

**Lista Bibliográfica 2**

**FÍSICA DAS PARTÍCULAS**



# FÍSICA DAS PARTÍCULAS

Lista Bibliográfica | Física, 2

Apoio ao currículo, 2017

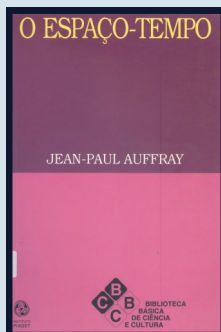
Organizadas por temas e com o objetivo de alargar horizontes, as *Listas bibliográficas de apoio à disciplina de Física* apresentam dois tipos de recurso:

- documentos livro, áudio e vídeo disponíveis na Biblioteca Escolar Clara Póvoa para consulta presencial e requisição domiciliária
- fontes eletrónicas *online* que podem servir de ponto de partida para explorações / estudos mais aprofundados.

À medida que o fundo documental da BECP se for enriquecendo, estas listas bibliográficas serão atualizadas.

Boas pesquisas!





Auffray, Jean-Paul. (1999).  
*O espaço-tempo*. Lisboa: Instituto Piaget.

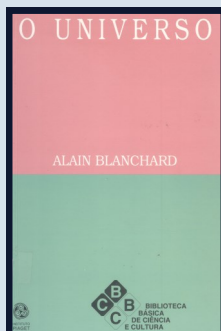
**Cota: 53 AUF | N.º de registo: 9535**

Este é um livro de história e de ciência. No entanto, nada nos proíbe de nos interessarmos por jogos.

Descreveremos aqui três «jogos» que estão na base do nosso conhecimento da maneira como funciona o espaço-tempo à escala subatômica, e depois um quarto jogo abrindo novas possibilidades.

### O jogo quarks

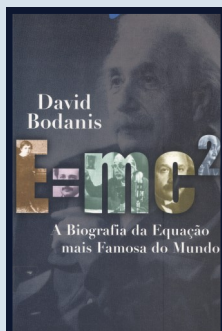
O físico Murray Gell-Mann inventa nos anos 60º jogo dos quarks, concebido à partida como uma simples brincadeira destinada a pôr em evidência certas regularidades na organização das partículas. Esse jogo joga-se com seis «cartas» designadas cada uma por uma letra – u e d, s e c, t e b. Os quarks u e d, os mais difundidos na natureza, são os únicos que nos vão interessar aqui. (p. 97)



Blanchard, Alain. (1996).  
*O universo*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 52 BLA | N.º de registo: 9495**

A cada partícula criada corresponde uma antipartícula. Já referimos que a partícula e antipartícula possuem propriedades idênticas e cargas eléctricas opostas. É aquilo a que chamamos a «conjugação de carga», assinalada como C. Certas partículas nem sempre seguem com rigor esta lei de similaridade: uma partícula e a sua antipartícula podem possuir propriedades ligeiramente diferentes; é aquilo a que chamamos violação da simetria matéria-antimatéria. Suponhamos que a partícula se desintegra um pouco mais rapidamente que a sua antipartícula. Essa diferença provoca uma assimetria temporária: enquanto a antipartícula se desintegra mas não desapareceu completamente, existe uma diferença, uma vez que subsistem antipartículas num número um pouco mais elevado que o das partículas. Todavia, no fim da desintegração, encontram-se tantos produtos de desintegração da partícula como da antipartícula e a simetria original é reposta. (p. 20)

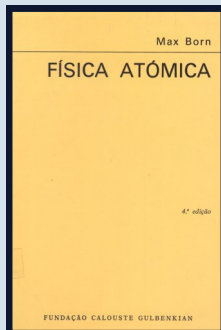


Bodanis, David. (2001).  
*E=mc²: a biografia da equação mais famosa do mundo*. Lisboa: Gradiva.

