ |
| -2 ventiladors d'ordinador de 24 V | -10 cm mànega $\varnothing_{\text{interior}} = 22\text{ mm}$ |
| -1 interruptor magnetotèrmic | -4 cercles de niló amb un forat interior de $\varnothing = 20\text{ mm}$ |
| -1 transformador de 230 V a 24 V i 10 A | -Paper aïllant per bobines |
| -8 metres de fil de coure $\varnothing = 1\text{mm}$ | -Via omega |

7.2.3 Procediments

Per fer el muntatge extern, com a base de tot el muntatge vaig agafar un tauler de conglomerat fusta gran i el vaig tallar perquè fes 60x90 cm. A continuació vaig tallar 1,5 m de mànega de goma de plàstic transparent de diàmetre exterior 20 mm i d'interior 12 mm, que seria el cos de l'accelerador.



Tallant el tauler de fusta



Tauler i mànega ja tallats

Però abans d'enganxar els dos extrems necessitem 3 elements: el primer és "la partícula" que hem d'accelerar, jo vaig utilitzar una bola metàl·lica de 12 mm de diàmetre, d'un antic joc d'imants. Finalment, també necessitem dues bobines, perquè quan circuli corrent per elles creïn el camp magnètic. Per a fer aquestes bobines primer necessitem un nucli d'uns 5 cm, cilíndric, per enrotllar el fil de coure i que pugui passar la mànega de 20 mm per l'interior, de forma que jo vaig utilitzar una mànega de diàmetre interior 22 mm. A més, també necessitàvem dos límits perquè la bobina no es desfés, de forma que vaig utilitzar dos cercles de niló i els vaig enganxar un a cada extrem del nucli de la bobina, però els vaig tallar uns mil·límetres de la part inferior, ja que al ser més amples que la bobina, el tub quedava desnivellat. Un cop enganxats els dos límits, vaig fer dues petites incisions a un dels dos límits de cada bobina perquè, un cop bobinat, el fil es pogués subjectar. Per a bobinar, necessitem fil de coure d'1 mm de diàmetre i haurem de fer dues capes de 30 voltes cada capa, és a dir, 60 voltes per cada bobina.



Fil de coure, nucli de la bobina i límits ja tallats



Bobinant el fil de coure



Bobines acabades

Un cop fetes les dues bobines, ja vaig poder introduir la mànega per l'interior i, un cop vàrem introduir la bola metàl·lica, ja podem enganxar les dues parts de la mànega amb cola. Fet això, vaig posicionar les dues bobines en punts oposats de la circumferència i, per subjectar-la al taulell, vaig utilitzar 6 abraçadores metàl·liques equidistants subjectades al taulell amb claus i col·locades en forma de cercle perquè, al col·locar la mànega i prémer les abraçadores, aquesta adoptés una forma circular.

A l'interior de la circumferència, davant de les dues bobines vaig col·locat dos ventiladors d'ordinador que funcionaven a 24 V, per evitar possibles sobreescalfaments de la bobina, i els vaig fixar amb dos petits angles metàl·lics.

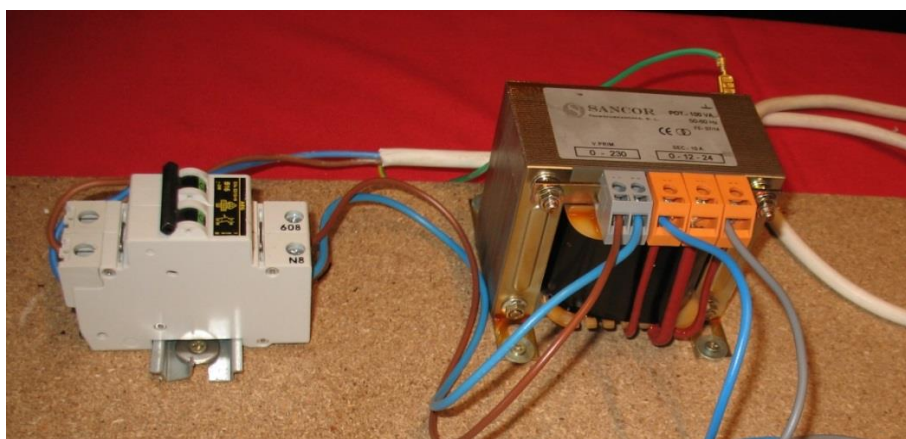


Mànega subjectada per les 6 abraçadores i amb els ventiladors



Ventilador subjectat amb els angles metàl·lics

També vaig col·locar una via Omega metàl·lica on es col·loca la font d'alimentació que utilitzem i el magnetotèrmic, que funciona com a interruptor de seguretat de tot el circuit. Primerament vaig utilitzar aquest transformador, que vaig encarregar de 230 V a 24 V de corrent alterna.

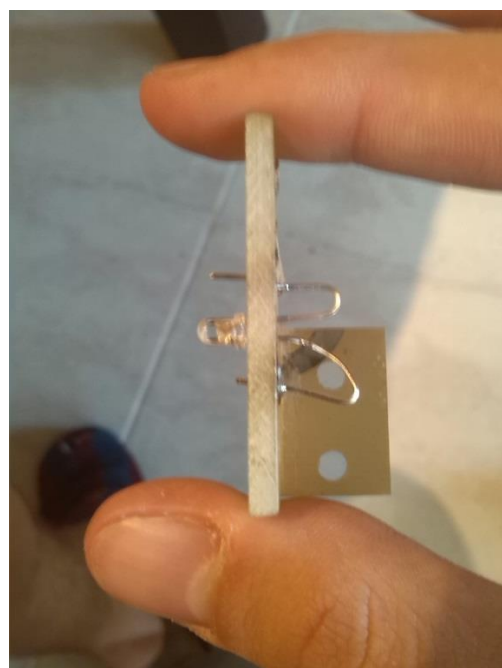


Magnetotèrmic en la via Omega i el transformador

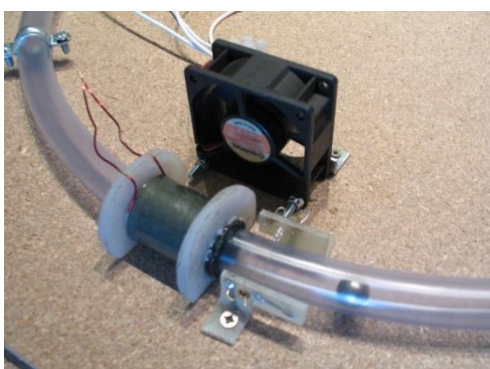
Finalment, els últims elements que restaven per muntar eren les dues barreres fotoelèctriques, formades per un LED blanc i un sensor fotoelèctric "BPW". Per això, vaig tallar dos trossos petits d'un altre circuit de baquelita (plàstic que no es crema) que tenien una pista de coure a l'interior, de forma que s'havien de foradar per poder introduir el LED i la BPW a l'interior. A continuació vaig soldar les potes d'aquests components a les pistes metàl·liques i, a l'altra banda de les pistes, vaig soldar els cables que es connecten amb el circuit electrònic. Per acabar, vaig tallar els quatre trossos de baquelita per la meitat, i els vaig doblegar i enganxar formant un angle de 90° per poder subjectar-los al taulell amb cargols just a l'entrada de les bobines, ja que aquestes s'activaran en el moment que la bola creui la barrera fotoelèctrica.



Sensor BPW en el seu suport



LED en el seu suport



LED i BPW col·locats a l'entrada de la bobina

7.2.4 Resultats i conclusions

El funcionament de les bobines es basa en el fenomen de la inducció magnètica descrit per la Lley de Faraday, descoberta al 1831 per Michael Faraday, que diu que quan circula un corrent elèctric per una bobina o toroide (un fil de coure enrotllat al voltant d'un nucli), es crearà un camp magnètic a l'interior d'aquesta bobina. De forma que utilitzaré aquest cap magnètic per atraure i impulsar la bola. La fórmula d'aquest camp és:

$B = \mu \cdot n \cdot I$, en què B és el camp magnètic, μ és la permeabilitat magnètica, que en el buit equival a $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$, n és el nombre d'espines per unitat de longitud, de forma que per a les meves bobines seria $n = \frac{N}{l} = \frac{60}{0,04} = 1500 \text{ m}^{-1}$, i I és la intensitat del corrent que circula per la bobina, que en el meu circuit és de 10 A. Així que cada bobina crea un camp magnètic $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1500 \cdot 10 = 18,85 \text{ mT}$ (suposant que no hi ha pèrdues i el camp es fa en el buit).

