Llamp globular

Autor:
Data de publicació: 24-08-2021

Representació de 1901 del llampec de la bola

El llamp és un fenomen inexplicable descrit com a objectes esfèrics luminescentsque varien des de la mida d'un pèsol fins a diversos metres de diàmetre. Encara que normalment s'associen amb tempestes elèctriques,es diu que els llampecs de boles duren considerablement més que el flaix de dos segons d'un llampec, i són un fenomen diferent del foc de Sant Elm.

Alguns informes del segle XIXdescriuenboles que eventualment exploten i deixen enrere una olor de sofre. Les descripcions dels llampecs de bola apareixen en una varietat de relats al llarg dels segles i han rebut l'atenció dels científics. [3] Un espectre òptic del que sembla haver estat un esdeveniment de llampecs de boles es va publicar al gener de 2014 i va incloure un vídeo a alta velocitat de fotogrames. [4][5]Els experiments de laboratori han produït efectes que són visualment similars als informes de llamps de bola, però la forma en què aquests es relacionen amb el suposat fenomen encara no està clar. [6][7]

Els científics han proposat una sèrie d'hipòtesis per explicar els informes de llamps de bola al llarg dels segles, però les dades científiques sobre els llampecs de boles segueixen sent escasses. La presumpció de la seva existència ha depès d'albiraments públics reportats, que han produït troballes inconsistents. A causa de la manca de dades reproduïbles, l'existència del llamp de bola com a fenomen físic segueix sense ser provat. [8][necessita actualització]

Contingut

contes històrics
El llampec de boles ha estatsuggerit com la possible font de llegendes que descriuen boles lluminoses, com l'Anchimayen mitològic de la cultura mapuucha argentina i xilena.

Segons investigacions estadístiques de 1960, els llampecs de bola havien estat vistos pel 5% de la població de la Terra. [9][10]Un altre estudi va analitzar informes de 10.000 casos. [9][11]

Gran tempesta de Widecombe-in-the-Moor
Un dels primers informes sobre la Gran Tempesta en una església a Widecombe-in-the-Moor,Devon, a Anglaterra, el 21 d'octubre de 1638. Quatre persones van morir i aproximadament 60 van resultar ferides durant una forta tempesta. Els testimonis van descriure una bola de foc de 2,4 metres colpejant i entrant a l'església, gairebé destruint-la. Grans pedres de les parets de l'església van ser llançades a terra i a través de grans bigues de fusta. La bola de foc suposadament va trencar els bancs i moltes finestres, i va omplir l'església d'una olor sulfurosa bruta i fum fosc i gruixut.

La bola de foc es va dividir en dos segments, un sortint a través d'una finestra trencant-la oberta, l'altre desapareixent en algun lloc dins de l'església. A causa de l'olor de foc i sofre, els contemporanis van explicar la bola de foc com "el diable" o com les "flames de l'infern". Més tard, alguns van culpar de tot l'incident a dues persones que havien estat jugant a cartes en els bancs durant el sermó, incorrent així en la ira de Déu. [1]

La Caterina i Maria
Al desembre de 1726, diversos diaris britànics van imprimir un extracte d'una carta de John Howell de la sloop Catherine and Mary:

Quan veníem a través del golf de Florida el 29 d'agost, una gran bola de foc va caure de l'Element i va dividir el nostre pal en Deu Mil Peces, si fos possible; dividir la nostra biga principal, també tres taulons del costat, sota l'aigua, i tres de la coberta; Va matar un home, un altre va portar la seva mà de,i si no hagués estat per les violentes pluges, les nostres veles haurien estat d'una explosió de foc. [12][13]

El Montague
Un exemple particularment gran va ser "sobre l'autoritat del Dr Gregory" el 1749:

L'Almirall Chambers a bord del Montague,el 4 de novembre de 1749, estava fent una observació poc abans del migdia. va observar una gran bola de foc blau a uns tres quilòmetres de distància d'ells. Immediatament van baixar les seves puntes, però va pujar tan ràpid sobre ells, que, abans que poguessin aixecar el tacó principal, van observar que la pilota s'elevava gairebé perpendicularment, i no per sobre dels quaranta o cinquanta metres de les cadenes principals quan va esclatar amb una explosió, tan gran com si un centenar de canons haguessin estat descarregats al mateix temps, deixant darrere d'ella una forta olor sulfurosa. Amb aquesta explosió, el pal superior principal es va trencar en trossos i el pal principal va baixar a la quilla.

Cinc homes van ser abatuts i un d'ells molt contusionat. Just abans de l'explosió, la pilota semblava de la mida d'una gran pedra de molí. [2]

Georg Richmann
Un informe de 1753 relata un llampec letal quan el professor Georg Richmann de Sant Petersburg,Rússia, va construir un aparell de vol d'estels similar a la proposta de Benjamin Franklinun any abans. Richmann estava assistint a una reunió de l'Acadèmia de Ciències quan va sentir trons i va córrer cap a casa amb el seu gravador per capturar l'esdeveniment per a la posteritat. Mentre l'experiment estava en marxa, va aparèixer un llampec de bola, va viatjar per la corda, va colpejar el front de Richmann i el va matar. La pilota havia deixat una taca vermella al front de Richmann, les seves sabates estaven obertes i la seva roba cantava. El seu gravador va quedar inconscient. El marc de la porta de l'habitació es va dividir i la porta es va trencar de les frontisses. [14]

HMS Warren Hastings
Un diari anglès va informar que durant una tempesta de 1809, tres "boles de foc" van aparèixer i "van atacar" el vaixell britànic HMS Warren Hastings. La tripulació va veure baixar una pilota, matant un home a la coberta i incendiant el pal principal. Un tripulant va sortir a recuperar el cos caigut i va ser colpejat per una segona pilota, que el va colpejar de tornada i el va deixar amb cremades lleus. Un tercer home va morir per contacte amb la tercera bola. Els membres de la tripulació van informar d'una olor persistent i malaltissa de sofre després. [15][16]

Cerveseria Ebenezer Cobham
Ebenezer Cobham Brewer,en la seva edició de 1864 A Guide to the Scientific Knowledge of Things Familiar,parla sobre "llampecs globulars". Ho descriu com boles de foc de moviment lent o gas explosiu que de vegades cauen a la terra o corren al llarg de la terra durant una tempesta. Va dir que les boles de vegades es divideixen en boles més petites i poden explotar "com un canó". [17]

Wilfrid de Fonvielle
En el seu llibre Thunder andLightning,[18] traduït a l'anglès el 1875, l'escriptor francès Wilfrid de Fonvielle va escriure que hi havia hagut uns 150 informes de llamps globulars:

Els llampecs globulars semblen estar particularment atrets per metalls; així buscarà les baranes dels balcons, o en cas contrari canonades d'aigua o gas etc, no té un to peculiar propi però apareixerà de qualsevol color com sigui el cas ... a Coethen, al Ducat d'Anhalt, semblava verd. M. Colon, vicepresident de la Societat Geològica de París, va veure una bola de llampec descendint lentament del cel al llarg de l'escorça d'un pollancre; Tan aviat com va tocar la terra va rebotar de nou, i va desaparèixer sense explotar. El 10 de setembre de 1845 una bola de llamps va entrar a la cuina d'una casa del poble de Salagnac, a la vall de Correze. Aquesta pilota va rodar sense fer mal a dues dones i un jove

que eren aquí; però en entrar en un estable contigu va explotar i va matar un porc que va passar a estar tancat allà, i que, sense saber res de les meravelles del tro i el llamp, es va atrevir a olorar-lo de la manera més grollera i insuportable.