**Cota: 53 BOD | N.º de registo: 10836**

Os estudantes universitários de 1900 aprendiam que a matéria comum – tijolos, aço, urânio e tudo o mais – era composta por partículas pequenas, chamadas átomos. Mas ninguém sabia de que eram feitos os átomos. Segundo a ideia corrente, eram qualquer coisa como esferas duras e brilhantes: entidades extremamente incandescentes que ninguém conseguia perscrutar. Foi somente por volta de 1910, com as investigações de Ernest Rutherford, um homem grande e tonitruante que trabalhava na Universidade de Manchester, em Inglaterra, que começou a desvendar-se o interior dos átomos. [...]

Se os átomos eram como pequenas esferas, então Rutherford descobrira que estas esferas eram praticamente ocas. Havia apenas um minúsculo grão mesmo no centro, o núcleo do átomo. Era uma descoberta desconcertante – os átomos de que somos feitos são quase só espaço vazio! (p. 89)

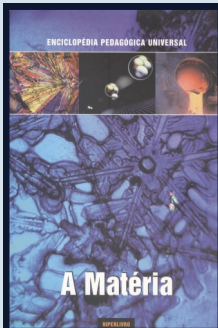


Born, M., Blin-Stoyle, R. J. & Radcliffe, J. M. (1986).  
(4.ª ed.). *Física atômica*. Lisboa: Fundação Calouste  
Gulbenkian.

**Cota: 53 BOR | N.º de registo: 9026**

Por serem instáveis, os mesões os mesões não podem ser as partículas primárias da radiação cósmica. Devem ter sido produzidos algures na atmosfera terrestre. Viajando com suficiente rapidez poderiam ter tempo de atingir o nível do mar antes de se desintegrarem. Vimos no § 7 que as partículas primárias vinda do espaço interestelar são provavelmente protões. Podemos agora compreender como os mesões são produzidos pelos protões primários. Quando um protão primário rápido entra na atmosfera pode acontecer que colida com um núcleo de oxigénio ou de azoto que, como sabemos, é também constituído por protões e neutrões. Cada uma destas partículas, assim como o protão primário, é rodeada por um campo mesónico. Num choque violento entre o protão e o núcleo serão emitidas ondas mesónicas por um processo semelhante às ondas de luz emitidas num choque violento... (p. 57)



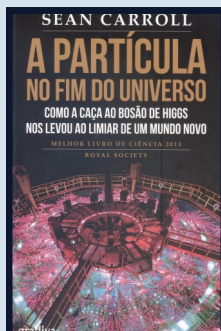


Carrada, Giovanni.(2002).  
*A matéria*. Matosinhos: QuidNovi.

Cota: 53(031) CAR | N.º de registo: 11280

A viagem ao coração da matéria não termina no núcleo, nem tampouco nos constituintes, os prótons e os neutrões. Com efeito, no seu interior existem ainda os quarks. Os físicos pensam que, com a descoberta dos quarks, a investigação das unidades indivisíveis da matéria está próxima do fim. Os quarks são, de facto, partículas elementares, inseparáveis. São em número de seis e têm nomes curiosos que, no entanto, não correspondem às características das partículas: “up”, “down”, “estranho”, “charme”, “top” e “bottom”.

Os quarks têm propriedades invulgares, mesmo para o estranho mundo das partículas subatómicas. A carga eléctrica que transportam, por exemplo, é uma fracção da carga do electrão ( $\frac{2}{3}$  ou  $\frac{1}{3}$ , consoante o tipo de quark). Dentro do próton encontram-se dois quarks “up” e um quark “down”, enquanto no interior do neutrão há dois quarks “down” e um quark “up”.  
(p. 24)

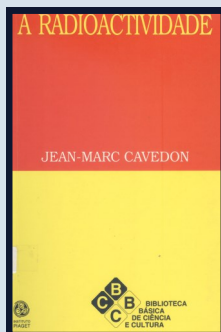


Carrol, Sean. (2014).

*A partícula no fim do universo*. Lisboa: Gradiva.