Per poder crear un camp magnètic major a partir d'una bobina podem utilitzar fil de coure fi i donar moltes voltes a la bobina o, com en aquest cas, utilitzar fil molt gruixut per estalviar voltes, de forma que la part més costosa d'aquest procés va ser a l'hora de bobinar a mà, ja que com el fil de coure era del gruix d'1 mm era molt difícil d'eliminar les seves deformacions. El fil que vaig utilitzar ja estava aïllat amb vernís, com es pot observar en el seu color vermell, així que no cal recobrir les bobines amb paper aïllant, és opcional. Les primeres bobines que vaig fer les vaig recobrir, però finalment vaig tornar a fer les bobines

per assegurar-me que no s'havien fet malbé durant totes les proves que vaig realitzar. Tot i això, aquesta és la part més lliure del procés, ja que la mànega, les abraçadores, etc. les vaig fer a ull, no tenia unes mesures concretes.

7.3 PROTOBOARD

7.3.1 Objectius

L'objectiu de la Protoboard era comprovar que el circuit era correcte i funcionava abans de soldar tots els components a la placa, ja que a la Protoboard només s'han d'encaixar i es poden reemplaçar o moure amb més facilitat.

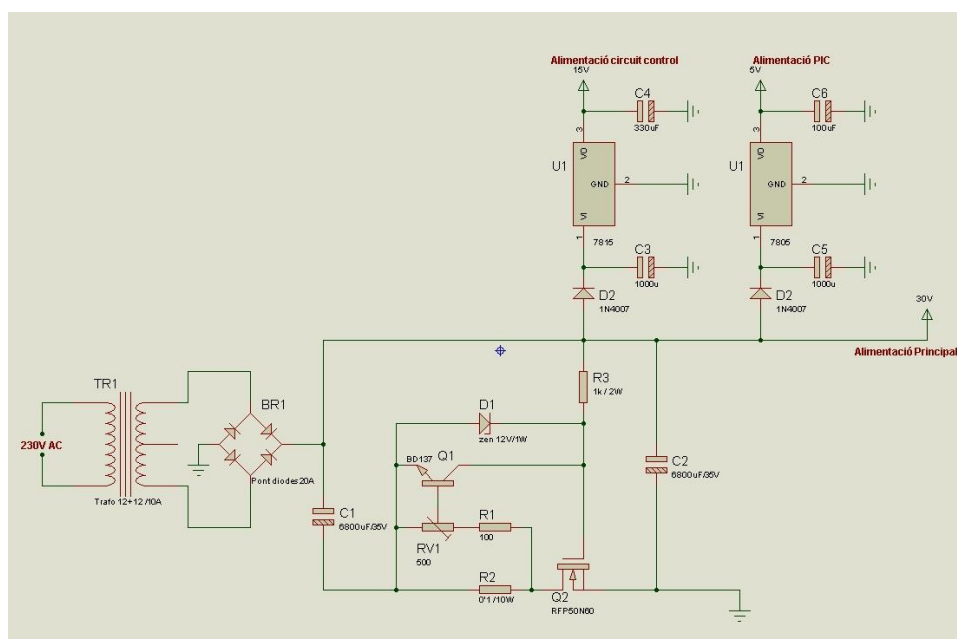
7.3.2 Material

- Protoboard
- Cables fins
- Polímetre
- Components electrònics
- Soldador d'estany

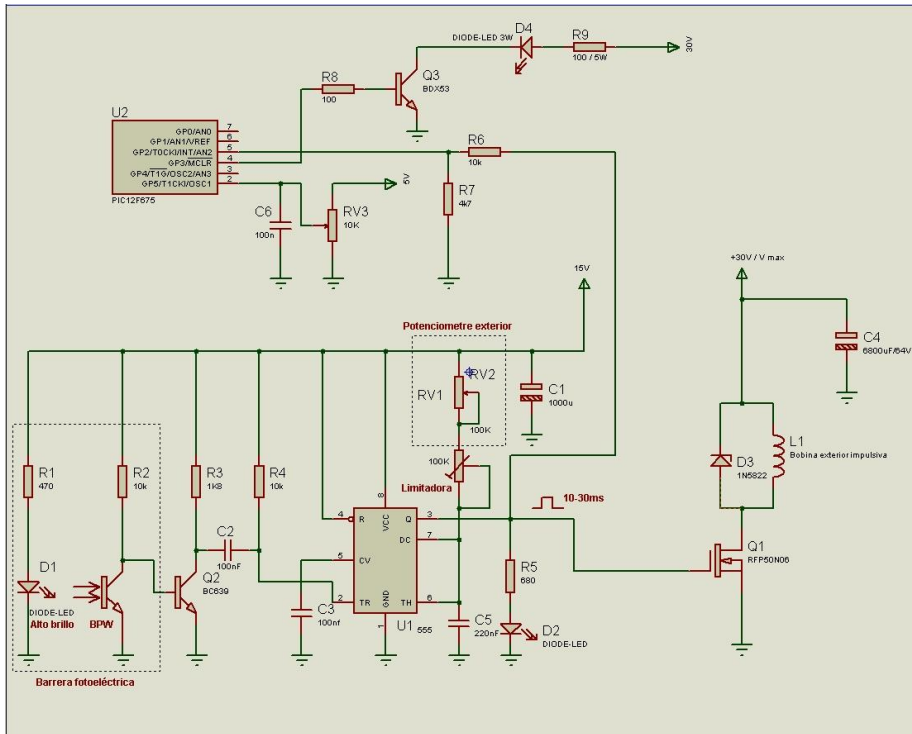
7.3.3 Procediments

La "Protoboard" és un taulell de plàstic amb orificis connectats elèctricament, de forma que només introduint les potes dels components i els cables que els connecten, es pot muntar un circuit sense haver de soldar res. De manera que aquest aparell permet provar circuit sense haver de fer el circuit imprès.

Així que vaig començar a col·locar tots els components seguint el següent esquema elèctric:



Circuit principal, amb el transformador



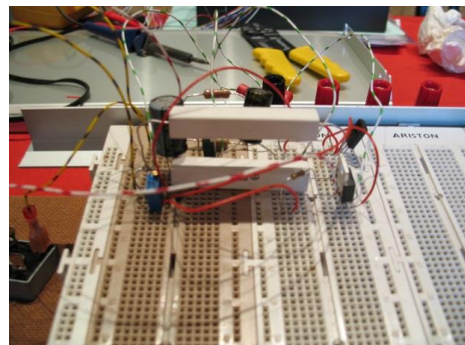
Circuit secundari, ha d'estar duplicat, un per a cada bobina

Si algun component no es pot encaixar directament als orificis perquè té les potes massa gruixudes, es poden soldar dos calbes fins que si que encaixin, un a cada pota del component.

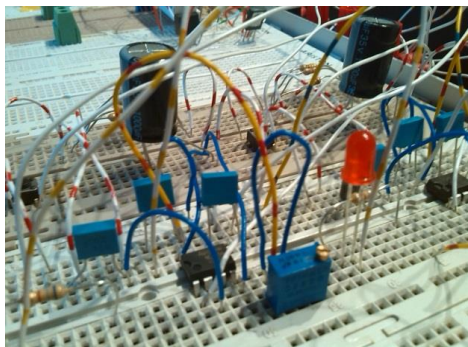
Un cop vaig haver col·locat tots els components, vaig connectar les bobines a les regletes de color verd, amb cables exteriors, i el pont de díodes al transformador i magnetotèrmic.