El moviment d'aquestes boles està lluny de ser molt ràpid- fins i tot s'han observat ocasionalment per aturar-se en el seu curs, però no són menys destructius per a tot això. Una bola de llamps que va entrar a l'església de Stralsund, en explotar, va projectar una sèrie de boles que van explotar al seu torn com petxines. [19]

El tsar Nicolau II

El tsar Nicolau II,l'últim emperador de Rússia, va informar haver estat testimoni del que ell va anomenar "una bola de foc" mentre estava en companyia del seu avi, l'emperador Alexandre II:

Una vegada que els meus pares eren fora, i jo estava a la vigília de tota la nit amb el meu avi a la petita església d'Alexandria. Durant el servei hi va haver una forta tempesta, ratlles de llamps van brillar una darrera l'altra, i semblava com si els bancs de tro sacsejarien fins i tot l'església i el món sencer fins als seus fonaments. De sobte es va fer bastant fosc, una ràfega de vent de la porta oberta va fer esclatar la flama de les espelmes que s'encenien davant de la iconòstasi,hi va haver un llarg aplaudiment de tro, més fort que abans, i de sobte vaig veure una bola de foc volant des de la finestra directament cap al cap de l'emperador. La pilota (era d'un llampec) va girar al voltant del terra, després va passar el llum d'aranya i va volar a través de la porta cap al parc. El meu cor es va congelar, vaig mirar al meu avi- la seva cara estava completament tranquil·la. Es va creuar amb la mateixa calma que quan la pilota de foc havia volat a prop nostre, i vaig sentir que era insensat i no valent per tenir por com jo. Sentia que només calia mirar el que estava passant i creure en la misericòrdia de Déu, com ell, el meu avi, ho va fer. Després que la pilota hagués passat per tota l'església, i de sobte sortís per la porta, vaig tornar a mirar el meu avi. Li quedava un somriure a la cara i em va donar un cop de cap. El meu pànic va desaparèixer, i des d'aquell moment ja no tenia por de les tempestes. [20]

Aleister Crowley

L'ocultista britànic Aleister Crowley va informar que va ser testimoni del que es va anomenar "electricitat globular" durant una tempesta al llac Pasquaney a New Hampshire,Estats Units, el 1916. Va ser acollit en una petita casa de camp quan, en les seves pròpies paraules,

... Es va adonar, amb el que només puc descriure com a sorpresa tranquil·la, que un globus enlluernador de foc elèctric, aparentment d'entre sis i dotze polzades de diàmetre, estava estacionari uns sis centímetres per sota i a la dreta del meu genoll dret. Mentre el mirava, va explotar amb un informe agut bastant impossible de confondre amb l'agitació contínua del llamp, el tro i la calamarsa, o la de l'aigua fuetada i la fusta trencada que estava creant un pandemònium fora de la casa. Vaig sentir un xoc molt lleu al mig de la mà dreta, que estava més a prop del món que qualsevol altra part del meu cos. [22]

R.C. Jennison

Jennison, del Laboratori d'Electrònica de la Universitat de Kent,va descriure la seva pròpia observació dels llampecs de bola en un article publicat a Nature el 1969:

Estava assegut prop de la part davantera de la cabina de passatgers d'un avió de passatgers totalment metàl·lic (Eastern Airlines Flight EA 539) en un vol nocturn de Nova York a Washington. L'avió es va trobar amb una tempesta elèctrica durant la qual va ser embolicat en una sobtada descàrrega elèctrica brillant i forta (0005 h EST, 19 de març de 1963). Uns segons després d'això, una esfera brillant d'una mica més de 20 cm de diàmetre va sortir de la cabina del pilot i va passar pel passadís de l'aeronau aproximadament a 50 cm de mi, mantenint la mateixa alçada i rumb durant tota la distància sobre la qual es podia observar. [23]

Altres contes

Llampec de bola entrant a través de la xemeneia (1886)

Willy Ley va discutir un albirament a París el 5 de juliol de 1852 "pel qual es van presentar declaracions jurades a l'Acadèmia Francesa de les Ciències". Durant una tempesta, un sastre que vivia al costat de l'església de la Val-de-Grâce va veure una bola de la mida d'un cap humà sortir de la llar de foc. Va volar al voltant de l'habitació, va tornar a entrar a la llar de foc, i va explotar i va destruir la part superior de la xemeneia. [24]
El 30 d'abril de 1877, una bola de llamps va entrar al Temple d'Or a Amritsar,Índia, i va sortir a través d'una porta lateral. Diverses persones van observar la pilota, i l'incident està inscrit a la paret frontal de Darshani Deodhi. [25]
El 22 de novembre de 1894 es va produir un cas inusualment prolongat de llampecs naturals a Golden, Colorado,el que suggereix que podria ser induït artificialment des de l'atmosfera. El diari Globus d'Or va informar:

Un fenomen bonic però estrany es va veure en aquesta ciutat dilluns a la nit. El vent era alt i l'aire semblava ple d'electricitat. Davant, per sobre i al voltant de la nova Sala d'Enginyeria de l'Escola de Mines,les boles de foc van jugar durant mitja hora, per a sorpresa i sorpresa de tots els que van veure l'exhibició. En aquest edifici es troben les dinamos i aparells elèctrics de potser la millor planta elèctrica de la seva mida a l'estat. Probablement hi va haver una delegació visitant des dels núvols, als captius de les dinamos dilluns a la nit, i sens dubte van tenir una bona visita i un joc de romp. [26]

El 22 de maig de 1901, a la ciutat kazakh d'Ouralsk a l'Imperi Rus (ara Oral, Kazakhstan), "una bola de foc enlluernadorament brillant" va baixar gradualment del cel durant una tempesta, després va entrar en una casa on 21 persones s'havien refugiat, "va causar estralls amb l'apartament, va trencar la paret en una estufa a l'habitació contigua, va trencar la canonada de l'estufa, i la va dur a terme amb tanta violència que es va llançar contra la paret oposada, i va sortir a través de la finestra trencada". L'incident va ser denunciat al Bulletin de la Société astronomique de France l'any següent. [27][28]
El juliol de 1907, un llamp va impactar contra el far de Cap Naturalista a Austràlia Occidental. El guardià del far Patrick Baird era a la torre en aquell moment i va quedar inconscient. La seva filla Ethel va gravar l'esdeveniment. [29]
Ley va discutir un altre incident a Bischofswerda,Alemanya. El 29 d'abril de 1925, diversos testimonis van veure una terra de boles silencioses prop d'un carter, es van moure al llarg d'un cable telefònic a una escola, van fer retrocedir un professor amb un telèfon i van fer forats perfectament rodons de la mida d'una moneda a través d'un panell de vidre. A 210 metres de filferro es va fondre, diversos pals telefònics van resultar danyats, es va trencar un cable subterrani i diversos treballadors van ser llançats a terra però sense presses. [24]
Una primera referència fictícia al llampec de boles apareix en un llibre infantil ambientat al segle XIX per Laura Ingalls Wilder. Els llibres es consideren ficció històrica, però l'autora sempre va insistir que eren descriptius dels esdeveniments reals de la seva vida. En la descripció de Wilder, tres boles separades de llamps apareixen durant un torb d'hivern prop d'una estufa de ferro colat a la cuina de la família. Es descriu que apareixen a prop de l'estufa, i després rodant a través del terra, només per desaparèixer mentre la mare(Caroline Ingalls)els persegueix amb una escombra de branca de salze. [31]
Els pilots de la Segona Guerra Mundial (1939-1945) van descriure un fenomen inusual per al qual s'ha suggerit un llamp de bola com una explicació. Els pilots van veure petites boles de llum movent-se en trajectòries estranyes, que van arribar a ser referides com a foo fighters. [24]
Els submarinistes de la Segona Guerra Mundial van donar els relats més freqüents i consistents de petits llampecs de boles en l'atmosfera submarina confinada. Hi ha relats repetits de producció involuntària de boles explosives flotants quan els bancs de bateries es van canviar d'o de sortida, especialment si es van malinterpretar o quan els motors elèctrics altament inductius estaven mal connectats o desconnectats. Un intent més tard de duplicar aquestes boles amb una bateria submarina excedent va donar lloc a diverses fallades i una explosió. [32]
El 6 d'agost de 1944, una bola de llamps va travessar una finestra tancada a Uppsala,Suècia, deixant un forat circular d'uns 5 cm de diàmetre. L'incident va ser presenciat pels residents de la zona, i va ser registrat per un sistema de seguiment d'impactes dellamps a la Divisió d'Investigació d'Electricitat i Llamps de la Universitat d'Uppsala. [34]
El 2005 es va produir un incident a Guernsey, on un aparent llampec contra un avió va provocar múltiples albiraments de boles de foc a terra. [35]
El 10 de juliol de 2011, durant una forta tempesta, una bola de llum amb una cua de dos metres va passar per una finestra a la sala de control dels serveis locals d'emergència a Liberec, a la República Txeca. La pilota rebotava de finestra a sostre, després a terra i darrere, on rodava al llarg d'ella durant dos o tres metres. Després va caure a terra i