Cota: 53 CAR | N.º de registo: 13520

Tudo o que vê à sua volta neste momento, e tudo o que alguma vez se viu com os seus olhos, e tudo o que alguma vez ouviu com os seus ouvidos e sentiu com qualquer um dos seus sentidos, é uma combinação de electrões, protões e neutrões, juntamente com as três forças da gravidade, electromagnetismo e a força nuclear, que mantém os protões e os neutrões juntos. A história dos electrões, protões e neutrões uniu-se no início dos anos 30. Nessa altura, deve ter sido irresistível imaginar que estes três fermiões eram, na realidade, os ingredientes do Universo, as peças básicas a partir do qual tudo é construído. Mas a Natureza tinha umas surpresas guardadas. Uma consequência imediata da equação de Dirac, apesar de os físicos terem levado muito tempo a aceitá-la, é que cada fermião está associado a uma partícula de tipo oposto, designada por «antipartícula». (p. 72)

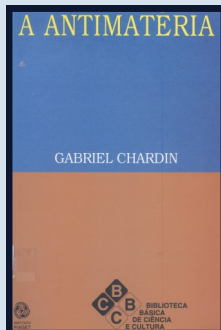


Cavedon, Jean-Marc. (2000).  
*A radioactividade*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 CAV | N.º de registo: 9554**

O papel dos físicos das partículas é o de nos contarem os três primeiros minutos da história do universo. Esse intervalo de tempo corresponde às energias e às temperaturas em que apenas existiam as partículas elementares. Os físicos e os astrofísicos nucleares continuam a tarefa após esse tempo de arrefecimento brutal, em que apenas subsistem as partículas elementares mais estáveis: os prótons, os neutrões, os electrões, os fótons e os neutrinos. Essas famílias interagem por meio de quatro forças. Cada força, ou interacção corresponde à troca de uma partícula portadora de energia entre duas partículas de matéria. [...]

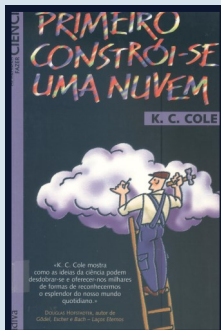
A natureza recorreu à fusão para criar as reservas actuais de núcleos leves do universo. Deu-se o nome de nucleossíntese primordial a esta curta fase da história do universo. Seguiremos esta história a partir das grandes perturbações dos primeiros segundos, que constituíram os prótons e os neutrões. (pp. 18, 39)



Chardin, Gabriel. (2000).  
*A antimatéria*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 CHA | N.º de registo: 9546**

Face aos quarks que são regidos que são regidos pela interacção dos núcleos, chamada interacção forte dada a sua grande intensidade, encontra-se um segundo mundo que é o dos leptões, que não são compostos por quarks. Lembremo-nos de que, na matéria vulgar, os electrões vêm vestir os núcleos. Detrás do electrão que já conhecemos descobriu-se de seguida na radiação cósmica o muão, duzentas vezes mais pesado que o electrão, antes de os aceleradores de partículas revelarem uma terceira família com um novo electrão pesado, o tau, três mil e quinhentas vezes mais pesado que o electrão. E tal como se têm dois quarks numa mesma família, também, para os leptões, se encontra face ao electrão de carga  $-1$  uma partícula de carga eléctrica nula, o neutrino, «a pequena partícula neutra», como o chamara amigavelmente o físico Enrico Fermi. (p. 40)



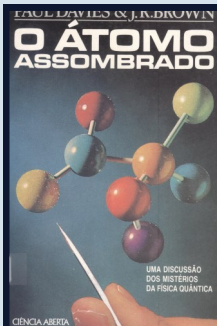
Cole, K. C. (2002).

*Primeiro constrói-se uma nuvem.* Lisboa: Gradiva.

**Cota: 53 COL | N.º de registo: 11452**

Como muitas pessoas, sempre me senti céptica quando ouvia os físicos a afirmarem convictamente terem «visto» partículas a efervescerem para a existência durante uma breve bilionésima parte do segundo, ou quasares massivos suspensos a 10 mil milhões de anos-luz de distância nos limites do espaço-tempo.