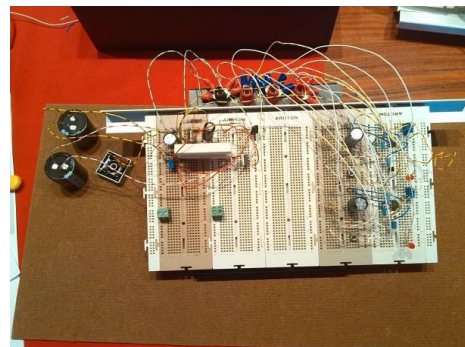
Soldant els cables als components



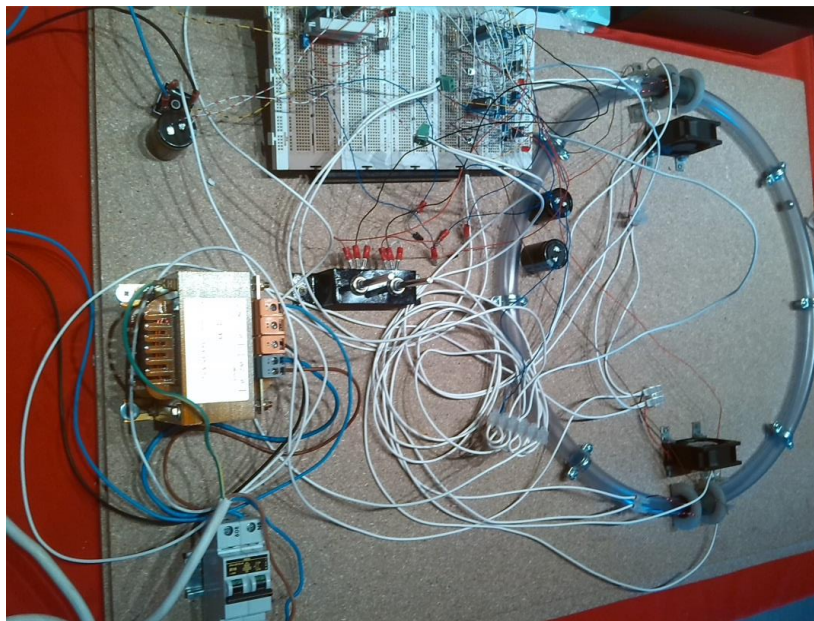
Circuit primari sobre la Protoboard



Circuit secundari



Esquema elèctric sencer sobre la Protoboard



Muntatge sencer provisional

7.3.4 Resultats i conclusions

Un cop vaig haver col·locat tots els components a la Protoboard amb molt de compte, ja que hi havia molts cables i aquests, al ser tan fins, no quedaven ben fixats, vaig anar resseguint els esquemes i repassant els cables. Quan vaig comprovar que tot era correcte, vaig encendre el circuit i, als pocs segons, va començar a sortir fum, ja que s'havia cremat el recobriment de goma d'alguns cables. Així que els vaig anar canviant gradualment per cables més gruixuts com els cables blancs que apareixen a la fotografia superior. Un cop ja els havia substituït tots, al encendre el circuit es va cremar un dels orificis de la Protoboard.

Això va ser degut a la alta intensitat (10 A) amb la que treballa tot el circuit, ja que era excessiva per uns cables tan primos.

7.4 ALTERNATIVA ELÈCTRICA

7.4.1 Objectius

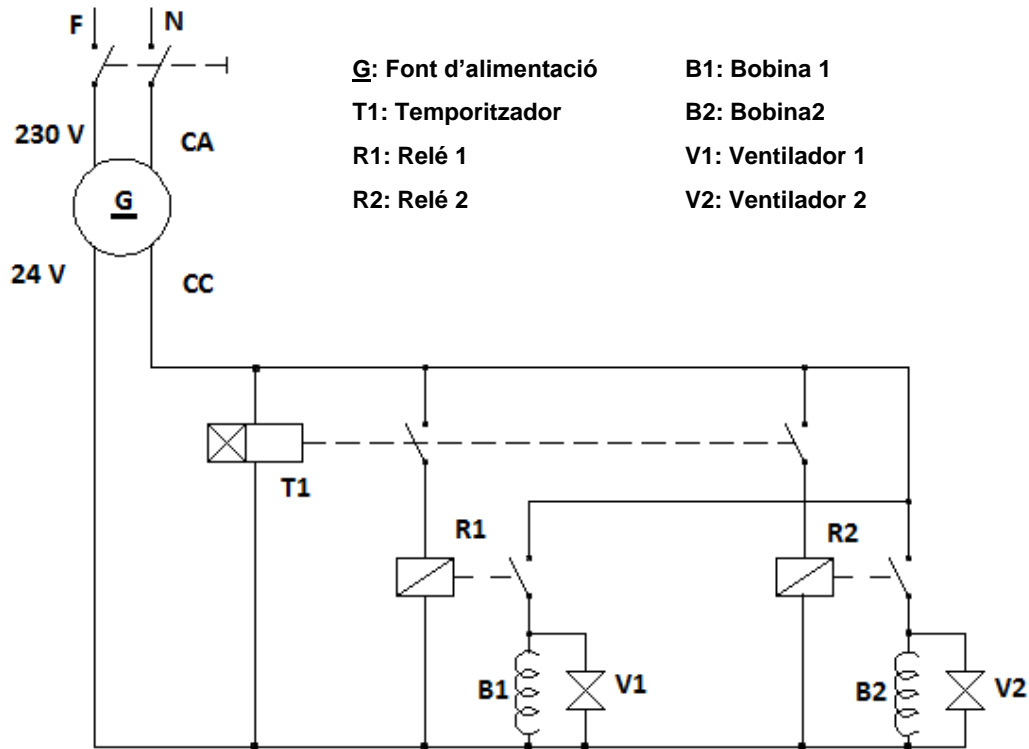
En veure que el circuit a la Protoboard no funcionava, ja que als pocs segons després d'encendre'l començava a cremar-se els cables o la goma, vaig decidir canviar l'electrònica per l'electricitat, ja que aquesta última la trobava més fàcil i comprensible per al meu nivell.

7.4.2 Material

- | | | |
|----------------|------------------|------------------------|
| -Relés | -Magnetotèrmic | -Transformador |
| -Temporitzador | -Muntatge extern | -Tornavis i multímetre |

7.4.3 Procediments

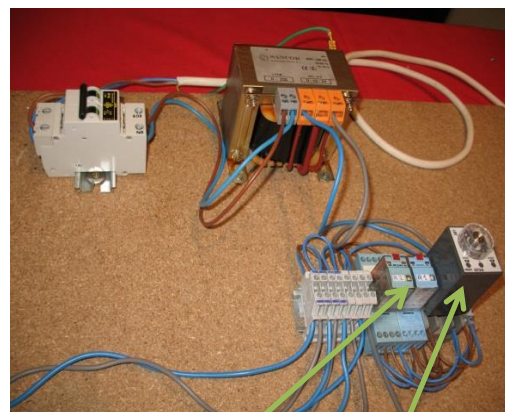
Vaig fer el muntatge amb components elèctrics per la seva major senzillesa davant de l'electrònica, de forma que vaig seguir el següent esquema:



Esquema elèctric

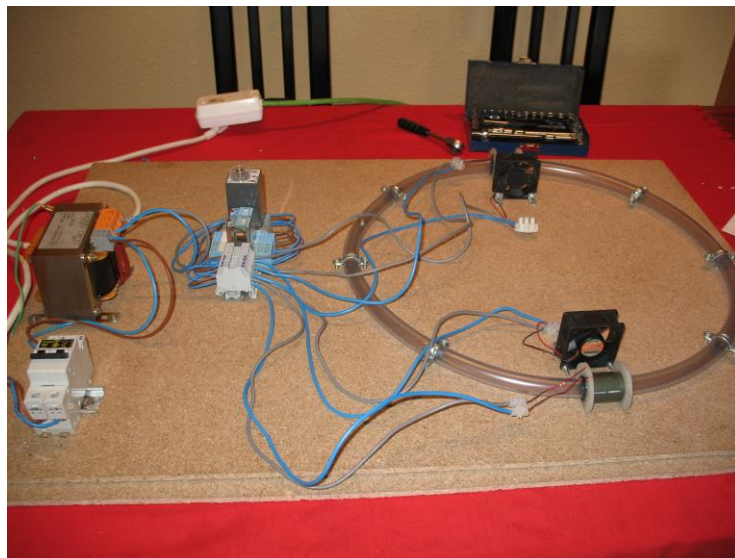
On la font d'alimentació (un transformador, en aquest cas) estava connectada a un temporitzador que obria i tancava alternativament els interruptors que donen pas al corrent cap als relés, de forma que aquests obren i tanquen alternativament els seus contactes, activant i desactivant la bobina segons el temps que marcava el temporitzador.