va desaparèixer. El personal present a la sala de control estava espantat, olorava l'electricitat i cremava cables i pensava que alguna cosa estava cremant. Els ordinadors es van congelar (no es van estavellar) i tot l'equip de comunicacions va ser eliminat durant la nit fins que va ser restaurat pels tècnics. A part dels danys causats per la interrupció de l'equip, només un monitor d'ordinador va ser destruït. [36]
El 15 de desembre de 2014, el vol BE-6780 (Saab 2000) al Regne Unit va experimentar un llamp a la cabina davantera just abans que un llamp colpegés el nas de l'avió. [37]

Característiques
Les descripcions dels llampecs de bola varien àmpliament. S'ha descrit com moure's amunt i avall, cap a un costat o en trajectòries impredictibles, surant i movent-se amb o contra el vent; atretsper,38 no afectats o repel·lits d'edificis, persones, cotxes i altres objectes. Alguns relats el descriuen com moure's a través de masses sòlides de fusta o metall sense efecte, mentre que altres la descriuen com destructiva i fonent o cremant aquestes substàncies. El seu aspecte també s'ha relacionat amb línieselèctriques,[24][39] altituds de 300 m (1.000 peus) i més altes, i durant les tempestes[24] i el clima tranquil. Els llampecs de bola han estat descrits com transparents, translúcids,multicolors, uniformement il·luminats, flames radiants, filaments o espurnes, amb formes que varien entre esferes, ovals, gotes lacrimògenes, varetes o discos. [40]

Els llampecs de bola sovint s'identifiquen errròniament com el foc de Sant Elm. Són fenòmens diferents i diferents. [41]

S'ha informat que les boles es dispersen de moltes maneres diferents, com ara desaparèixer sobtadament, dissipar-se gradualment, ser absorbides en un objecte, "esclatar", explotar en veu alta, o fins i tot explotar amb força, que de vegades es diu que és perjudicial. [24] Els contes també varien sobre el seu suposat perill per als éssers humans, de letal a inofensiu.

Una revisió de la literatura disponible publicada el1972[42] va identificar les propietats d'un llamp de bola "típic", mentre advertia contra l'excés de confiança en els testimonis oculars:

Sovint apareixen gairebé simultàniament amb la descàrrega de llamps de núvol a terra.
Generalment són esfèriques o en forma de pera amb vores difuses.
Els seus diàmetres oscil·len entre 1 i 100 cm, més comunament 10-20 cm (4-8 polzades)
La seva brillantor correspon aproximadament a la d'una làmpada domèstica, de manera que es poden veure clarament a la llum del dia.
S'ha observat una àmplia gamma de colors, sent el vermell, el taronja i el groc els més comuns.
La vida útil de cada esdeveniment és d'un segon a més d'un minut, amb la brillantor que es manté bastant constant durant aquest temps.
Tendeixen a moure's a uns pocs metres per segon, més sovint en una direcció horitzontal, però també poden moure's verticalment, romandre estacionaris o vagar erràticament.
Molts es descriuen com a moviment rotacional.
És estrany que els observadors informin de la sensació de calor, tot i que en alguns casos la desaparició de la pilota va acompanyada de l'alliberament de la calor
Alguns mostren una afinitat pels objectes metàl·lics i poden moure's al llarg de conductors com cables o tanques metàl·liques.
Alguns apareixen dins d'edificis que passen per portes i finestres tancades.
Alguns han aparegut dins d'avions metàl·lics i han entrat i han marxat sense causar danys.
La desaparició d'una pilota és generalment ràpida i pot ser silenciosa o explosiva.
Sovint s'informen d'olors que s'assemblen a l'ozó,la crema de sofre o òxids de nitrogen.

Mesures directes de llamps de bola natural

L'espectre d'emissió (intensitat vs. longitud d'ona) d'un llampec de bola natural

Al gener de 2014, científics de la Universitat Normal del Nord-oest a Lanzhou, Xina,van publicar els resultats dels enregistraments realitzats al juliol de 2012 de l'espectre òptic del que es creia que era un llamp de bola natural fet per casualitat durant l'estudi dels llamps de núvols ordinaris a l'altiplà tibetà. Auna distància de 900 m, es van fer un total d'1,64 segons de vídeo digital del llamp de la bola i el seu espectre, des de la formació del llamp de la bola després que el llamp ordinari colpegés el terra, fins a la desintegració òptica del fenomen. El vídeo addicional va ser gravat per una càmera d'alta velocitat (3000 fotogrames / seg), que va capturar només els últims 0,78 segons de l'esdeveniment, a causa de la seva limitada capacitat de gravació. Les dues càmeres estaven equipades amb espectròmetres sense escletxa. Els investigadors van detectar línies d'emissió de siliciatòmic neutre, calci, ferro, nitrogeni oxigen,en contrast amb les línies d'emissió de nitrogen ionitzades principalment en l'espectre del llampec pare. El llampec de la bola va viatjar horitzontalment a través del fotograma de vídeo a una velocitat equivalent a una velocitat mitjana de 8,6 m/s. Tenia un diàmetre de 5 m i cobria una distància d'uns 15 m dins d'aquests 1,64 s.

Es van observar oscil·lacions en la intensitat de la llum i en l'emissió d'oxigen i nitrogen a una freqüència de 100 hertzs,possiblement causada pel camp electromagnètic de la línia de transmissió d'energia d'alt voltatge de 50 Hz en les proximitats. Des de l'espectre, la temperatura del llamp de la bola es va avaluar com a inferior a la temperatura del llamp pare (< 15.000 a 30.000 K). Les dades observades són consistents amb la vaporització del sòl, així com amb la sensibilitat del llamp de bola als camps elèctrics. [4][43]

Experiments de laboratori
Els científics han intentat durant molt de temps produir llampecs de boles en experiments de laboratori. Mentre que alguns experiments han produït efectes que són visualment similars als informes de llamps de bola natural, encara no s'ha determinat si hi ha alguna relació.

Segons els informes, Nikola Tesla podia produir artificialment boles d'1,5 polzades (3,8 cm) i va dur a terme algunes demostracions de la seva capacitat,[44] però estava realment interessat en voltatges i potències més altes, i la transmissió remota de potència, de manera que les boles que va fer eren només una curiositat. [45]

El Comitè Internacional de Llamps de Bola (ICBL) va celebrar simposis regulars sobre el tema. Un grup relacionat utilitza el nom genèric "Plasmes no convencionals". L'últim simposi de l'ICBL va ser programat provisionalment per al juliol de 2012 a San Marcos, Texas, però va ser cancel·lat a causa de la manca d'abstracts presentats. [47]

Microones guiats per onades
Ohtsuki iOfuruton[48][49]van descriure la producció de "boles de foc de plasma" per interferència de microones dins d'una cavitat cilíndrica plena d'aire alimentada per una guia rectangular d'ona utilitzant un oscil·lador de microones de 2,45 GHz, 5 kW (potència màxima).

