**ELECTROMAGNETISME**

**De Viquipèdia**

Dreceres ràpides: [navegació](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#column-one), [cerca](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#searchInput)

L'**electromagnetisme** és la part de la [física](http://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%ADsica) que estudia els [camps electromagnètics](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_electromagn%C3%A8tic), uns [camps](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_%28F%C3%ADsica%29) que exerceixen una [força](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a) sobre les [partícules](http://ca.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_elemental) amb [càrrega elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/C%C3%A0rrega_el%C3%A8ctrica) al mateix temps que són afectats per la presència i el [moviment](http://ca.wikipedia.org/wiki/Moviment) d'aquestes partícules.

El [camp magnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_magn%C3%A8tic) es produeix pel moviment de les càrregues elèctriques, com per exemple en el cas del [corrent elèctric](http://ca.wikipedia.org/wiki/Corrent_el%C3%A8ctric).

El camp magnètic produeix una força magnètica del mateix tipus que la dels [imants](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imant).

Un camp magnètic canviant produeix un [camp elèctric](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_el%C3%A8ctric), es tracta del fenomen de la [inducció electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3_electromagn%C3%A8tica) que s'utilitza en el funcionament dels [generadors elèctrics](http://ca.wikipedia.org/wiki/Generador_el%C3%A8ctric), els [motors elèctrics](http://ca.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A8ctric) i els [transformadors](http://ca.wikipedia.org/wiki/Transformador).

De manera similar, un camp elèctric canviant genera un camp magnètic.

Com a conseqüència d'aquesta interdependència entre els camps elèctrics i magnètics, té sentit considerar tots dos com una única entitat, el camp electromagnètic.

Aquesta unificació va ser desenvolupada per diferents físics en el curs del [segle XIX](http://ca.wikipedia.org/wiki/Segle_XIX) i va culminar amb els treballs de [James Clerk Maxwell](http://ca.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell) que va unificar els treballs anteriors en una sola teoria.

Més tard [Oliver Heaviside](http://ca.wikipedia.org/wiki/Oliver_Heaviside) va simplificar i reformular les [equacions de Maxwell](http://ca.wikipedia.org/wiki/Equacions_de_Maxwell) en la forma en que les coneixem avui.

Maxwell va descobrir la natura electromagnètica de la [llum](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llum) i, com a conseqüència, avui es considera que la llum és una alteració [oscil·latòria](http://ca.wikipedia.org/wiki/Oscil%C2%B7laci%C3%B3) que es propaga en el camp electromagnètic, com una [ona](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ona) electromagnètica.

Les diferents [freqüències](http://ca.wikipedia.org/wiki/Freq%C3%BC%C3%A8ncia) de l'oscil·lació donen origen a les diferents formes de [radiació electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_electromagn%C3%A8tica) de l'[espectre electromagnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Espectre_electromagn%C3%A8tic), des de les [ones de ràdio](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiofreq%C3%BC%C3%A8ncia) a baixes freqüències als [raigs gamma](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_gamma) a les més altes freqüències, passant per la [llum visible](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llum) a freqüències mitjanes.

Les implicacions teòriques de l'electromagnetisme van portar a [Albert Einstein](http://ca.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) a desenvolupar la [relativitat especial](http://ca.wikipedia.org/wiki/Relativitat_especial) el [1905](http://ca.wikipedia.org/wiki/1905).

El descobriment de la [mecànica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A0nica_qu%C3%A0ntica) obligà a formular una teoria quàntica del electromagnetisme, completada a la dècada del [1940](http://ca.wikipedia.org/wiki/1940) i coneguda com [electrodinàmica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electrodin%C3%A0mica_qu%C3%A0ntica).

**Taula de continguts**

[1 Història](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#Hist.C3.B2ria)

[2 La força electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#La_for.C3.A7a_electromagn.C3.A8tica)

[3 Electrodinàmica clàssica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#Electrodin.C3.A0mica_cl.C3.A0ssica)

[4 L'efecte fotoelèctric i l'electrodinàmica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#L.27efecte_fotoel.C3.A8ctric_i_l.27electrodin.C3.A0mica_qu.C3.A0ntica)

[5 L'electromagnetisme relativista](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#L.27electromagnetisme_relativista)

[6 Unitats](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#Unitats)

**Història**

Coneixem algunes versions sobre l'origen de l'electromagnetisme.

La primera és la dels [xinesos](http://ca.wikipedia.org/wiki/Xina), que suggereixen que va ser conegut a principis de l'any [2000 aC](http://ca.wikipedia.org/wiki/2000_aC).

Una altra es basa en el fet que els [antics grecs](http://ca.wikipedia.org/wiki/Antiga_Gr%C3%A8cia) van començar a observar els fenòmens elèctrics i magnètics damunt l'any [700 aC](http://ca.wikipedia.org/wiki/700_aC).

En aquells moments van descobrir que un tros d'[ambre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ambre) fregat s’electrificava i era capaç d'atreure fils de [palla](http://ca.wikipedia.org/wiki/Palla) o [plomes](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ploma).