Per fer això, només vaig haver d'unir, amb calbes gruixuts, la sortida del transformador als borns de connexió del temporitzador, que a la vegada està connectat als dos relés. Finalment vaig unir les sortides dels relés a les dues bobines.



Relés Temporitzador

Muntatge dels Relés i el Temporitzador



Muntatge elèctric sencer

7.4.4 Resultats i conclusions

El temporitzador és un element elèctric que obra i tanca alternativament uns contactes i que es pot regular gràcies a una rodeta que té a la part superior. Jo vaig utilitzar un temporitzador de 0 s a 1s amb una precisió de 0,02 s.

Els relés són uns components elèctrics que estan formats per una bobina, un contacte mòbil i uns contactes fixes; de forma que quan hi circula corrent, la bobina crea el camp magnètic que mou el contacte mòbil i tanca un circuit i obra un altre.

El problema d'aquest circuit és que, com que no hi han condensadors i s'han de connectar i desconectar les bobines tan ràpidament, aquestes no tenien suficient força per a atreure la bola. A més, com les bobines s'han de desconectar ràpidament perquè la bola no retorni, en disminuir el temps del temporitzador, el relé havia de treballar tan ràpid que es curtcircuitava a causa que no és un component electrònic, sinó que és un component elèctric que mou mecànicament un contacte per tancar el circuit, així que no pot actuar tan ràpidament, cada 10 ms (10^{-3} s), com farien els xips.

7.5 RETORN A L'ELECTRÒNICA

7.5.1 Objectius

Al veure que la part elèctrica no va funcionar, que el circuit de la ProtoBoard es cremava i que tenia la placa del circuit imprès ja feta, vaig decidir muntar els components en la placa, ja que si els esquemes eren correctes, com la placa de baquelita no es pot cremar, era l'única opció que quedava funcionés el circuit.

7.5.2 Material

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| -Components electrònics | -Estany |
| -Placa del circuit imprès | -Multímetre |
| -Soldador d'estany i suport | -Pinces |

7.5.3 Procediments

Seguint els mateixos esquemes elèctrics que amb la Protoboard i amb l'ajuda dels esquemes de les pies del circuit, un cop havia identificat cada pista i cada component, només calia anar clavant-los en el seu lloc corresponent i soldant-los a la placa. Ens podem ajudar de les pinces per no cremar-nos. Un cop fet això, és molt important comprovar que tots els components estiguin ben soldats, amb el multímetre.



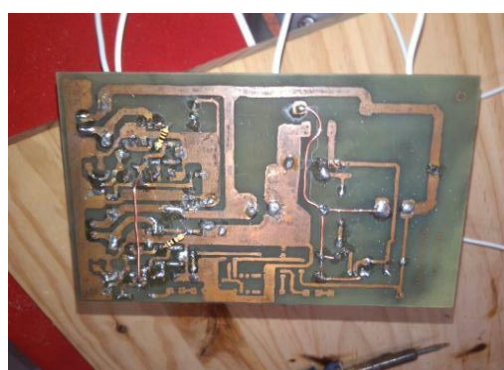
Primers components a la placa



Placa gairebé acabada



Placa finalitzada



Revers de la placa finalitzada

Un cop acabat tot el circuit, vaig connectar les bobines, els detectors fotoelèctrics (BPW), els LED i els potenciòmetres exteriors amb els cables blancs a les regletes verdes del circuit.

7.5.4 Resultats i conclusions

El primer problema que vaig tenir en connectar el transformador a la placa pel pont de díodes va ser que la placa es va escalfar molt i un transistor es va cremar. Després de revisar el circuit vam veure que el circuit principal, encarregat de reduir la tensió de 30 V a

24 V, no funcionava, ja que segons l'esquema estava connectat en paral·lel, així que no actuava. Un cop reemplaçat aquest transistor, vaig decidir ometre el circuit principal per evitar complicacions innecessàries, ja que era més fàcil connectar una font d'alimentació de 24 V als circuits secundaris directament, ja que aquests són els importants perquè controlen les bobines. De forma que en lloc d'utilitzar el transformador vaig utilitzar una font de 230 V de CA a 24 V de CC.

Un cop fet això, vaig encendre el circuit i vaig comprovar com, al passar la bola entre el LED i la BPW, un dels dos circuits, tot i que no li donava l'impuls necessari perquè els potenciòmetres encara no estaven ajustats, sí que detectava el pas de la bola i encenia el LED vermell. Per comprovar si l'altre circuit o l'altre LED estaven fets malbé, vaig intercanviar LED i circuits, però al provar cap dels dos funcionava. Davant d'aquest fracàs, vaig deixar-ho tot com estava al principi, i ja no funcionava cap circuit.

Més endavant, per provar si els circuits eren correctes, vaig soldar dos cables a la sortida i entrada del LED i la BPW dels dos circuits, per tal de poder simular el pas de la bola per la barrera fotoelèctrica (LED i BPW) creuant els cables. Al provar-ho, un circuit sí que funcionava correctament i s'encenia el LED cada cop que ajuntava els cables i, a més, la bobina donava impuls suficient a la bola per llençar-la mitja circumferència. L'altre circuit no funcionava, però revisant les connexions vaig aconseguir que funcionés.

Un cop funcionava el circuit secundari, abans de modificar el principal, que era prescindible, ja que ara disposava d'una font d'alimentació que ja feia la funció de rebaixar el voltatge, vaig centrar-me en els LED.

Buscant informació de la BPW vaig veure que el model que tenia era per a radiació infraroja, tot i que era el que especificava l'esquema i en una primera prova del circuit havia funcionat perquè va detectar la bola i encendre el LED, però per provar, vaig substituir el LED normal per un d'infrarojos.

Com no podem veure la radiació infraroja, vaig provar els LED infrarojos amb el multímetre per veure si els arribava el mateix voltatge que als LED de llum visible, que serien la meua referència de bon funcionament. A aquests primers LED visibles els arribaven 6 V però com estaven connectats en sèrie, 3 V i 3 V. Però en connectar els altres dos LED infrarojos, vaig veure que a un li arribaven 14 V i a l'altre 0,01 V. Per veure si un dels infrarojos estava fet malbé, vaig connectar l'infraroig de 14 V i un dels LED de llum visible i en mesurar les tensions tenia 12 V per a l'infraroig i 2 V per al visible, de forma que l'infraroig estava en bones condicions. De manera que vaig substituir el visible per l'altre infraroig i aquest altre seguia rebent 2 V. Com un seguia donant 6 cops més voltatge que l'altre, vaig tornar-los a connectar. Primer vaig connectar el que abans no funcionava (donava 0,01 V) i després l'altre (el de 14 V), en mesurar la tensió, el primer donava 14 V i l'altre 0,01 V, és a dir, no era problema dels circuits, ja que els dos circuits podien donar tant 14 V com 0,01 V. Finalment, els vaig intercanviar de circuit i com abans, el primer que connectava rebia els 14 V i l'altre res o molt poc, de manera que tampoc estaven trencats els LED perquè els dos

podien rebre o bé 14 V o bé 0,01 V, tot depenia de quin fos el que connectava primer i quin després, encara que estiguessin connectats en sèrie.

Com jo no entenc gaire d'electrònica i les proves amb els LED donaven resultats incomprensibles per a mi, vaig decidir abandonar aquesta part del circuit, de forma que actualment el que tinc és el circuit primari omès, ja que utilitzo la font d'alimentació i la part dels LED i BPW que encara no comprenc. Tot i això, quan uneixo manualment els cables que substitueixen aquesta barrera fotoelèctrica, la bobina actua i dispara la bola¹

¹ Aquests vídeos els trobareu en el CD al final d'aquest treball.