Demostració de l'experiment de descàrrega d'aigua

Experiments de descàrrega d'aigua
Alguns grups científics, incloent-hi l'Institut Max Planck,han produït un efecte tipus llampec de bola descarregant un condensador d'alt voltatge en un tanc d'aigua. [50][51]

Experiments casolans de forn microones
Molts experiments moderns impliquen l'ús d'un forn microones per produir petites boles brillants ascendents, sovint anomenades boles de plasma. Generalment, els experiments es duen a terme col·locant una lluminada o recentment extingida o un altre objecte petit en un forn microones. La porció cremada de l'objecte esclata en una gran bola de foc, mentre que les "boles de plasma" suren prop del sostre de la cambra del forn. Alguns experiments descriuen cobrir el partit amb un pot de vidre invertit, que conté tant la flama com les boles perquè no danyin les parets de la cambra. [52] (Un pot de vidre, però, eventualment explota en lloc de simplement causar pintura carbonitzada o metall fos, com passa a l'interior d'un microones.) Els experiments d'Eli Jerby i Vladimir Dikhtyar a Israel van revelar que les boles de plasma de microones estan fetes de nanopartícules amb un radi mitjà de 25 nm (9,8×10-7 polzades).

L'equip israelià va demostrar el fenomen amb coure, sals, aigua i carboni. [53]

Experiments de silici
Els experiments de 2007 van implicar impactants oblia de silici amb electricitat, que vaporitza el silici i indueix l'oxidació en els vapors. L'efecte visual es pot descriure com petits orbes brillants i brillants que roden al voltant d'una superfície. Dos científics brasilers, Antonio Pavão i Gerson Paiva de la Universitat Federal de Pernambuco, han fet constantment petites boles de llarga durada utilitzant aquest mètode. Aquests experiments es deriven de la teoria que el llampec de bola és en realitat vapors de silici oxidats (vegeu hipòtesi de silici vaporitzat,a continuació).

Propostes d'explicacions científiques
En l'actualitat no hi ha una explicació àmpliament acceptada per als llampecs de bola. Diverses hipòtesis han estat avançades des que el fenomen va ser introduït en l'àmbit científic pel metge i investigador elèctric anglès William Snow Harris el 1843,[57] i el científic de l'Acadèmia Francesa François Arago el 1855. [58]

Hipòtesi del silici vaporitzat
Aquesta hipòtesi suggereix que el llampec de bola consisteix en la crema vaporitzada de silici a través de l'oxidació. Els llampecs que colpegen el sòl de la Terra podrien vaporitzar la sílice continguda en ell, i d'alguna manera separar l'oxigen del diòxid de silici, convertint-lo en vapor de silici pur. A mesura que es refreda, el silici podria condensar-se en un aerosol flotant, unit per la seva càrrega, brillant a causa de la calor de la recombinació de silici amb oxigen. Una investigació experimental d'aquest efecte, publicada el 2007, va informar de produir "boles lluminoses amb vida útil en l'ordre dels segons" mitjançant l'evaporació de silici pur amb un arc elèctric. [56][59][60]S'han posat a disposició vídeos i espectrògrafs d'aquest experiment. [61][62]Aquesta hipòtesi va obtenir dades de suport significatives el 2014, quan es van publicar els primers espectres registrats de llamps de boles naturals. Lesformes teoritzades d'emmagatzematge de silici en el sòl inclouen nanopartícules de Si, SiOi SiC. Matthew Francis ha anomenat això la "hipòtesi de la cloda de brutícia", en la qual l'espectre de llamps de bola mostra que comparteix la química amb el sòl. [64]

Model de nucli sòlid carregat elèctricament
En aquest model s'assumeix que el llampec de bola té un nucli sòlid, carregat positivament. D'acord amb aquesta suposició subjacent, el nucli està envoltat per una fina capa d'electrons amb una càrrega gairebé igual en magnitud a la del nucli. Hi ha un buit entre el nucli i la capa electrònica que conté un camp electromagnètic intens (EM),que es reflecteix i es guia per la capa electrònica. El camp electromagnètic de microones aplica una força ponderomotiva (pressió de radiació) als electrons evitant que caiguin en el nucli. [65][66]

Hipòtesi de la cavitat de microones
Piotr Kapitsa va proposar que el llamp de bola és una descàrrega de brillantor impulsada per la radiació de microones que es guia a la pilota al llarg de línies d'aire ionitzat dels núvols de llamps on es produeix. La bola serveix com una cavitat de microones ressonant, ajustant automàticament el seu radi a la longitud d'ona de la radiació de microones perquè es mantingui la ressonància. [67][68]

La teoria de Handel Maser-Soliton del llamp de bola planteja la hipòtesi que la font d'energia que genera el llampec de la bola és un gran màseratmosfèric (diversos quilòmetres cúbics). El llampec de la bola apareix com una cavitat de plasma en el pla antinodal de la radiació de microones del màser. [69]

El 2017, investigadors de la Universitat de Zhejiang a Hangzhou, Xina, han proposat que la brillantor brillant de les boles de llamp es crea quan les microones queden atrapades dins d'una bombolla de plasma. A la punta d'un llamp que arriba a terra, es pot produir un grup d'electrons relativistes quan està en contacte amb la radiació de microones. Aquest últim ionitza l'aire local i la pressió de radiació evacua el plasma resultant, formant una bombolla de plasma esfèrica que atrapa la radiació. Els microones atrapats a l'interior de la pilota continuen generant plasma per un moment per mantenir els centelleigs brillants descrits en els contes dels observadors. La bola finalment s'esvaeix a mesura que la radiació subjecta dins de la bombolla comença a desintegrar-se i les microones es descarreguen de l'esfera. Les boles de llamps poden explotar dramàticament a mesura que l'estructura es desestabilitza. La teoria podria explicar moltes de les estranyes característiques del llampec de bola. Per exemple, els microones són capaços de passar a través del vidre, el que ajuda a explicar per què les boles es podrien formar a l'interior.

Hipòtesi de Soliton
Articles principals: Soliton i El foc de Sant Elm

Julio Rubinstein, David Finkelstein,i James R. Powell van proposar que el llampec de la pilota és un foc de Sant Elm separat (1964-1970). [cal citació] El foc de Sant Elm sorgeix quan un conductor agut, com el pal d'un vaixell, amplifica el camp elèctric atmosfèric a la ruptura. Per a un globus el factor d'amplificació és 3. Una bola lliured'aire ionitzat pot

amplificar el camp ambient tant per la seva pròpia conductivitat. Quan això manté la ionització, la pilota és llavors un soliton en el flux d'electricitat atmosfèrica.

El càlcul de la teoria cinètica de Powell va trobar que la mida de la bola està establerta pel segon coeficient de Townsend (la trajectòria lliure mitjana dels electrons de conducció) prop de la ruptura. Es troba que les descàrregues de brillantor errant es produeixen dins de certs forns de microones industrials i continuen brillant durant diversos segons després que s'apagui l' energia. Els arcs extrets dels generadors de microones d'alta potència de baixa tensió també es troben que exhibeixen resplendor. Powell va mesurar els seus espectres, i va trobar que la resplendor prové principalment d'ions NO metaestables, que són de llarga durada a baixes temperatures. Es va produir en l'aire i en l'òxid nitrós, que posseeixen ions metaestables, i no en atmosferes d'argó, diòxid de carboni o heli, que no ho fan.