Tenho a certeza de que eles nunca viram tais coisas. Os quarks e os quasares são invisíveis à vista desarmada. Na melhor das hipóteses, os físicos viram um pico numa curva que relacionava o número de várias partículas produzidas em colisões atómicas, ou as ténues impressões digitais deixadas por fotões com 10 mil milhões de anos de idade em detetores de silício; na maior parte dos casos, tal «visão» é, na verdade, uma conclusão laboriosamente construída após longas horas de cálculos em computadores e longas cadeias de interferências e suposições. (pp. 57-58)

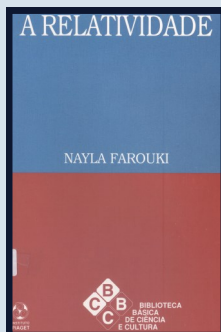


Davies, P., Brown, J. R. (1991).  
*O átomo assombrado*. Lisboa: Gradiva.

**Cota: 53 DAV | N.º de registo: 11866**

A teoria quântica iniciou-se no ano de 1900, coma publicação de um artigo do físico alemão Max Planck. Planck fez incidir a sua atenção sobre algo que era um problema não resolvido para os físicos do século XIX – a distribuição de energia radiante, por um corpo a alta temperatura, em função do comprimento da onda. Em certas condições ideais, a energia distribui-se de uma forma característica, que Planck demonstrou só poder ser explicada caso se considerasse que o corpo emitia a radiação electromagnética em pacotes discretos ou quantidades de energia a que deu o nome de quanta. A razão de ser deste estranho comportamento era desconhecida, pelo que tinha que ser simplesmente aceite ad hoc.

Em 1905, a hipótese quântica foi reforçada por Einstein, que, com o seu auxílio, conseguiu explicar com sucesso o chamado «efeito fotoeléctrico», que consiste no arranque de electrões para fora da superfície de um metal, por efeito da incidência de luz. (pp. 12-13)



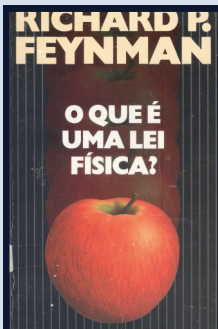
Farouki, Nayla. (1994).

*A relatividade*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 FAR | N.º de registo: 9470**

A sorte não favorecia o realismo absoluto com que sonhava Einstein. Com efeito, nos anos 20 e na Europa, desenvolviam-se uma teoria referente às partículas elementares: a mecânica quântica. Para compreender a posição de Einstein a este respeito será necessário apresentar muito resumidamente algumas das conclusões desta teoria.

O átomo, conhecido havia pouco tempo, foi rapidamente partido: era composto, na sua maior parte, de... vazio. O átomo, segundo Rutherford, assemelhava-se a um pequeno sistema solar, com um núcleo de matéria densa e electrões gravitando à sua volta. O próprio núcleo era constituído por partículas – protões – carregados electricamente, e os neutrões, sem qualquer carga eléctrica. e, no quadro de outras experiências, reagem exactamente como se esperava ver partículas reagir, como objectos, em suma, pequenos projecteis! (pp. 87-88)



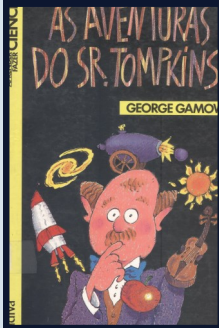
Feynman, Richard P. (1989).

*O que é uma lei física?*. Lisboa: Gradiva.

Cota: 53 FEY | N.º de registo: 9052

Em primeiro lugar existem eletrões, que são as partículas que ocupam a região mais exterior dos átomos. Depois há núcleos, mas estes, sabe-se hoje, são feitos de duas partículas, chamadas «neutrões» e «protões». Podemos observar tanto as estrelas como os átomos. Estes emitem luz, constituída também por partículas, chamadas «fotões». Na primeira palestra falei-lhes da gravitação; se a teoria quântica está correcta, a gravitação produz um certo tipo de ondas, que se comportam também como a partículas, os chamados «gravitões». Se não acreditam, chamem-lhes simplesmente «gravidade». Finalmente, já mencionei o chamdo «declínio beta», processo pelo qual um neutrão se pode desintegrar num protão, num electrão e num neutrino, ou, mais exactamente, num antineutrino: existe, por conseguinte, uma outra partícula, o neutrino. Além das partículas que enumerei, existem, evidentemente, todas as antipartículas; este é, simplesmente, um meio eficiente de ter em conta a duplicação do número de partículas normais e não causa qualquer problema. (pp. 87-88)