La paraula elèctric prové de la paraula grega per a l'ambre: ηλεκτρον (elektron).

La vertadera existència de la força magnètica es va conèixer en observar que fragments d'una roca natural anomenada [magnetita](http://ca.wikipedia.org/wiki/Magnetita) (Fe3 O4) atreia el [ferro](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ferro).

El nom de la pedra ve del nom del districte de [Grècia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A8cia) on es va descobrir, [Magnèsia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A8sia_%28Tess%C3%A0lia%29) de [Tessàlia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Tess%C3%A0lia).

[Otto von Guericke](http://ca.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Guericke), ([1602](http://ca.wikipedia.org/wiki/1602)-[1688](http://ca.wikipedia.org/wiki/1688)), més conegut pels seus experiments amb el [buit](http://ca.wikipedia.org/wiki/Buit), va treballar al final de la seva carrera en [electricitat estàtica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electricitat_est%C3%A0tica) i el [1663](http://ca.wikipedia.org/wiki/1663) va idear la primera [màquina electrostàtica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Generador_electrost%C3%A0tic), amb ella va descobrir que dos cossos electrificats del mateix tipus es repel·lien (fins llavors només es coneixia l'atracció electrostàtica).

També li va permetre d'observar com sortien espurnes d'una bola de [sofre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Sofre) mentre la carregava, efecte que més tard seria conegut com [electroluminescència](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electroluminesc%C3%A8ncia).

[Stephen Gray](http://ca.wikipedia.org/wiki/Stephen_Gray), ([1666](http://ca.wikipedia.org/wiki/1666)-[1736](http://ca.wikipedia.org/wiki/1736)), va descobrir la [conductivitat elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat_el%C3%A8ctrica) utilitzant tubs de vidre electrificats per fregament i va estendre els seus experiments a altres materials diferenciant entre els [conductors](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conductor_el%C3%A8ctric) i els [aïllants](http://ca.wikipedia.org/wiki/A%C3%AFllant_el%C3%A8ctric).

[Charles François de Cisternay du Fay](http://ca.wikipedia.org/wiki/Charles_Fran%C3%A7ois_de_Cisternay_du_Fay), ([1698](http://ca.wikipedia.org/wiki/1698)-[1739](http://ca.wikipedia.org/wiki/1739)), va experimentar amb diferents materials i va trobar que només havia dos tipus d'electricitat estàtica: la que es produïa fragant el vidre i la que es produïa fregant l'ambre i que els objectes carregats amb la d'un tipus es repel·lien mentre que els de diferent tipus s'atreien.

És el que avui considerem com a càrregues positives i negatives.

El [1745](http://ca.wikipedia.org/wiki/1745) [Ewald Georg von Kleist](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ewald_Georg_von_Kleist) va descobrir que es podia emmagatzemar una càrrega elèctrica en una ampolla embolcallada en una fulla d'[argent](http://ca.wikipedia.org/wiki/Plata), carregant la fulla amb un generador electrostàtic.

El [1746](http://ca.wikipedia.org/wiki/1746) [Pieter van Musschenbroek](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Pieter_van_Musschenbroek&action=edit&redlink=1) va fer la mateixa descoberta a la universitat de [Leiden](http://ca.wikipedia.org/wiki/Leiden) de manera independent, Musschenbroek va difondre el seu descobriment entre el món científic de l'època i avui és conegut com a [ampolla de Leiden](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ampolla_de_Leiden), el primer [condensador](http://ca.wikipedia.org/wiki/Condensador) de la història.

Durant la segona meitat del [segle XVIII](http://ca.wikipedia.org/wiki/Segle_XVIII) els experiments elèctrics es van posar de moda com a entreteniment.

Als salons de l'alta societat i davant el gran públic s'utilitzaven màquines electrostàtiques per electrificar les persones.

El [1751](http://ca.wikipedia.org/wiki/1751) [Benjamin Franklin](http://ca.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin) va publicar els seus experiments elèctrics, aprofitava el principi de [conservació de la càrrega](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conservaci%C3%B3_de_la_c%C3%A0rrega), també descobert pel físic anglès [William Watson](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=William_Watson&action=edit&redlink=1) i d'altres, però era el primer a utilitzar el terme positiu i negatiu per a denominar els dos tipus d'electricitat (llavors anomenat *fluid elèctric*).

Franklin va postular que només havia un únic tipus d'electricitat i que un cos contenia la mateixa quantitat d'electricitat positiva que d'electricitat negativa, de manera que l'una anul·lava l'altra.

I per tant, l'electrificació no era altra cosa que la presència d'un dels dos tipus en major proporció.