El model de soliton d'un llampec de bola es va desenvolupar encara més. Es va suggerir que un llampec de bola es basa en oscil·lacions nolineals esfèriques simètriques de partícules carregades en plasma - l'anàleg d'un soliton de Langmuir espacial. Aquestes oscil·lacions van ser descrites tant en enfocamentsclàssics[73][74]com quàntics[72][76]. Es va trobar que les oscil·lacions de plasma més intenses ocorren a les regions centrals d'un llamp de bola. Es suggereix que els estats lligats de partícules carregades oscil·lants radialment amb espíns orientats a l'oposat - l'anàleg dels parells de Cooper - poden aparèixer dins d'un llamp de bola. Aquest fenomen, al seu torn, pot conduir a una fase superconducta en un llamp de bola. La idea de la superconductivitat en un llampec de bola es va considerar abans. La possibilitat de l'existència d'un llampec de bola amb un nucli compost també es va discutir en aquest model. [80]

Antisimetria de l'anell de vòrtex hidrodinàmic
Una teoria que pot explicar l'ampli espectre d'evidència observacional és la idea de la combustió dins de la regió de baixa velocitat de la descomposició del vòrtex esfèric d'un vòrtex natural(per exemple, elvòrtex esfèric de Hill). [81]

Hipòtesi de la nanobatteria
Oleg Meshcheryakov suggereix que el llampec de bola està fet de partícules compostes nano o submicròmetre, cada partícula que constitueix una bateria. Una descàrrega superficial escurça aquestes bateries, provocant un corrent que forma la pilota. El seu model es descriu com un model d'aerosol que explica totes les propietats observables i processos del llamp de bola. [82][83]

Hipòtesi del plasma flotant
L'informe desclassificat del Projecte Condign conclou que les formacions de plasma carregades de flotació similars als llamps de bola estan formades per nous fenòmens físics, elèctrics i magnètics, i que aquests plasmes carregats són capaços de ser transportats a enormes velocitats sota la influència i l'equilibri de càrregues elèctriques a l'atmosfera. Aquests plasmes semblen originar-se a causa de més d'un conjunt de condicions climàtiques i carregades elèctricament, la raó científica de la qual és incompleta o no s'entén completament. Un suggeriment és que els meteors que es trenquen a l'atmosfera i formen plasmes carregats en lloc de cremar completament o impactar com meteorits podrien explicar alguns casos dels fenòmens, a més d'altres esdeveniments atmosfèrics desconeguts. [84]

Estimulació magnètica transcranial
Cooray and Cooray (2008)[85] va declarar que lescaracterístiques de les al·lucinacions experimentades pels pacients que tenen crisis epilèptiques al lòbul occipital són similars a les característiques observades dels llamps de bola. L'estudi també va mostrar que el camp magnètic que canvia ràpidament d'un llampec proper és prou fort com per excitar les neurones del cervell. Això reforça la possibilitat d'una convulsió induïda per llamps en el lòbul occipital d'una persona propera a un llamp, establint la connexió entre l'al·lucinació epilèptica imitant llamps de bola i tempestes.

S'ha demostrat que investigacions més recents amb estimulació magnètica transcranial donen els mateixos resultats d'al·lucinació al laboratori (anomenats magnetofosfens),i s'ha demostrat que aquestes condicions ocorren a la natura prop dels llamps. Aquesta hipòtesi no explica els danys físics observats causats per un llamp de bola o l'observació simultània per diversos testimonis. (Com a mínim, les observacions difereixen substancialment.) [cal citació]

Els càlculs teòrics dels investigadors de la Universitat d'Innsbruck suggereixen que els camps magnètics involucrats en certs tipus d'impactes de llamps podrien induir al·lucinacions visuals semblants a llampecs de boles. Aquests camps, que es troben a distàncies properes a un punt en què s'han produït múltiples llampecs durant uns pocs segons, poden fer que les neurones de l'escorça visual es disparin, donant lloc a magnetofosfens (al·lucinacions visuals induïdes magnèticament). [88]

Concepte de matèria de Rydberg
Manykin et al. han suggerit la matèria atmosfèrica de Rydberg com una explicació dels fenòmens del llamp de bola. La matèria de Rydberg és una forma condensada d'àtoms altament excitats en molts aspectes similars a les gotetes de

forats d'electrons en semiconductors. No obstant això, a diferència de les gotetes de forats d'electrons, la matèria de Rydberg té un temps de vida prolongat, fins a hores. Aquest estat excitat condensat de la matèria està recolzat per experiments, principalment d'un grup dirigit per Holmlid. És similar a un estat líquid o sòlid de la matèria amb una densitat extremadament baixa (semblant a un gas). Els trossos de matèria atmosfèrica de Rydberg poden ser el resultat de la condensació d'àtoms altament excitats que es formen per fenòmens elèctrics atmosfèrics, principalment a causa d'un llamp lineal. La desintegració estimulada dels núvols de matèria de Rydberg pot, però, prendre la forma d'una allau, i així aparèixer com una explosió.

Hipòtesi del buit
Nikola Tesla (1899) va teoritzar que les boles consisteixen en gas molt enrarit (però calent). [45]

Altres hipòtesis
S'han proposat diverses altres hipòtesis per explicar els llampecs de la bola:

Hipòtesi del dipol elèctric giratori. Un article de 1976 de V. G. Endean postulava que el llamp de bola podria ser descrit com un vector de camp elèctric girant a la regió de freqüència de microones. [93]
Electrostàtic Models de gerres de Leyden. Stanley Singer va discutir (1971) aquest tipus d'hipòtesis i va suggerir que el temps de recombinació elèctrica seria massa curt per a la vida útil del llamp de bola sovint reportat. [94]
Smirnov va proposar (1987) una hipòtesi de l'aerogel fractal. [95]
M. I. Zelikin va proposar (2006) una explicació (amb una base matemàtica rigorosa) basada en la hipòtesi de la superconductivitat del plasma [79] (vegeutambé[76][77][78]).
H.C. Wu va proposar (2016) que un llampec de bola sorgeix quan un "grup d'electrons relativistes" que es forma a la punta d'un llamp excita "intensa radiació de microones" sota certes condicions. A mesura que les microones ionitza l'aire circumdant, la seva pressió associada pot evacuar el plasma resultant per formar una bombolla que "atrapa de manera escaable la radiació". [96]
A. Meessen va presentar una teoria al 10è Simposi Internacional sobre Llamps de Bola (21-27 de juny de 2010, Kaliningrad, Rússia) explicant totes les propietats conegudes del llamp de bola en termes d'oscil·lacions col·lectives d'electrons lliures. El cas més simple correspon a oscil·lacions radials en una membrana plasmàtica esfèrica. Aquestes oscil·lacions són sostingudes per l'amplificació paramètrica, resultant de la "inhalació" regular de partícules carregades que estan presents a densitats més baixes en l'aire ambient. El llamp de bola s'esvaeix per l'extinció silenciosa quan la densitat disponible de partícules carregades és massa baixa, mentre que desapareix amb una explosió forta i de vegades molt violenta quan aquesta densitat és massa alta. Les oscil·lacions electròniques també són possibles com ones estacionàries en una bola de plasma o membrana plasmàtica gruixuda. Això produeix bombolles lluminoses concèntriques. [97]

Veure també

Portal meteorològic
Portal de física

Llums fantasma atmosfèriques
Llums de muntanya marrons
Llum sísmica
Hitodama
Llums Marfa
Bola de foc Naga
Combustió humana espontània
Sprite (llampec)
Will-o'-the-wisp