8. CONCLUSIONS

Fa poc més de cent anys creiem que l'àtom era una gran síndria de càrrega positiva, amb els electrons negatius incrustats en ella. Actualment, sabem que l'àtom està format per protons i neutrons compostos de diferents quarks de diferents colors que es mantenen units gràcies a la interacció nuclear forta, ja que intercanvien gluons entre ells. I al voltant d'aquests àtoms, orbiten els electrons que poden estar en diferents llocs alhora, que es poden comportar bé com a partícules o bé com a ones i que són els causants de tota la química, la biologia i la vida.

Tal com es mostra a l'apartat 6, el Model Estàndard de la Física de Partícules no és suficient per explicar tot el cosmos, de forma que la hipòtesi del treball és correcta, ja que avui dia encara hi ha molts misteris sense resposta que el Model Estàndard no explica; des de l'existència del gravitó per donar una explicació definitiva a la gravetat, fins a la matèria i energia fosques que representen el 96% del nostre univers.

Actualment, aquestes investigacions continuen i vivim en una època de constants hipòtesis i teories, com la teoria de cordes o la supersimetria. Altres afirmen que pot haver-hi universos paral·lels, com bombolles, flotant en un multivers. Fins i tot hi ha qui defensa, gràcies a les lleis de la **mecànica quàntica**, una infinitat de món paral·lels, cosa que suposaria que podria existir un món idèntic al nostre, millor dit, infinits mons idèntics al nostre.

Tot això són suposicions, per això els humans han construït grans màquines capaces d'investigar les partícules més petites per a conèixer com funciona l'Univers, el seu origen i potser, qui sap, el seu final.

Amb aquest treball he esbrinat moltes coses del funcionament i la construcció d'aquestes grans màquines, així com la tecnologia necessària per dur-les a terme i la situació de la física de partícules actual, que encara que sembli molt complexa, existeix des de fa poc més de 50 anys i encara no sabem ni una ínfima part de tots els misteris que pot ser algun dia arribin a tenir resposta.

Com a treball de camp, vaig construir una maqueta que pretén simular l'accelerador més gran que existeix avui dia (abans que es construïxi l'ILC), el LHC del CERN. Per a fer aquesta maqueta vaig seguir uns esquemes elèctrics que vaig trobar a Internet d'un professor que l'havia dissenyat per explicar als seus alumnes. Em vaig posar en contacte per correu electrònic amb ell i em va recomanar que el fes, tot i que no em va facilitar gaire informació.

Amb l'ajuda del meu pare, vam estar mesos intentant entendre els esquemes elèctrics i tots els components necessaris, ja que la informació que seguia d'Internet no era gaire clara i no hi havia ningú que hagués aconseguit fer-ho.

Primer, vàrem fer la placa del circuit imprès segons els plànols del professor i amb informació d'Internet, ja que ni jo ni el meu pare sabíem res d'electrònica ni de fer circuits impresos. Després, vaig voler provar els circuits en una taula de proves (Protoboard) que

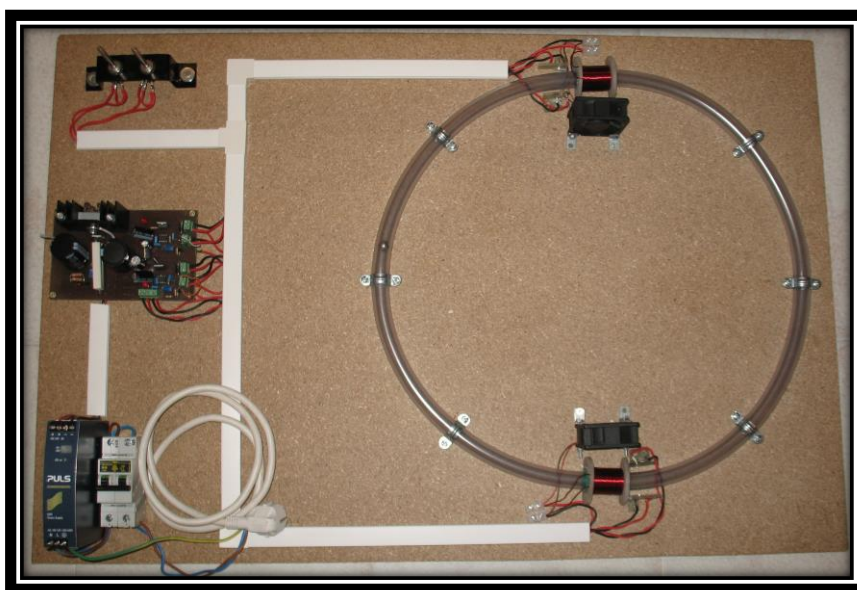
ens va deixar un amic del meu pare, però com es veu al cos del treball, es van cremar els cables i una part de la taula. Això segurament era degut a la secció dels cables, ja que la Protoboard és per provar petits circuits i el meu circuit treballa a 10 A i també perquè el circuit principal no actuava correctament i no rebaixava el corrent de 30 V a 24 V.

Com tenia la placa del circuit imprès feta i el circuit, que no feia altra cosa que cremar-se, vaig decidir soldar els components a la placa, però aquesta seguia escalfant-se i se'm va cremar un component.

Més endavant, mentre revisava els esquemes que estava seguint del treball penjat a Internet² amb el meu pare, vam comprovar que els esquemes i les pistes del circuit no quadraven ben bé. Preguntant al professor vaig esbrinar que la informació d'internet estava incompleta i les pistes que havia fet al circuit imprès eren errònies, de forma que vaig haver d'arreglar la placa.

Un cop amb la placa arreglada, vàrem veure que el circuit no funcionava, però almenys no es cremava. Així que el meu pare, que és tècnic electricista, em va oferir l'alternativa elèctrica amb relés i temporitzadors, però no va arribar a funcionar, ja que per accelerar la bola es necessiten uns voltatges, intensitats i temporitzacions molt precisos. Mentre feia aquestes proves elèctriques, em vaig posar en contacte amb la meva exprofessora de tecnologia, Rosanna Fernández, que em va posar en contacte amb un enginyer electrònic del CESIRE, en Jordi Regalés, que ens va resoldre alguns dubtes.

Aquesta és la meva situació actual: per evitar el circuit primari, com em va dir en Jordi, utilitzo una font d'alimentació que em va prestar el meu pare, directament connectada als circuits duplicats de les bobines. Quan encenc el circuit, funcionen els ventiladors de les bobines, els LED i els circuits no es cremen. L'únic que no funciona són els components que detecten el pas de la bola, de forma que si uneixo els cables soldats que substitueixen aquesta part del circuit, sí que s'impulsa la bola.



Muntatge final

² Adreça del treball original: http://www.i-cpan.es/concurso3/docs/premio_experimentos.pdf

Amb aquest treball pràctic he après moltes coses de circuits elèctrics i esquemes, així com a fer circuits impresos o com funcionen els components elèctrics. A més també m'ha servit per aprendre a utilitzar aparells com el soldador o altres més complexos com un oscil·loscopi.

A més, m'ha servit per veure les aplicacions pràctiques dels conceptes d'electromagnetisme treballats a classe, com per exemple del flux magnètic, ja que en manipular tu mateix les bobines i trobar-te tu els errors, és una altra forma de veure aquests conceptes; per exemple, jo no sabia que depenent de la polaritat de les bobines, atraïa o repel·lia la bola.

També he adquirit nous coneixements sobre la física de partícules i els acceleradors, ja que en un futur m'agradaria dedicar-me a això, de forma que també m'ha servit per acabar de decidir-me, ja que he trobat el treball molt entretingut i encara m'agradaria seguir investigant sobre aquest tema perquè queden moltíssimes coses que m'agradaria haver explicat.

Tot i que encara no he aconseguit que funcioni la maqueta³, tinc la intenció de continuar intentant-ho i estic segur, que tard o d'hora, la faré funcionar, a mesura que vagi adquirint coneixements. Al cap i a la fi, la física és una ciència que requereix molta investigació i paciència.

³ En el CD podreu trobar imatges i vídeos complementaris.