El [1752](http://ca.wikipedia.org/wiki/1752) Franklin va fer la conjectura de que els [llamps](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llamp) era una descàrrega elèctrica i proposà d'utilitzar un [estel](http://ca.wikipedia.org/wiki/Milotxa) durant una [tempesta](http://ca.wikipedia.org/wiki/Tempesta) per carregar una ampolla de Leiden com a demostració; el [1752](http://ca.wikipedia.org/wiki/1752) [Thomas-François Dalibard](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Thomas-Fran%C3%A7ois_Dalibard&action=edit&redlink=1) va portar a terme l'experiment amb èxit, uns mesos després ho faria el mateix Franklin; el [1753](http://ca.wikipedia.org/wiki/1753), en un experiment similar va perdre la vida el físic alemany [Georg Wilhelm Richmann](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Georg_Wilhelm_Richmann&action=edit&redlink=1).

[Joseph Priestly](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Joseph_Priestly&action=edit&redlink=1) ([1733](http://ca.wikipedia.org/wiki/1733) - [1804](http://ca.wikipedia.org/wiki/1804)) va fer experiments sobre la [conductivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat_el%C3%A8ctrica) dels materials i treballant amb esferes carregades va arribar a la [llei de la inversa del quadrat](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Llei_de_la_inversa_del_quadrat&action=edit&redlink=1) com a explicació del comportament de les càrregues elèctriques, però no va anar més enllà per generalitzar les seves observacions i el seu descobriment no va tenir més transcendència.

El mateix li va passar a [John Robison](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=John_Robison&action=edit&redlink=1) ([1739](http://ca.wikipedia.org/wiki/1739) – [1805](http://ca.wikipedia.org/wiki/1805)) que va arribar experimentalment a la llei de la inversa del quadrat però no va publicar les seves observacions i van restar oblidades.

[Charles-Augustin de Coulomb](http://ca.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb) ([1736](http://ca.wikipedia.org/wiki/1736) – [1806](http://ca.wikipedia.org/wiki/1806)) va utilitzar una balança de torsió de la seva invenció per estudiar el comportament de les càrregues elèctriques i va arribar a la llei de la inversa del quadrat aplicada a l'electricitat formulada com una llei general coneguda com la [llei de Coulomb](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llei_de_Coulomb).

[Henry Cavendish](http://ca.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish) ([1731](http://ca.wikipedia.org/wiki/1731) - [1810](http://ca.wikipedia.org/wiki/1810)) va portar a terme gran nombre d'experiments però no van ser coneguts fins un segle més tard, quan [James Clerk Maxwell](http://ca.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell) els va recuperar i publicar el [1879](http://ca.wikipedia.org/wiki/1879) quan altres científics ja havien arribat als mateixos resultats.

Cavendish va arribar a comprovar la llei de la inversa del quadrat de la distància, va crear una unitat de [capacitància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A0ncia) (una esfera d'una polzada de diàmetre), va trobar la fórmula de la capacitància d'un [condensador](http://ca.wikipedia.org/wiki/Condensador), va utilitzar el concepte de [constant dielèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Constant_diel%C3%A8ctrica) d'un material, va arribar al concepte de [potencial elèctric](http://ca.wikipedia.org/wiki/Potencial_el%C3%A8ctric) i va establir la relació entre aquest i el corrent avui coneguda com a [llei d'Ohm](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llei_d%27Ohm) i va establir les lleis que regeixen la divisió del corrent als [circuits paral·lels](http://ca.wikipedia.org/wiki/Circuit_en_paral%C2%B7lel), avui atribuïdes a [Charles Wheatstone](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Wheatstone&action=edit&redlink=1).

[Luigi Galvani](http://ca.wikipedia.org/wiki/Luigi_Galvani) ([1737](http://ca.wikipedia.org/wiki/1737) – [1798](http://ca.wikipedia.org/wiki/1798)) va descobrir els efectes de l'electricitat sobre els [músculs](http://ca.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAscul) d'una [granota](http://ca.wikipedia.org/wiki/Granota), iniciant el [bioelectromagnetisme](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Bioelectromagnetisme&action=edit&redlink=1).

El [1790](http://ca.wikipedia.org/wiki/1790) va portar a terme una sèrie d'experiments per estudiar la resposta als estímuls de l'electricitat sobre la contracció dels músculs de les granotes en ser tocats per un conductor connectat a una màquina electrostàtica.

Galvani va explicar les seves observacions amb la hipòtesi de l'existència d'una *electricitat animal* que en contacte amb el metall carregat extern produïa la contracció, pensava que el múscul era un magatzem d'electricitat.

El [1791](http://ca.wikipedia.org/wiki/1791) va publicar els resultats de les seves experiències a *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*.

El terme [galvanisme](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Galvanisme&action=edit&redlink=1) s'utilitza per denominar la contracció dels músculs sotmesos a un corrent elèctric.

[Alessandro Volta](http://ca.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta) ([1745](http://ca.wikipedia.org/wiki/1745) – [1827](http://ca.wikipedia.org/wiki/1827)), professor de física, primer a [Como](http://ca.wikipedia.org/wiki/Como) i després a la Universitat de [Pavia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Pavia), es va dedicar a l'estudi l'electricitat i el [1775](http://ca.wikipedia.org/wiki/1775) va inventar un [generador electrostàtic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Generador_electrost%C3%A0tic) anomenat [electròfor](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Electr%C3%B2for&action=edit&redlink=1).