Referències
Notes

^ Jump up to:a b J.B[rooking] R[owe], ed. (1905). The Two Widecombe Tracts, 1638[,] donant un relat contemporani de la gran tempesta, reimprès amb una introducció. Direcció: James G.Commin. Recuperat el 29 de juny de 2013.
^ Jump up to:a b Dia, Jeremies (gener de 1813). "Una visió de les teories que s'han proposat per explicar l'origen de les pedres meteòriques". Repositori General i Revisió. 3 (1): 156–157. Recuperat el 29 de juny de 2013.
^ Trimarchi, Maria (7 de juliol de 2008). "Existeix realment el llampec de bola?"HowStuffWorks.com. Recuperat el 25 de juny de 2019.
^ Jump up to:a b c d Cen, Jianyong; Yuan, Ping; Xue, Simin (17 de gener de 2014). "Observació de les característiques òptiques i espectrals dels llamps de bola". Cartes de revisió física. 112 (3): 035001. Codi Bibcode:2014PhRvL.112c5001C. doi:10.1103/PhysRevLett.112.035001. PMID 24484145.
^ Slezak, Michael (16 de gener de 2014). "El llampec de bola natural va sondejar per primera vegada". Nou científic. 221 (2953): 17. Bibcode:2014NotíciesSc.221... 17S. doi:10.1016/S0262-4079(14)60173-1. Recuperat el 22 de gener de 2014.
^ Letzter, Rafi (6 de març de 2018). "L'Skyrmion podria haver resolt el misteri del llampec de la bola". Ciència viva. Recuperat el 20 de gener de 2019.
^ Manykin, E. A.; Zelener, B.B.; Zelener, B. V. (2010). "Propietats termodinàmiques i cinètiques de la matèria noideal de Rydberg". Revista Soviètica de Cartes de Física Experimental i Teòrica. 92 (9): 630. Codi Bibcode:2010JETPL.. 92..630M. doi:10.1134/S0021364010210125. 121748296 S2CID.
^ Anna Salleh (20 de març de 2008). "Bola llampec bambúzles físic". 35.2772;149.1292: Abc.net.au. Recuperat el 21 de gener de 2014.CS1 maint: location (link)
^ Jump up to:a b Anon. "Pregunteu als experts". Científica Americana. Recuperat el 4 d'abril de 2007.
^ McNally, J. R. (1960). "Informe preliminar sobre el llamp de bola". Actes de la Segona Reunió Anual de la Divisió de Física de Plasma de la Societat Americana de Física (Paper J-15 ed.). Gatlinburg. pp. 1-25.
^ Grigoriev, A. I. (1988). Y. H. Ohtsuki (ed.). "Anàlisi estadística de les propietats del llamp de bola". Ciència del llampecde bola : 88-134.
^ Anon. "Afers Exteriors: Bristol 17 de desembre". Diari setmanal o British Gazetteer. 24 de desembre de 1726.
^ Anon (24 de desembre de 1726). "Afers Exteriors: Londres, 24 de desembre". Diari de Londres.
^ Clarke, Ronald W. (1983). Benjamin Franklin, Biografia. Random House. p. 87. ISBN978-1-84212-272-3.
^ Simons, Paul (17 de febrer de 2009). "El temps: Charles Darwin, el meteoròleg" El Temps. Londres. Recuperat el 6 de juliol de 2020.
^ Matthews, Robert (23 de febrer de 2009). "Extraterrestres? Grans boles de foc". El Nacional. Arxivat de l'original l'1 d'agost de 2009. Recuperat el 14 d'agost de 2009.
^ Cerveser, Ebenezer Cobham (1864). Guia per al coneixement científic de les coses familiars. pp. 13-14. Recuperat el 22 de gener de 2014.
^ De Fonvielle, Wilfrid (1875). "Capítol X Llampec globular". Trons i llamps (text complet).Traduït per Phipson, T. L. pp. 32–39. ISBN 978-1-142-61255-9.
^ Anon (24 de desembre de 1867). «Llampec globular». El mercuri de Leeds. Leeds, Regne Unit.
^ "El tsar-màrtir Nicolau II i la seva família". Orthodox.net. Arxivat de l'original el 17 de juny de 2009. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ No hi ha el llac Pasquaney a New Hampshire, Estats Units. El llac Newfound de Nou Hampshire té un Camp Pasquaney. No obstant això, part del llac es coneix com a Badia Pasquaney.
^ Crowley, Aleister (5 de desembre de 1989). "Chp. 83". Les confessions d'Aleister Crowley: una autobiografia. Pingüí. ISBN 978-0-14-019189-9.
^ Jennison, R.C. (1969). "Ball Lightning". Natura. 224 (5222): 895. Codi Bibcode:1969Natur.224.. 895J. doi:10.1038/224895a0. 4271920 S2CID.
^ Jump up to:a b c d e f Ley, Willy (octubre de 1960). "El cuc de la lluna". Per la seva informació. Ciència-ficció. pp. 56-71.
^ "Miracle salvat panth". Sikhnet.com 21 de desembre de 2009. Recuperat el 21 de gener de 2014.
^ Globus d'Or,24 de novembre de 1894.
^ Soubbotine, Mlle. N. de (1902). "(Météorologie)". Bulletin de la Société astronomique de France (francès). 16:117-118.
^ Mark Stenhoff, Ball Lightning: An Un problema no resolt en física atmosfèrica (Springer Science &Business Media, 2006) p70.
^ "El far naturalista del Cap". Fars d'Austràlia Occidental. Il·lustracions d'AustràliaInc. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ Wilder, Laura Ingalls (1937). A la vora de Plum Creek. Trofeu Harper. ISBN 978-0-06-440005-3.
^ Getline, Meryl (17 d'octubre de 2005). "Jugant amb el foc de Sant Elm". USA Today.
^ "Llampec de bola - i el vòrtex de la càrrega de la gota". Peter-thomson.co.uk. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ Aquesta pot ser una traducció incorrecta de la paraula "blixtlokaliseringssystem" de l'article universitari citat a les fonts
^ Larsson, Anders (23 d'abril de 2002). "Ett fenomen som gäckar vetenskapen" (en suec). Universitat d'Uppsala. Recuperat el 19 de novembre de 2007.
^ "L'impacte d'un llamp va destrossar la meva televisió". Premsa de Guernsey. 5 de març de 2005.
^ "Byla to koule s dvoumetrovým ocasem, popisuje dispe?erka kulový blesk" (in czech). Zpravy.idnes.cz 11 de juliol de