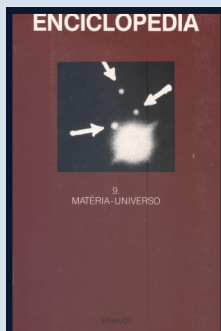




Gamow, George. (1990).  
As aventuras do sr. Tompkins. Lisboa Gradiva.

**Cota: 53 GAM | N.º de registo: 6928**

E, por favor, não pensem que estou a brincar: a penetrabilidade das barreiras potenciais por partículas com energia insuficiente é uma consequência matemática directa das equações fundamentais da nova mecânica quântica; representa assim uma das diferenças mais importantes entre as novas e as velhas ideias acerca do movimento. Mas, apesar de a mecânica moderna permitir estes efeitos inesperados, fá-lo apenas sob grandes restrições: na maioria dos casos, as hipóteses de atravessar a barreira são extremamente fracas e a partícula aprisionada deve embater na parede da barreira um número incrível de vezes antes de conseguir finalmente atravessá-la. A teoria quântica fornece regras exactas sobre o cálculo da probabilidade de fuga das partículas e foi comprovado que os períodos de emissão de partículas alfa estão em completo acordo coma teoria. (p. 211)

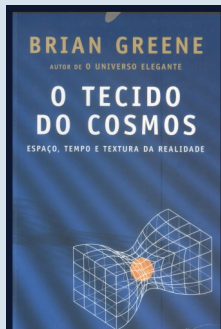


Gil, Fernando. (1986).  
(vol. 9). *Enciclopédia Einaudi: Matéria-Universo*.  
Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda.

**Cota: 53(031) ENC | N.º de registo: 12325**

Nos fins dos anos 20 podia afirmar-se que a estrutura do átomo estava completamente esclarecida; a mecânica quântica tinha alcançado uma coerência completa, que encontra no cérebro livro de Dirac *Principles of Quantum Mechamics* a sua formulação praticamente definitiva. Era natural, por isso, que os físicos virassem a sua atenção para os problemas do núcleo atómico.

A primeira evidência de que os núcleos atómicos deviam ter uma estrutura complexa deriva dos fenómenos da radioactividade. A descoberta da radioactividade deve-se a Henri Becquerel que, em 1896, notou a existência de radiações provenientes de sais de urânio; mas a radioactividade está sobre tudo associadaaos nomes dos cônjuges Curie, que descobriram inúmeros átomos radioactivos, entre os quais o rádio, e as suas propriedades mais importantes. (pp. 151-152)

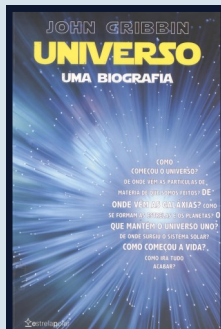


Greene, Brian. (2006).

*O tecido do cosmos*. Lisboa: Gradiva.

**Cota: 52 GRE | N.º de registo: 10856**

Os físicos partem do princípio que o grau no qual o oceano de Higgs resiste à aceleração de uma partícula varia com as espécies de partículas. Isto é essencial, porque todas as espécies conhecidas de partículas fundamentais têm massas diferentes. Por exemplo, enquanto os prótons e os neutrões são compostos de duas espécies de quarks (chamados quarks up e quarks down; um próton é feito de dois ups e um down e um neutrão de dois downs e um up), ao longo dos anos os experimentalistas usaram esmagadores de átomos para descobrir quatro outras espécies de quarks, cujas massas variam imenso, desde 0,0047 até 189 vezes a massa de um próton. Os físicos estão convencidos de que a explicação desta variedade de massas é que os diferentes tipos de partículas interagem mais ou menos fortemente com o oceano de Higgs. (p. 140)

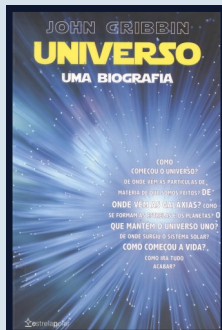


Gribbin, John. (2009).  
*Universo: uma biografia*. Alfragide: Estrela Polar.