Intentant mesurar la càrrega elèctrica va arribar a construir un aparell que molt més tard s'anomenaria voltímetre.

En conèixer els treballs de Galvani va reproduir els seus experiments però va arribar a la conclusió que la granota no era un dipòsit d'electricitat sinó que es limitava a detectar la seva presència, actuava com un electròmetre.

Experimentant amb les granotes i els arcs de metall de Galvani va trobar que dos metalls en contacte adquirien potencials diferents, fenomen que rebria el nom d'[efecte Volta](http://ca.wikipedia.org/wiki/Efecte_Volta).

Basant-se en aquesta descoberta, el [1800](http://ca.wikipedia.org/wiki/1800) va inventar la [pila voltaica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Pila_voltaica); durant la seva investigació Volta va posar en contacte diversos parells de discs alterns de [coure](http://ca.wikipedia.org/wiki/Coure), [plata](http://ca.wikipedia.org/wiki/Plata) i [zinc](http://ca.wikipedia.org/wiki/Zinc) separats per roba o [cartró](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Cartr%C3%B3&action=edit&redlink=1) impregnats amb [salmorra](http://ca.wikipedia.org/wiki/Salmorra) per incrementar la [conductivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat_el%C3%A8ctrica), observant que es produïa un corrent elèctric continu entre els seus extrems i d'una intensitat força més gran que la que s'obtenia amb les màquines electrostàtiques.

Les piles voltaiques van suposar un abans i un després a la història de l'electricitat, s'en van construir grans piles capaces de subministrar fins a 10 amperes a 1.000 volts, un canvi radical si comparem aquests valors amb els generadors electrostàtics capaços de produir descàrregues elèctriques d'alt voltatge però d'una intensitat molt petita.

La pila voltaica va ser utilitzada en nombrosos experiments: va portar a [William Nicholson](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=William_Nicholson&action=edit&redlink=1) i [Anthony Carlisle](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Anthony_Carlisle&action=edit&redlink=1) a l'[electròlisi](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B2lisi) de l'aigua; [Humphry Davy](http://ca.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy) va demostrar que el corrent elèctric de la pila voltaica era causat per una [reacció química](http://ca.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3_qu%C3%ADmica) i no per l'efecte volta; [William Hyde Wollaston](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=William_Hyde_Wollaston&action=edit&redlink=1) va demostrar que l'electricitat de la pila voltaica era idèntica a la que produïen els generadors electrostàtics.

L'electricitat i el magnetisme es van desenvolupar com a ciències independentment l'una de l'altra fins el [1820](http://ca.wikipedia.org/wiki/1820), quan un [físic](http://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%ADsic) i [químic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Qu%C3%ADmic) [danès](http://ca.wikipedia.org/wiki/Dinamarca) anomenat [Hans Christian Ørsted](http://ca.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted) ([1777](http://ca.wikipedia.org/wiki/1777) – [1851](http://ca.wikipedia.org/wiki/1851)) que pensava que totes les forces de la natura eren relacionades entre si, va observar una relació entre els dos fenomens: experimentant amb una pila voltaica Ørsted va veure que el [corrent elèctric](http://ca.wikipedia.org/wiki/Corrent_el%C3%A8ctric) que passava per un filferro podia afectar a l'agulla magnètica d'una [brúixola](http://ca.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BAixola).

Poc després es va comprovar que tot fenomen magnètic era produït per corrents elèctrics i s’unificaren de manera definitiva el magnetisme i l'electricitat, originant la branca de física que coneixem com a electromagnetisme.

[André-Marie Ampère](http://ca.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9-Marie_Amp%C3%A8re) ([1775](http://ca.wikipedia.org/wiki/1775) – [1836](http://ca.wikipedia.org/wiki/1836)) va assistir a la presentació que [Francesc Aragó](http://ca.wikipedia.org/wiki/Francesc_Arag%C3%B3) va fer a l'[Acadèmia Francesa de les Ciències](http://ca.wikipedia.org/wiki/Acad%C3%A8mia_Francesa_de_les_Ci%C3%A8ncies) el setembre del [1920](http://ca.wikipedia.org/wiki/1920)[[1]](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme#cite_note-0) de les descobertes d'Ørsted i va desenvolupar un interès tan gran sobre el tema que en molt poc temps, el 25 de setembre del 1920, va llegir una memòria sobre l'efecte del corrent elèctric d'una pila voltaica sobre una agulla magnètica i presenta un fet nou: la interacció de dos corrents sense mediació d'un imant.

Ampère va continuar treballant sobre els corrents elèctrics durant els anys següents, presentant memòries a l'Acadèmia de les Ciències i publicant els resultats del seu treball, finalment el [1827](http://ca.wikipedia.org/wiki/1827) va publicar *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* on va exposar els seus experiments i els fonaments dels fenomens observats (el que avui coneixem coma a [llei d'Ampère](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llei_d%27Amp%C3%A8re)):

Dos conductors paral·lels a través dels quals passa un corrent en el mateix sentit s'atreuen i es repel·leixen si els corrents van en sentit oposat; l'efecte magnètic d'un conductor a través del que passa un corrent elèctric és idèntic al d'un [imant](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imant) permanent; la magnetització és alineament de les molècules a causa d'un camp magnètic extern.