2011. Recuperat el 21 de gener de 2014.
^ "El herald de l'aviació". avherald.com.
^ "BL_Info_10". Ernmphotography.com. Arxivat de l'original el 22 de desembre de 2008. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ "Inusuals informes de fenomen: llampec de bola". Amasci.com. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ Barry, James Dale: Llamps de bola i pera: formes extremes d'electricitat atmosfèrica, ISBN 0-306-40272-6, 1980, Plenanum Press (p. 35)
^ Barry, J.D. (1980a) Ball Lightning and Bead Lightning: Extreme Forms of Atmospheric Electricity. 8–9. Nova York i Londres: Plenanum Press. ISBN 0-306-40272-6
^ Charman, Neil (14 de desembre de 1972). "L'enigma del llampec de bola". Nou científic.56 (824): 632–635.
^ Jump up to:a b c Ball, Philip (17 de gener de 2014). "Focus: Primer espectre de llamps de bola". Física.7:5. Bibcode:2014PhyOJ... 7....5B. doi:10.1103/Física.7.5.
^ Chauncy Montgomery M'Govern (maig de 1899). "El nou mag de l'Oest". Revista de Pearson. Arxivat de l'original el 6 d'octubre de 2008. Recuperat el 13 de juliol de 2009 – a través de homepage.ntlworld.com.
^ Jump up to:a b Tesla, Nikola (1978). Nikola Tesla – Colorado Springs Notes 1899-1900. Nolit (Beograd, Iugoslàvia), 368-370. ISBN 978-0-913022-26-9
^ Anon (2008). "Desè syposium internacional sobre llampecs de boles / Simposi internacional III sobre plasmes no convencionals". ICBL. Recuperat el 10 de maig de2010.
^ "ISBL-12". Arxivat de l'original el 4 juny 2012. Recuperat el 4 de juny de 2012.
^ Ohtsuki, Y. H.; H. Ofuruton (1991). "Boles de foc de plasma formades per interferència de microones en l'aire". Natura. 350 (6314): 139–141. Codi Bibcode:1991Natur.350.. 139O. doi:10.1038/350139a0. 4321381 S2CID.
^ Ohtsuki, Y. H.; H. Ofuruton (1991). "Boles de foc de plasma formades per interferència de microones en l'aire (Correccions)". Natura. 353 (6347): 868. Codi Bibcode:1991Natur.353.. 868O. doi:10.1038/353868a0.
^ ""Llampecde bola" creat en laboratori alemany. Cosmos Online. 7 de juny de 2006. Arxivat de l'original l'11 de juliol de 2006. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ Youichi Sakawa; Kazuyoshi Sugiyama; Tetsuo Tanabe; Richard More (gener 2006). "Generació de boles de foc en una descàrrega d'aigua". Investigació en plasma i fusió.1:039. Codi Bibcode:2006PFR..... 1...39S. doi:10.1585/pfr.1.039.
^ Com fer un plasmoide estable (Ball Lightning) amb el GMR (Graphite Microwave Ressonator) de Jean-Louis Naudin" Jlnlabs.online.fr 22 de desembre de 2005. Arxivatde l'original el 26 de juny de 2009. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ "Creant el 4t estat de la matèria amb microones" de Halina Stanley. scienceinschool.org 13 d'agost de 2009. Arxivat de l'original el 31 d'octubre de 2009. Recuperat el 6 d'octubre de 2009.
^ "Universidade Federal de Pernambuco". Ufpe.br. Arxivat de l'original el 21 de juny de 2009. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ "Pesquisadores da UFPE geram, em laboratório, fenômeno atmosférico conhecido como bolas luminosas". Ufpe.br 16 de gener de 2007. Arxivat de l'original el 20 de desembre de 2008. Recuperat el 13 de juliol de 2009.
^ Jump up to:a b Handwerk, Brian (22 de gener de 2007). "Misteri del llamp de bola resolt? Fenomen elèctric creat en laboratori". Notícies de National Geographic. Arxivat de l'original el 10 de febrer de 2007.
^ Snow Harris, William (2008). "Secció I". Sobre la naturalesa de les tempestes (originalment publicades el 1843) (Reimpressió ed.). Llibres de Bastian. pp. 34-43. ISBN978-0-554-87861-4.
^ François Arago, Assaigs meteorològics de Longman, 1855
^ Paiva, Gerson Silva; Antonio Carlos Pavão; El vell Alps de Vasconcelos; Odim Mendes Jr.; Eronides Felisberto da Silva Jr. (2007). "Producció de boles lluminoses en tipus de llamp per descàrregues elèctriques en silici". Físic. Reverend Lett. 98 (4): 048501. Codi Bibcode:2007PhRvL.. 98d8501P. doi:10.1103/PhysRevLett.98.048501. PMID17358820.
^ "Boles de llampec creades al laboratori". Nou científic. 10 de gener de 2007. Una teoria més baixa a la terra, proposada per John Abrahamson i James Dinniss a la Universitat de Canterbury a Christchurch, Nova Zelanda, és que el llamp es forma quan un llamp impacta contra el sòl, convertint qualsevol sílice del sòl en vapor de silici pur. A mesura que el vapor es refreda, el silici es condensa en un aerosol flotant lligat a una bola per càrregues que es reuneixen a la seva superfície, i brilla amb la calor de la recombinació de silici amb oxigen.
^ ftp://ftp.aip.org/epaps/phys_rev_lett/E-PRLTAO-98-047705/
^ Slezak, Michael (2014). "El llampec de bola natural va sondejar per primera vegada".Nou científic. 221 (2953): 17. Bibcode:2014NotíciesSc.221... 17S. doi:10.1016/S0262-4079(14)60173-1. Recuperat el 17 de gener de 2014.
^ Abrahamson, John; Dinniss, James (2000). "Llampec de bola causat per l'oxidació de xarxes de nanopartícules a partir d'impactes normals de llamps a terra". Natura. 403 (6769): 519–21. Codi Bibcode:2000Natur.403.. 519A. doi:10.1038/35000525. PMID10676954. 4387046 S2CID.
^ Francesc, Mateu (22 de gener de 2014). "El secret brut darrere del llampec de la bola és la brutícia". Ars Technica.
^ Muldrew, D.B. (1990). "La naturalesa física del llampec de la bola". Cartes d'investigació geofísica. 17 (12): 2277–2280. Bibcode:1990GeoRL.. 17.2277M. doi:10.1029/GL017i012p02277.
^ Muldrew, D.B. (2010). "Model sòlid de nucli carregat de llampec de bola". Annales Geophysicae. 28 (1):