9. BIBLIOGRAFIA

Internet:

- http://www.i-cpan.es/concurso3/docs/premio_experimentos.pdf (30/6/14)
- <http://www.robotsperu.org/foros/aprendiendo-a-fabricar-circuitos-impresos-caseros-vp1191.html> (1/7/14)
- <http://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/einstein-explica-emc2.html> (6/7/14)
- <http://conexioncausal.wordpress.com/2013/03/21/que-es-la-radiacion-de-fondo-de-microondas/> (6/7/14)
- <http://definicion.de/energia/> (6/7/14)
- <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Materia1.htm> (6/7/14)
- <https://www.youtube.com/watch?v=LPHhwu2RZi8> (6/7/14)
- <http://www.espacioprofundo.com.ar/astronomia/fisica-cosmologia/373-que-es-la-antimateria.html> (6/7/14)
- <http://www.elorigendelhombre.com/big%20bang.html> (6/7/14)
- <http://www.astromia.com/astronomia/teoriabigbang.htm> (6/7/14)
- <https://www.youtube.com/watch?v=dkY8tXQPxAAM> (10/7/14)
- https://www.youtube.com/watch?v=gUhVH-4_kDg (10/7/14)
- <http://pdg.lbl.gov/> (15/7/14)
- <http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/mapa.html> (15/7/14)
- <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modeloestandar.pdf> (15/7/14)
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hframe.html> (17/7/14)
- <http://astrojem.com/index.html> (17/7/14)
- https://www.youtube.com/watch?v=UYM_rdvqQWw (18/7/14)
- <http://astrociencia-universo.blogspot.com.es/p/dimensiones-del-universo.html> (18/5/14)
- <http://astronomia.net/cosmologia/BBhistoria.htm> (18/7/14)
- <https://www.google.es/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=experimento%20ba%20bar&safe=off> (31/7/14)
- <https://www.youtube.com/watch?v=xpSaH-qSQYw&hl=es> (31/7/14)
- <http://www.lhc-closer.es/2/1/1/0> (15/8/14)
- <http://www.monografias.com/trabajos91/acelerador-particulas/acelerador-particulas.shtml#iiiaccelera> (17/8/14)

- http://es.slideshare.net/Jean_Carlo_M/acelerador-de-particulas-11339084?related=1
(17/8/14)
- <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/Electromagnetismo09.htm> (17/8/14)
- <https://www.youtube.com/watch?v=VWvr3l3SdUs> (22/8/14)
- http://socrates.berkeley.edu/~fajans/ALPHA_Spanish/SP_nosotros.htm (24/8/14)
- <http://cms-safety.web.cern.ch/cms-safety/saf.php> (26/8/14)
- <http://www.ams02.org/es/%C2%BFque-es-ams/el-detector/el-trd/> (26/8/14)
- http://timeline.web.cern.ch/timelines/cern-accelerators/overlay#1957-05-110_0:30:00
(27/8/14)
- <http://home.web.cern.ch/about/experiments> (27/8/14)
- http://timeline.web.cern.ch/timelines/The-story-of-antimatter/overlay#1981-04-03_23:30:00
(29/8/14)
- <http://home.web.cern.ch/about/computing> (29/8/14)
- <https://indico.cern.ch/event/69527/contribution/8/material/slides/0.pdf> (30/8/14)
- <http://home.web.cern.ch/about/engineering> (1/9/14)
- <http://www.ams02.org/es/%C2%BFque-es-ams/el-detector/el-detector-rich/> (2/9/14)
- <http://www.ams02.org/es/%C2%BFque-es-ams/el-detector/el-trd/> (3/9/14)
- https://edms.cern.ch/file/973073/1/Report_on_080919_incident_at_LHC__2_.pdf (10/9/14)
- <http://press.web.cern.ch/press-releases/2008/10/cern-releases-analysis-lhc-incident>
(11/9/14)
- https://www.youtube.com/watch?v=Xia7bg_cQMI (30/11/14)
- <https://www.youtube.com/watch?v=0UlkPgHOARk> (30/11/14)
- <http://www.linearcollider.org/ILC/What-is-the-ILC> (30/11/14)
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/music/pianof.html> (8/12/14)
- <http://newsline.linearcollider.org/2013/08/08/the-ilc-at-a-glance-2/> (8/12/14)
- <http://www.fnal.gov/pub/tevatron/tevatron-accelerator.html> (31/12/14)
- <http://www.lightsources.org/facility/nsls> (31/12/14)
- <http://www.popsci.com/article/science/worlds-most-powerful-x-ray-making-accelerator-open-year-long-island> (31/12/14)
- <http://www.ins.cornell.edu/public/lab-info/cesr.html> (31/12/14)
- http://www.desy.de/index_eng.html (31/12/14)
- <http://m.desy.de/> (31/12/14)

- <http://english.ihep.cas.cn/au/> (31/12/14)
- <http://legacy.kek.jp/intra-e/Introduction/enkaku.html> (31/12/14)
- <http://losmundosdebrana.wordpress.com/2013/04/17/ernest-lawrence-y-los-inicios-de-la-gran-ciencia-ii-los-muchachos-del-rad-lab/> (3/1/15)
- <http://es.thefreedictionary.com/%C3%A1nodo> (7/1/15)
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/elequad.html> (7/1/15)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Detector_de_part%C3%ADculas (7/1/15)
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/geoopt/refr.html> (7/1/15)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_Lorentz (7/1/15)
- http://www.ecured.cu/index.php/Longitud_de_onda (7/1/15)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia> (7/1/15)
- <http://mecanica427.blogspot.com.es/2009/03/mecanica-relativista.html> (7/1/15)
- <https://conexioncausal.wordpress.com/2013/03/21/que-es-la-radiacion-de-fondo-de-microondas/> (7/1/15)
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/particles/synchrotron.html> (7/1/15)
- http://es.wikipedia.org/wiki/Seis_Sigma (7/1/15)
- <http://astrojem.com/teorias/espin.html> (7/1/15)
- http://www.ecured.cu/index.php/Tubo_de_rayos_cat%C3%B3dicos (7/1/15)
- <http://www.eis.uva.es/~qgintro/atom/tutorial-10.html> (7/1/15)
- <http://www.mantra.com.ar/contmanifestacionesenergeticas/queeslafisicacuantica.html> (10/1/15)
- <http://www.laser.uvigo.es/Docencia/Industriales/AF.08/pdf/unidades0506.pdf> (13/1/15)

Llibres:

- GREENE, Brian B. *El universo elegante*, Editorial Booket, 2012 (581 p.)
- FERNÁNDEZ VIDAL, Sònia. *La Puerta de los 3 cerrojos*, Editorial laGalera, 2013 (203 p.)
- FERNÁNDEZ VIDAL, Sònia. *Desayuno con partículas*, Editorial laGalera, 2013 (241 p.)

Altres:

- Standard Model of Particle Physics (Aplicació per a mòbil)
- El CERN i el LHC (Xerrada campus Physis 2014 UB)
- Agujeros Negros y Teoría de Cuerdas (Xerrada campus Physis 2014 UB)