L’existència d'ones electromagnètiques, de les quals les microones formen part de l'espectre d'alta [freqüència](http://ca.wikipedia.org/wiki/Freq%C3%BC%C3%A8ncia), van ser predites per James Clerk Maxwell el [1864](http://ca.wikipedia.org/wiki/1864) per les seves famoses equacions.

En [1888](http://ca.wikipedia.org/wiki/1888), [Heinrich Rudolf Hertz](http://ca.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rudolf_Hertz) va ser el primer a demostrar l'existència d'[ones electromagnètiques](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ona_electromagn%C3%A8tica) mitjançant la construcció d'un aparell per a produir ones de [ràdio](http://ca.wikipedia.org/wiki/R%C3%A0dio).

**LA FORÇA ELECTROMAGNÈTICA**

La [força electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_electromagn%C3%A8tica) és la força que un camp electromagnètic exerceix sobre les partícules carregades elèctricament.

És una de les quatre [forces fonamentals](http://ca.wikipedia.org/wiki/Forces_fonamentals), les altres són la [força nuclear forta](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_nuclear_forta) (que manté unit el [nucli atòmic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Nucli_at%C3%B2mic)), la [força nuclear feble](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_nuclear_feble) (que causa algunes formes de [radioactivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radioactivitat)) i la [força gravitacional](http://ca.wikipedia.org/wiki/Gravetat).

Totes les altres forces es deriven d'aquestes quatre de fonamentals.

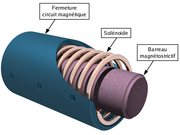
La realitat és que la força electromagnètica és la responsable de gairebé tots els fenòmens que trobem a la vida diària, excepció feta de la gravetat.

Grosso modo, podrien dir que les forces implicades en les interaccions entre [àtoms](http://ca.wikipedia.org/wiki/%C3%80tom) poden ser examinades com una força electromagnètica que actua sobre els [protons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%B3) i [electrons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3), elèctricament carregats, dintre dels àtoms.

Això inclou les forces que experimentem quan "empenyem" o "tibem" objectes materials ordinaris, que provindrien de les [forces intermoleculars](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=For%C3%A7a_intermolecular&action=edit&redlink=1) entre les [molècules](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A8cula) del nostre cos i les dels objectes. I també inclouria totes les formes de [fenòmens químics](http://ca.wikipedia.org/wiki/Qu%C3%ADmica), que apareixerien a partir de les interaccions entre els [orbitals atòmics](http://ca.wikipedia.org/wiki/Orbital_at%C3%B2mic).

D'acord amb la [teoria electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Equacions_de_Maxwell) actual, les forces electromagnètiques intervenen per mitjà de la transferència de [fotons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3) [virtuals](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Part%C3%ADcula_virtual&action=edit&redlink=1).

Electrodinàmica clàssica

[](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imatge:Transducteur_magnetostrictif_annote.png)

[http://ca.wikipedia.org/skins-1.5/common/images/magnify-clip.png](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imatge:Transducteur_magnetostrictif_annote.png)

El científic [William Gilbert](http://ca.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert) va proposar, en el seu [*De Magnete*](http://ca.wikipedia.org/wiki/De_Magnete) ([1600](http://ca.wikipedia.org/wiki/1600)), que l'electricitat i el magnetisme, malgrat ambdós eren capaços de provocar atraccions i repulsions d'objectes, eren efectes diferents.

Els mariners van notar que les descàrregues dels [llamps](http://ca.wikipedia.org/wiki/Llamp) podien afectar l'agulla de la [brúixola](http://ca.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BAixola), però la relació entre el llamp i l'electricitat no fou confirmat fins que [Benjamin Franklin](http://ca.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin) va proposar els seus experiments el [1752](http://ca.wikipedia.org/wiki/1752).

Un dels primers a descobrir i publicar una relació entre el corrent elèctric fet per l'home i el magnetisme fou [Gian Domenico Romagnosi](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Gian_Domenico_Romagnosi&action=edit&redlink=1), que el [1802](http://ca.wikipedia.org/wiki/1802) va observar que connectant un cable entre el extrems d'una [pila voltaica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Pila_voltaica) desviava l'agulla d'una brúixola propera.

Tanmateix el fenomen no fou àmpliament conegut fins el [1820](http://ca.wikipedia.org/wiki/1820), quan [Hans Christian Ørsted](http://ca.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted) va fer un experiment similar.

El treball de Ørsted va influir sobre [Ampère](http://ca.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9-Marie_Amp%C3%A8re) per arribar a la teoria de l'electromagnetisme amb el suport de fonaments matemàtics.