223–2010. Bibcode:2010AnGeo.. 28..223M. doi:10.5194/angeo-28-223-2010.
^ ??????, ?. ?. (1955). ? ??????? ??????? ?????? [Sobre la naturalesa del llampec de la pilota]. ????. ????. ???? ???? (en rus). 101:245.
^ Kapitsa, Peter L. (1955). "La naturalesa del llampec de la bola". Donald J. Ritchie (ed.). Ball Lightning: Una col·lecció d'investigació soviètica en traducció anglesa (1961 ed.). Oficina de Consultors, Nova York. pp. 11-16. 9780835759502 ISBN. 717403 OCLC.
^ Händel, Peter H.; Jean-François Leitner (1994). "Desenvolupament de la teoria del llampec de boles de màser-cavitat". J. Geofísica. Res. 99 (D5): 10689. Codi Bibcode:1994JGR.... 9910689H. doi:10.1029/93JD01021.
^ Wu, H.C. (juny 2019). "Teoria relativista-microones dels llampecs de bola". Informes científics. 6:28263. doi:10.1038/srep28263. 4916449 pmc. PMID 27328835.
^ "Rubinstein, J". Inspira l'HEP. Recuperat el 6 de març de 2017.
^ Jump up to:a b Dvornikov, Maxim; Dvornikov, Serguei (2007). Gerard, F. (ed.). Oscil·lacions de gas electrònic en plasma. Teoria i aplicacions. Avenços en la investigació de la física del plasma. 5. pp. 197–212. arXiv:física/0306157. Bibcode:2003física... 6157D. ISBN 978-1-59033-928-2. Arxivat de l'original el 8 de desembre de 2015. Recuperat el 20 de desembre de 2018.
^ Jump up to:a b Dvornikov, Maxim (2010). "Formació d'estats enllaçats d'electrons en oscil·lacions esfèriques simètriques del plasma". Physica Scripta. 81 (5): 055502. arXiv:1002.0764. Bibcode:2010PhyS... 81e5502D. doi:10.1088/0031-8949/81/05/055502. 116939689 S2CID.
^ Jump up to:a b Dvornikov, Maxim (1 de desembre de 2011). "Solitons axialment i esfèricament simètrics en plasma càlid". Revista de Física del Plasma. 77 (6): 749–764. arXiv:1010.0701. Bibcode:2011JPlPh.. 77..749D. doi:10.1017/S002237781100016X. ISSN 1469-7807. 118505800 S2CID.
^ Davydova, T. A.; Yakimenko, A. I.; Zaliznyak, Yu. A. (28 de febrer de 2005). "Solitons espacials estables de Langmuir". Lletres físiques A. 336 (1): 46–52. arXiv:física/0408023. Codi Bibcode:2005PhLA.. 336...46D. doi:10.1016/j.physleta.2004.11.063. 119369758 S2CID.
^ Jump up to:a b c Dvornikov, Maxim (8 de febrer de 2012). "Atracció efectiva entre electrons oscil·lants en un plasmoide a través de l'intercanvi acústic d'ones". Proc. R. Soc. A. 468 (2138): 415–428. arXiv:1102.0944. Codi Bibcode:2012RSPSA.468.. 415D. doi:10.1098/rspa.2011.0276. ISSN 1364-5021. 28359324 S2CID.
^ Jump up to:a b Dvornikov, Maxim (2013). "Aparellament de partícules carregades en un plasmoide quàntic". Revista de Física A: Matemàtica i Teòrica. 46 (4): 045501. arXiv:1208.2208. Bibcode:2013JPhA... 46d5501D. doi:10.1088/1751-8113/46/4/045501. 118523275 S2CID.
^ Jump up to:a b Dijkhuis, G.C. (13 de març de 1980). "Un model per a llampecs de bola". Natura. 284(5752): 150–151. Codi Bibcode:1980Natur.284.. 150D. doi:10.1038/284150a0. 4269441 S2CID.
^ Jump up to:a b Zelikin, M. I. (2008). "Superconductivitat del plasma i les boles de foc". Revista de Ciències Matàticas. 151 (6): 3473–3496. doi:10.1007/s10958-008-9047-x. 123066140 S2CID.
^ Dvornikov, Maxim (1 de novembre de 2012). "Interacció d'intercanvi quàntic de plasmoides esfèricament simètrics". Revista de Física Atmosfèrica y Solaro-Terrestre. 89(2012): 62–66. arXiv:1112.0239. Codi Bibcode:2012JASTP.. 89...62D. doi:10.1016/j.jastp.2012.08.005. 119268742 S2CID.
^ Coleman, PF (1993). "Una explicació per al llampec de bola?" El temps. 48 (1): 30. Bibcode:1993Wthr... 48...27.. doi:10.1002/j.1477-8696.1993.tb07221.x.
^ Meshcheryakov, Oleg (2007). "Bola llampec-aerosol electroquímic font d'energia o un núvol de bateries". Nanoescala Res. Lett. 2 (3): 319–330. Bibcode:2007NRL..... 2..319M. doi:10.1007/s11671-007-9068-2.
^ Meshcheryakov, Oleg (1 d'agost de 2010). "Com i per què la càrrega electrostàtica de nanopartícules combustibles pot canviar radicalment el mecanisme i la velocitat de la seva oxidació en atmosfera humida". arXiv:1008.0162 [physics.plasm-ph].
^ "Fenòmens aeris no identificats al Regne Unit, Regió de Defensa Aèria, Resum Executiu" (PDF). disclosureproject.org. Personal d'Intel·ligència de Defensa. Desembre de 2000. p. 7. Arxivat de l'original (PDF) el 22 d'abril de 2017.
^ Algunes observacions de llamps de bola podrien ser al·lucinacions òptiques causades per crisis epilèptiques,Cooray, G. i V. Cooray, La revista de ciència atmosfèrica d'accés obert,vol. 2, pp. 101–105 (2008)
^ Jump up to:a b Peer, J.; Kendl, A. (2010). "Estimulabilitat transcranial dels fosfenses mitjançant polsos electromagnètics de llamps llargs". Lletres físiques A. 374 (29): 2932–2935. arXiv:1005.1153. Codi Bibcode:2010PhLA.. 374.2932P. doi:10.1016/j.physleta.2010.05.023. 119276495 S2CID.

Erratum: Peer, J.; Cooray, V.; Cooray, G.; Kendl, A. (2010). "Erratum i addendum a "Estimulabilitat transcranial dels fosfenses per polsos electromagnètics de llamps llargs" [Phys. Lett. A 374 (2010) 2932]". Lletres físiques A. 347 (47): 4797–4799. Codi Bibcode:2010PhLA.. 374.4797P. doi:10.1016/j.physleta.2010.09.071.

^ El llamp de bola està tot en la ment, diuen els físics austríacs,El Registre, 19 de maig de 2010.
^ Tecnologia emergent (11 de maig de 2010). "Les al·lucinacions induïdes magnèticament expliquen els llampecs de

bola, diuen els físics". Revisió tecnològica del MIT. Recuperat el 6 de juliol de 2020.
^ Manykin, E. A.; Ojovan, M. I.; Poluektov, P. P. (2006). Samartsev, Vitalí V (ed.). "Matèria de Rydberg: propietats i decadència". Procediments del SPIE. Procediments SPIE. 6181:618105-618105-9. Codi Bibcode:2006SPIE.6181E.. 05M. doi:10.1117/12.675004. 96732651 S2CID.
^ Norman, G. É. (2001). "La matèria de Rydberg com un estat metaestable de plasma fortament noideal". Revista de Cartes de Física Experimental i Teòrica. 73 (1): 10–12. Codi Bibcode:2001JETPL.. 73...10N. doi:10.1134/1.1355396. 120857543 S2CID.
^ Manykin, E. A.; Zelener, B.B.; Zelener, B. V. (2011). "Propietats termodinàmiques i cinètiques de la matèria noideal de Rydberg". Lletres JETP. 92 (9): 630. Codi Bibcode:2011JETPL.. 92..630M. doi:10.1134/S0021364010210125. 121748296 S2CID.
^ Holmlid, L. (2007). Observació directa d'electrons circulars de Rydberg en una capa superficial de matèria de Rydberg per dichroisme circular electrònic. Revista de Física: Matèria condensada. 19 (27): 276206. Bibcode:2007JPCM... 19A6206H. doi:10.1088/0953-8984/19/27/276206.
^ Endean, V. G. (1976). "El llampec de bola com a energia electromagnètica". Natura. 263(5580): 753–755. Codi Bibcode:1976Natur.263.. 753E. doi:10.1038/263753a0. 4194750 S2CID.
^ Cantant, Stanley (1971). La naturalesa del llampec de bola. Nueva York: Plenanum Press.
^ Smirnov 1987, Informes de Física,(Secció de revisió de cartes físiques),152, núm. 4, pp. 177–226.
^ Wu, H.-C. (2016). "Teoria relativista-microones del llampec de bola". Informes científics.6:28263. arXiv:1411.4784. Bibcode:2016NatSR... 628263W. doi:10.1038/srep28263. 4916449 pmc. PMID 27328835.
^ Meessen, A. (2012). "Ball Lightning: Bombolles d'oscil·lacions electròniques de plasma" (PDF). Revistad'Electromagnetismes i Plasmes No Convencionals: 163-179.Cite journal requires (help|journal=)

Més lectura

Barry, James Dale (1980). Llampec de bola i raigs de pera. Nueva York: Plenanum Press. ISBN 978-0-306-40272-2.
Cade, Cecil Maxwell; Delphine Davis (1969). La domesticació dels trons. Nueva York: Abelard-Schuman Limited. ISBN 978-0-200-71531-7.
Coleman, Peter F. (2004). Grans Boles de Foc: Una teoria unificada dels llamps de bola, ovnis, Tunguska i altres llums anòmales. Christchurch, NZ: Fireshine Press. ISBN 978-1-4116-1276-1.
Coleman, P. F. 2006, J. Sci. Expl., Vol. 20, Núm. 2, 215–238.
Golde, R. H. (1977). Llampec. Direcció: John Wright i Sons Limited. ISBN 978-0-12-287802-2.
Golde, R. H. (1977). Lightning Volum 1 Física del Llamp. Premsa acadèmica.
Seward, Clint (2011). Explicació del llamp de bola que condueix a l'energia neta. ISBN 978-1-4583-7373-1.
Stenhoff, Mark (1999). El llamp de bola és un problema sense resoldre en la física atmosfèrica. Editors acadèmics/plenum de Kluwer. ISBN 978-0-306-46150-7.
Uman, Martin A. (1984). Llampec. Publicacions de Dover. ISBN 978-0-486-25237-7.
Viemeister, Peter E. (1972). El llibre llampec. Cambridge: MIT Press. ISBN 978-0-262-22017-0.