10. ANNEXOS

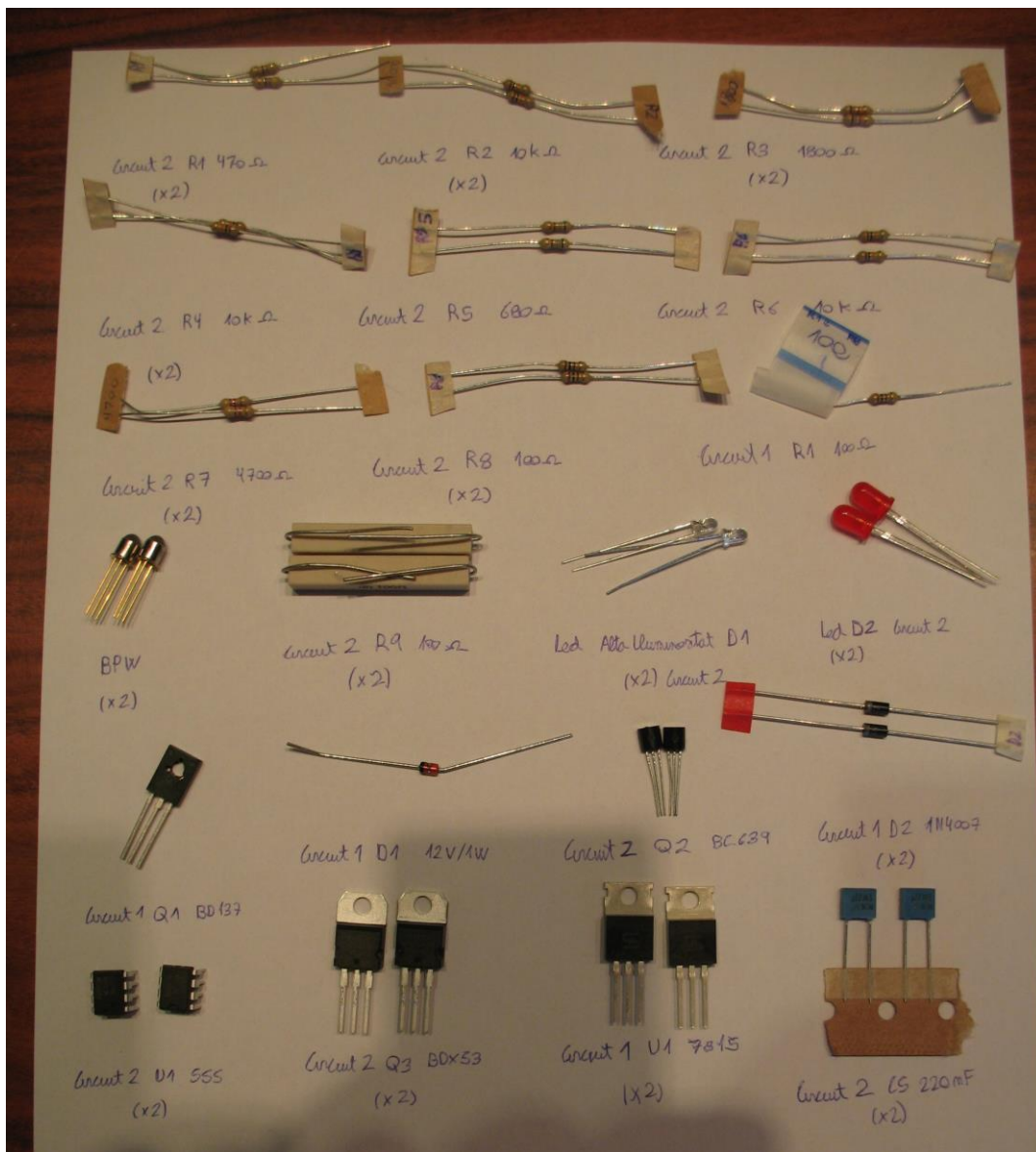
10.1 PLÀNOLS I COMPONENTS



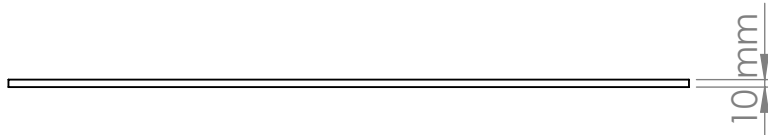
Components elèctrics utilitzats



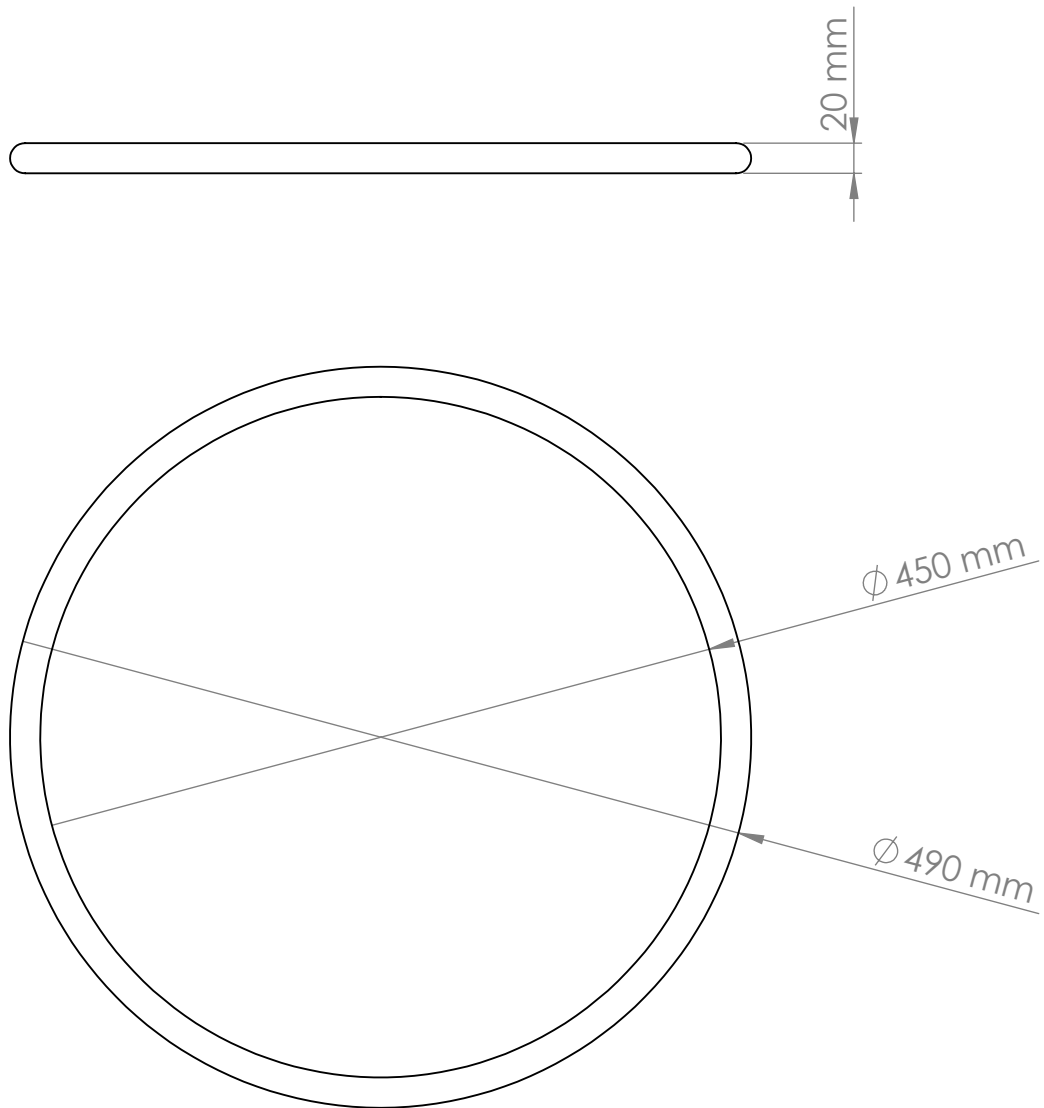
Components elèctrics utilitzats



Components elèctrics utilitzats



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			NO CAMBIE LA ESCALA			REVISIÓN		
DIBUJ.			VERIF.			APROB.			FABR.			CALID.		
NOMBRE			FIRMA			FECHA			TÍTULO:			TAULELL DE FUSTA		
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO			PEÇA 1			A4			80		
PESO:			ESCALA: 1:10											