Una acurada teoria de l'electromagnetisme, coneguda com a [electromagnetisme clàssic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electromagnetisme_cl%C3%A0ssic) va ser desenvolupada per diversos físics al llarg del [segle XIX](http://ca.wikipedia.org/wiki/Segle_XIX) i van culminar amb els treballs de Maxwell, que va unificar els desenvolupaments anteriors en una única teoria i va descobrir la natura electromagnètica de la llum.

A l'electromagnetisme clàssic, els camps electromagnètics obeeixen a un conjunt d'[equacions](http://ca.wikipedia.org/wiki/Equaci%C3%B3) conegudes com les [equacions de Maxwell](http://ca.wikipedia.org/wiki/Equacions_de_Maxwell), i la força electromagnètica ve donada per la [llei de la força de Lorentz](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_de_Lorentz).

Una de les particularitats de l'electromagnetisme clàssic és que és difícil conciliar-lo amb la [mecànica clàssica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A0nica_cl%C3%A0ssica), però en canvi és compatible amb la [relativitat especial](http://ca.wikipedia.org/wiki/Relativitat_especial).

D'acord amb les equacions de Maxwell, la [velocitat de la llum](http://ca.wikipedia.org/wiki/Velocitat_de_la_llum) és una constant universal, només depèn de la [permitivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Permitivitat) i la [permeabilitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Permeabilitat) del [buit](http://ca.wikipedia.org/wiki/Buit).

Això atempta contra la [invariància galileana](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Invari%C3%A0ncia_galileana&action=edit&redlink=1), un dels principis bàsics de la mecànica clàssica.

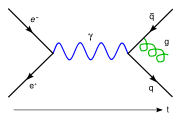
Una via per a reconciliar les dues teories seria assumir l'existència de l'[èter lumínic](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%88ter_%28f%C3%ADsica%29&action=edit&redlink=1) a través del qual es propagaria la llum.

Però tots els experiments adreçats a detectar la seva presència van fallar.

El [1905](http://ca.wikipedia.org/wiki/1905), [Albert Einstein](http://ca.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) va solucionar el problema amb la introducció de la relativitat especial, que reemplaça la cinemàtica clàssica amb una nova teoria compatible amb l'electromagnetisme clàssic.

Addicionalment, la teoria de la relativitat mostra que en sistemes de referència en moviment un camp magnètic es transforma en un camp al qual el component elèctric no és nul i viceversa; d'aquesta manera mostra de manera sòlida que són dues cares d'una mateixa moneda i, per tant, l'apropiat del terme electromagnetisme.

L'efecte fotoelèctric i l'electrodinàmica quàntica

[](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imatge:Feynmann_Diagram_Gluon_Radiation.svg)

[http://ca.wikipedia.org/skins-1.5/common/images/magnify-clip.png](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imatge:Feynmann_Diagram_Gluon_Radiation.svg)

La imatge representa un [diagrama de Feynman](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Diagrama_de_Feynman&action=edit&redlink=1) al que un [electró](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3) i un [positró](http://ca.wikipedia.org/wiki/Positr%C3%B3) s'anul·len produint un [fotó virtual](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Part%C3%ADcula_virtual&action=edit&redlink=1) que esdevé una parella [quark](http://ca.wikipedia.org/wiki/Quark) – [antiquark](http://ca.wikipedia.org/wiki/Antiquark).

Llavors un radia un [gluó](http://ca.wikipedia.org/wiki/Glu%C3%B3).

En una altra publicació del mateix any 1905, Einstein va minar els fonaments de l'electromagnetisme clàssic.

La seva teoria de l'[efecte fotoelèctric](http://ca.wikipedia.org/wiki/Efecte_fotoel%C3%A8ctric) (per la qual va guanyaria el [premi Nobel de física](http://ca.wikipedia.org/wiki/Premi_Nobel_de_F%C3%ADsica) el [1921](http://ca.wikipedia.org/wiki/1921)) proposava que la llum pot existir en forma de partícules discretes, que més tard rebrien el nom de [fotons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3).

La teoria d'Einstein sobre l'efecte fotoelèctric va augmentar la comprensió de la solució que [Max Planck](http://ca.wikipedia.org/wiki/Max_Planck) havia presentat el [1900](http://ca.wikipedia.org/wiki/1900) sobre la [catàstrofe ultraviolada](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Cat%C3%A0strofe_ultraviolada&action=edit&redlink=1), Planck havia mostrat que els objectes calents emetien [radiació electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_electromagn%C3%A8tica) en forma de paquets discrets, el que conduïa a que l'[energia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Energia) total emesa per un [cos negre radiant](http://ca.wikipedia.org/wiki/Cos_negre) havia de ser finita.

Aquests dos resultats eren en contradicció directa amb el concepte clàssic de la llum com una ona continua.

Les teories de Planck i Einstein foren l'origen de la [mecànica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A0nica_qu%C3%A0ntica) que fou formulada el [1925](http://ca.wikipedia.org/wiki/1925), tot i que necessitada d'una teoria quàntica de l'electromagnetisme.

Aquesta teoria fou completada el [1940](http://ca.wikipedia.org/wiki/1940) i és coneguda com [electrodinàmica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electrodin%C3%A0mica_qu%C3%A0ntica), dins de la [mecànica quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A0nica_qu%C3%A0ntica) l'electromagnetisme forma part de la [teoria quàntica de camps](http://ca.wikipedia.org/wiki/Teoria_qu%C3%A0ntica_de_camps), l'electrodinàmica quàntica descriu tots els fenomens que impliquen les [partícules elèctricament carregades](http://ca.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_carregada) com a interaccions que funciones per mitjà de l'intercanvi de [fotons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3).

És un teoria molt exacta, les seves prediccions teòriques tenen una precisió sense comparació dins del domini de la física.

**L'ELECTROMAGNETISME RELATIVISTA**

L'intent d'explicar l'electromagnetisme a partir de la [teoria de la relativitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Teoria_de_la_relativitat) d'[Albert Einstein](http://ca.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) va donar lloc a treballs com el de [Edward M. Purcell](http://ca.wikipedia.org/wiki/Edward_M._Purcell) que el [1963](http://ca.wikipedia.org/wiki/1963) utilitzar la teoria de la [relativitat especial](http://ca.wikipedia.org/wiki/Relativitat_especial) per derivar l'existència del magnetisme i la [radiació](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3).

Unitats

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Unitats del** [**Sistema Internacional**](http://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional) **utilitzades en Electromagnetisme** | | | | |
| **Símbol** | **Magnitud física** | **Unitats Derivades** | **Unitat** | **Unitats Bàsiques** |
| I | [Magnitud de corrent](http://ca.wikipedia.org/wiki/Corrent_el%C3%A8ctric) | [ampere](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ampere) (És una [unitat bàsica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_internacional#Unitats_b.C3.A0siques)) | A | A = W/V = C/s |
| q | [Càrrega elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/C%C3%A0rrega_el%C3%A8ctrica), Quantitat d'electricitat | [coulomb](http://ca.wikipedia.org/wiki/Coulomb) | C | A·s |
| V | [Diferència de potencial](http://ca.wikipedia.org/wiki/Difer%C3%A8ncia_de_potencial) o [Força electromotriu](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_electromotriu) | [volt](http://ca.wikipedia.org/wiki/Volt) | V | J/C = kg·m2·s−3·A−1 |
| R, Z, X | [Resistència elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Resist%C3%A8ncia_el%C3%A8ctrica_%28propietat%29), [Impedància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Imped%C3%A0ncia), [Reactància](http://ca.wikipedia.org/wiki/React%C3%A0ncia) | [ohm](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ohm) | Ω | V/A = kg·m2·s−3·A−2 |
| ρ | [Resistivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Resistivitat) | [ohm](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ohm) [metre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Metre) | Ω·m | kg·m3·s−3·A−2 |
| P | [Potència elèctrica](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Pot%C3%A8ncia_el%C3%A8ctrica&action=edit&redlink=1) | [watt](http://ca.wikipedia.org/wiki/Watt) | W | V·A = kg·m2·s−3 |
| C | [Capacitància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A0ncia) | [farad](http://ca.wikipedia.org/wiki/Farad) | F | C/V = kg−1·m−2·A2·s4 |
|  | [Elastància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Elast%C3%A0ncia_%28electricitat%29) | [farad](http://ca.wikipedia.org/wiki/Farad) invers | F−1 | V/C = kg·m2·A−2·s−4 |
| ε | [Permitivitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Permitivitat) | [farad](http://ca.wikipedia.org/wiki/Farad) per [metre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Metre) | F/m | kg−1·m−3·A2·s4 |
| χe | [Susceptibilitat elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Susceptibilitat_el%C3%A8ctrica) | (adimensional) | - | - |
| G, Y, B | [Conductància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conduct%C3%A0ncia), [Admitància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Admit%C3%A0ncia), [Susceptància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Suscept%C3%A0ncia) | [siemens](http://ca.wikipedia.org/wiki/Siemens_%28unitat%29) | S | Ω−1 = kg−1·m−2·s3·A2 |
| σ | [Conductivitat elèctrica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Conductivitat_el%C3%A8ctrica) | [siemens](http://ca.wikipedia.org/wiki/Siemens_%28unitat%29) per [metre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Metre) | S/m | kg−1·m−3·s3·A2 |
| H | [Camp magnètic, intensitat de camp magnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_magn%C3%A8tic) | [ampere](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ampere) per [metre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Metre) | A/m | A·m−1 |
| Φm | [Flux magnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Flux_magn%C3%A8tic) | [weber](http://ca.wikipedia.org/wiki/Weber_%28unitat%29) | Wb | V·s = kg·m2·s−2·A−1 |
| B | [Densitat de flux, inducció magnètica, intensitat de camp magnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_magn%C3%A8tic) | [tesla](http://ca.wikipedia.org/wiki/Tesla_%28unitat%29) | T | Wb/m2 = kg·s−2·A−1 = N·A−1·m−1 |
|  | [Reluctància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Reluct%C3%A0ncia) | [ampere](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ampere) per [weber](http://ca.wikipedia.org/wiki/Weber_%28unitat%29) | A/Wb | kg−1·m−2·s2·A2 |
| L | [Inductància](http://ca.wikipedia.org/wiki/Induct%C3%A0ncia) | [henry](http://ca.wikipedia.org/wiki/Henry_%28unitat%29) | H | Wb/A = V·s/A = kg·m2·s−2·A−2 |
| μ | [Permeabilitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Permeabilitat) electromagnètica | [henry](http://ca.wikipedia.org/wiki/Henry_%28unitat%29) per [metre](http://ca.wikipedia.org/wiki/Metre) | H/m | kg·m·s−2·A−2 |
| χm | [Susceptibilitat magnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Susceptibilitat_magn%C3%A8tica) | (adimensional) |  |  |
| Π i Π \* | [Vector potencial hertzià](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Vector_potencial_hertzi%C3%A0&action=edit&redlink=1) elèctric i magnètic |  |  |  |