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

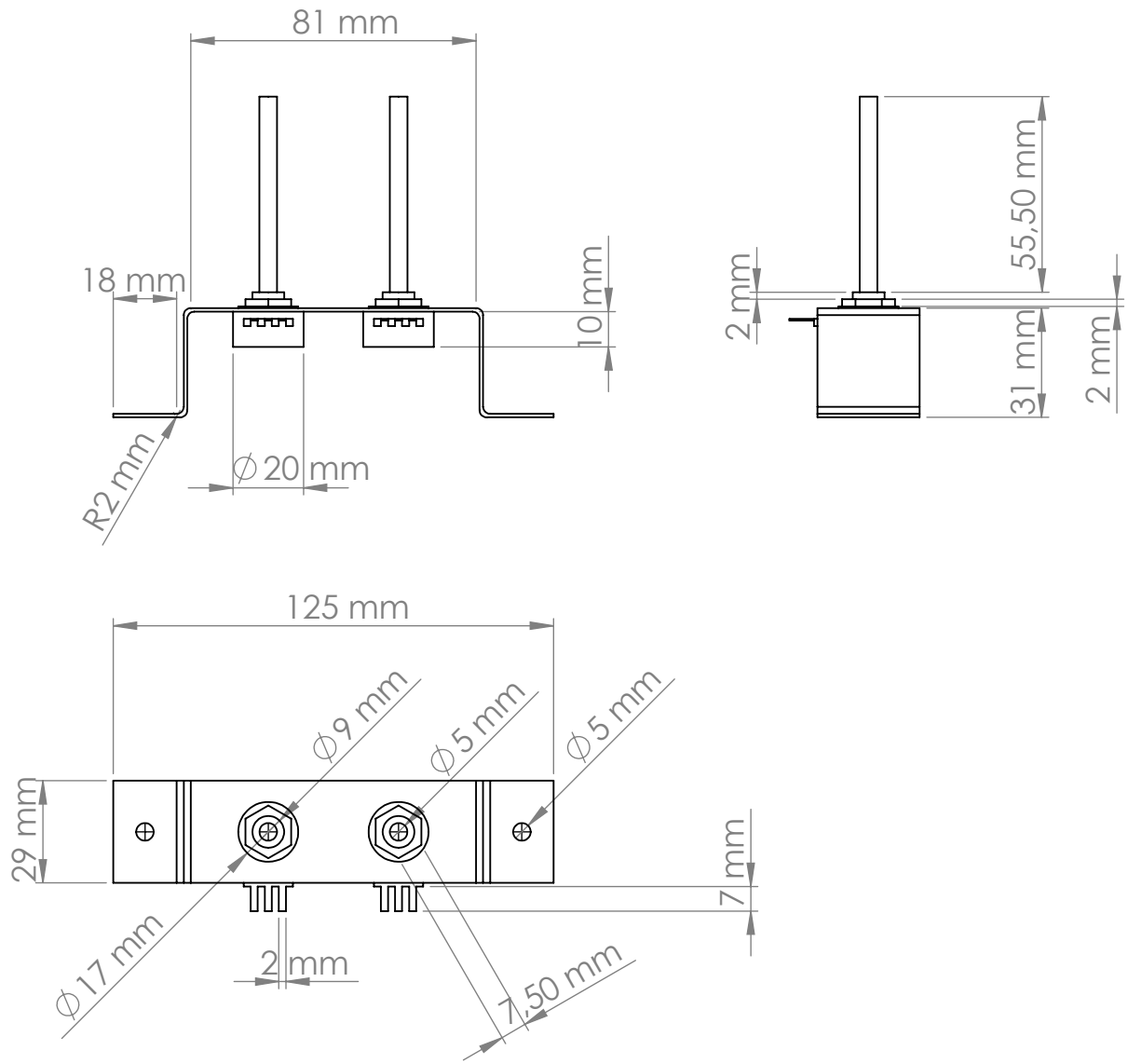
MÀNEGA DE GOMA

N.º DE DIBUJO

PEÇA 2

A4

ESCALA: 1:5



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	SUPORT POTENCIÒMETRES	
N.º DE DIBUJO		
ESCALA: 1:2		A4
		82

10.2 PRESSUPOST

COMPONENT	PREU
Taulell de fusta aglomerada	10 €
Interruptor Magnetotèrmic	15 €
Mànega i bola metàl·lica	3 €
2 Ventiladors	20 €
Placa de fibra de vidre	6,7 €
Cables, regletes, i fil de coure	17 €
Abraçadores i cargols	5 €
Pont de díodes	4 €
5 potenciòmetres	10 €
Resistències, díodes	9,4 €
Transistors diversos	5,8 €
LED, BPW	20 €
Transformador	32 €
3 transistors MOSFET	25 €
Condensadors diversos	30,5 €
TOTAL	213,4 €

10.3 GLOSSARI

Ànode: pol positiu d'un generador elèctric.

BPW: Detector fotoelèctric, que en tallar-se el feix de llum provinent del LED, actua com un interruptor obert.

CERN: Centre Europeu per a la Recerca Nuclear., situat a Suïssa.

Quadrupolar: Imant amb 4 pols, 2 positius i 2 negatius, oposats entre si els de càrregues iguals.

Decaure: Fenomen en què una partícula es desintegra i sorgeixen dues o més partícules de l'energia alliberada en aquesta desintegració.

Detectors: Dispositiu utilitzat per rastrejar i identificar partícules produïdes en una col·lisió.

Espai-temps: Representació bidimensional de les 4 dimensions de l'Univers (3 espacials i el temps), segons la Teoria de la Relativitat d'Einstein.

Electró-volt (eV): Energia cinètica adquirida per un electró accelerat en el buit per una diferència de potencial d'1 volt. Gigaelectró-volt (GeV) = 10^9 eV.

Factor de Lorentz: Terme utilitzat per corregir les equacions de la mecànica relativista com la dilatació del temps o la contracció de longituds. Es representa per γ i correspon a

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

En què v és la velocitat del cos i c la velocitat de la llum

Física Newtoniana: física que estudia el moviment de sòlids y partícules en un espai tridimensional, segons l'estàtica (forces en equilibri), la cinemàtica (moviment) i la dinàmica (energies i forces).

Freqüència: Magnitud que mesura el nombre de repeticions per segon de qualsevol fenomen o succés periòdic.

Hadrons: Grup format per 3 o més quarks, que es mantenen units gràcies a la força nuclear forta, intercanviant gluons entre ells.

Índex de Refracció: Mesura de la disminució de la velocitat de la llum en el buit al propagar-se per un altre medi homogeni.

Interaccions Fortes: Força fonamental del Model Estàndard encarregada de mantenir units els quarks per formar hadrons i els protons i els neutrons a dins del nucli atòmic.

Longitud d'ona: distància que recorre una ona en un temps determinat. Gràficament és la distància entre dues crestes o valls d'una ona.

Mecànica quàntica: física que estudia el comportament de les partícules a escala atòmica o subatòmica.

Mecànica Relativista: física que estudia el moviment de grans cossos i compren les Teories Especial i General de la Relativitat d'Einstein.

Nombre quàntic: valors numèrics que indiquen les característiques físiques dels electrons d'un àtom. Hi ha 4 nombres que designen: energia, forma de l'orbital, orientació espacial de l'orbital i spin.

PET: Tomografia per Emissió de Positrons, és un mètode de diagnosi que mesura l'activitat metabòlica del cos humà gracies a un radiofàrmac que emet fotons gamma.

Radiació de fons de Microones: Radiació originada quan l'Univers tenia 380.000 anys i correspon a la primera radiació emesa, ja que anteriorment l'Univers era opac.

Radiació Síncrotró: Radiació que emeten les partícules quan són accelerades en una trajectòria corba, com en un síncrotró.

Resistències d'abocament: Grans tubs de formigó i plom situats en un extrem dels acceleradors de partícules que serveixen per aturar els feixos de partícules al final de la seva vida útil.

Principi d'incertesa de Heisenberg: segons aquest principi de la mecànica quàntica, és impossible conèixer simultàniament la velocitat i la posició d'una partícula.

Sabor: és una propietat que permet distingir els 6 tipus de quarks o els 6 tipus de leptons.

Sigmes: l'escala de les 6 sigmes és una mesura de probabilitats. Per a donar a conèixer un nou descobriment, aquest ha de tenir com a mínim 5 sigmes, que correspon al 99,977% de probabilitats que no sigui un error.

Spin: propietat física de les partícules que determina el moviment angular d'aquestes, és a dir, la seva rotació. Correspon al 4t nombre quàntic.

Tesla (T): unitat de camp magnètic, que correspondria a la inducció que exerceix una força d'1 N sobre una càrrega d'1 C que és mou perpendicularment a 1 m/s. $1 \text{ mT} = 10^{-3} \text{ T}$.

Tubs catòdics: tub de vidre on un canó d'electrons emet un feix d'electrons que en xocar contra una pantalla emet llum (transformen l'energia cinètica en lumínica).