**ELECTRODINAMICA CUANTICA**

L'**electrodinàmica quàntica** (EDQ, o QED de l'anglès *quantum electrodynamics*) és la teoria [quàntica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A0nica_qu%C3%A0ntica) del [camp electromagnètic](http://ca.wikipedia.org/wiki/Camp_electromagn%C3%A8tic), part de la [teoria quàntica de camps](http://ca.wikipedia.org/wiki/Teoria_qu%C3%A0ntica_de_camps).

Va començar a desenvolupar-se a finals de la [dècada del 1920](http://ca.wikipedia.org/wiki/D%C3%A8cada_del_1920) i descriu com interaccionen els [electrons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3), [positrons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Positr%C3%B3) i [fotons](http://ca.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3).

L'electrodinàmica quàntica descriu de manera matemàtica tots els fenomens que impliquen les [partícules elèctricament carregades](http://ca.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_carregada) i que actuen per mitjà de l'intercanvi de fotons.

Actualment és la teoria més exacta que hi ha en física i prediu de forma extremadament exacta magnituds com el [moment magnètic anòmal](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Moment_magn%C3%A8tic_an%C3%B2mal&action=edit&redlink=1) de l'[electró](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3) i el [muó](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mu%C3%B3) o el [desplaçament Lamb](http://ca.wikipedia.org/wiki/Despla%C3%A7ament_Lamb) dels [nivells d'energia](http://ca.wikipedia.org/wiki/Nivell_d%27energia) de l'[hidrogen](http://ca.wikipedia.org/wiki/Hidrogen).

Matemàticament, l'electrodinàmica quàntica té l'estructura d'una [teoria de gauge](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Teoria_de_gauge&action=edit&redlink=1) [abeliana](http://ca.wikipedia.org/wiki/Grup_abeli%C3%A0) amb un [grup de gauge](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Grup_de_gauge&action=edit&redlink=1) U(1).

El camp de gauge que intervé en la interacció entre camps carregats d'[espín](http://ca.wikipedia.org/wiki/Esp%C3%ADn) 1/2 és el camp electromagnètic.

En termes tècnics, l'electrodinàmica quàntica pot ser descrita com la [teoria de pertorbacions](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Teoria_de_pertorbacions&action=edit&redlink=1) de l'[estat buit](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Estat_buit&action=edit&redlink=1) electromagnètic.

**Vegeu també**

[Força d'Abraham-Lorentz](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_d%27Abraham-Lorentz)

[Experiment de la doble escletxa](http://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment_de_la_doble_escletxa)

[Electricitat](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electricitat)

[Electroimant](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electroimant)

[Models electromagnètics](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Models_electromagn%C3%A8tics&action=edit&redlink=1)

[Radiació electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_electromagn%C3%A8tica)

[Electromecànica](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Electromec%C3%A0nica&action=edit&redlink=1)

[Electrostàtica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Electrost%C3%A0tica)

[Radiació gamma](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3_gamma)

[Força de Lorentz](http://ca.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_de_Lorentz)

[Magnetisme](http://ca.wikipedia.org/wiki/Magnetisme)

[Equacions de Maxwell](http://ca.wikipedia.org/wiki/Equacions_de_Maxwell)

[Equacions de Maxwell en un espai-temps corbat](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Equacions_de_Maxwell_en_un_espai-temps_corbat&action=edit&redlink=1)

[Microones](http://ca.wikipedia.org/wiki/Microones)

[Òptica](http://ca.wikipedia.org/wiki/%C3%92ptica)

[Polarització del fotó](http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Polaritzaci%C3%B3_del_fot%C3%B3&action=edit&redlink=1)

[Plasma](http://ca.wikipedia.org/wiki/Plasma_%28estat_de_la_mat%C3%A8ria%29)

[Polarització electromagnètica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Polaritzaci%C3%B3_electromagn%C3%A8tica)

[Radiofreqüència](http://ca.wikipedia.org/wiki/Radiofreq%C3%BC%C3%A8ncia)

[Guia d'ones](http://ca.wikipedia.org/wiki/Guia_d%27ones)