Cota: 52 GRI | N.º de registo: 12105

A questão com que os cosmólogos agora se debatem é como é que o Big Bang aconteceu ou, se quisermos, como começou o Universo?

O ponto de partida para esta questão é o próprio modelo-padrão dos cosmólogos, que combina o que aprenderam sobre o Universo em expansão a partir das observações com o entendimento teórico do espaço-tempo, incorporado na teoria geral de Einstein. A criação deste modelo tem vindo a ser sustentada, pois quanto mais longe no Universo vemos, mais atrás no tempo recuamos. Uma vez que a luz viaja a uma velocidade finita, quando olhamos para galáxias a milhões de anos-luz de distância, vemo-las como eram há milhões de anos, quando a luz que agora chega aos nossos telescópios as deixou. Com telescópios poderosos, os astrónomos podem ver o aspecto do Universo quando este era mais jovem e a radiação cósmica de fundo permite-nos “observar” (com radiotelescópios) a última fase da própria bola de fogo. (pp. 59-60)

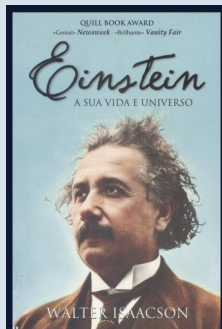


Gribbin, John. (2009).  
*Universo: uma biografia*. Alfragide: Estrela Polar.

Cota: 52 GRI | N.º de registo: 12105

As observações astronómicas foram igualmente as primeiras a dizer aos físicos que os neutrinos têm massa, graças a estudos de um objecto muito mais próximo de nós que o Big Bang: o Sol. E isto dá-nos mais uma ligação entre a física à escala laboratorial, a astrofísica e a cosmologia, reforçando a ideia de que a ciência subjacente é algo que realmente sabemos sobre como o mundo funciona. [...]

Os neutrinos produzidos nas interações no centro do Sol são todos neutrinos de electrão e os detectores utilizados nos estudos típicos dos neutrinos solares apenas conseguem detectar neutrinos de electrão. Todavia, hoje tornou-se claro que, quando viajamos através do espaço, os neutrinos mudam para outras variedades (neutrinos de tau e do muão) e retrocedem à variedade anterior. Este processo chama-se oscilação dos neutrinos e significa que, se começarmos com um feixe de neutrinos de electrão puros... (pp. 103-104)



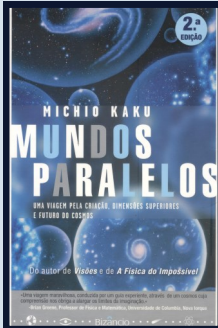
Isaacson, Walter. (2008).

*Einstein: a sua vida e universo*. Alfragide: Casa das Letras.

Cota: 53(092) ISA | N.º de registo: 12551

Há quatro anos que Einstein estudava o trabalho de Planck e Lenard. No seu artigo final de 1904, «Sobre a teoria Geral Molecular do Calor», explicava como era a flutuação da energia média de um sistema de moléculas: Depois, aplicou isso a um volume cheio de radiação e viu que os resultados experimentais eram comparáveis. A sua conclusão foi: «Creio que essa coincidência não pode ter sido ao acaso.» Tal como escreveu o amigo Conrad Habicht assim que terminou o artigo de 1904: «Agora descobri, de uma maneira mais simples, a relação entre o tamanho dos quanta elementares da matéria e os comprimentos de onda da radiação.» Pelos vistos, ele estava pronto a formular a teoria de que o campo de radiação era feito de quanta.

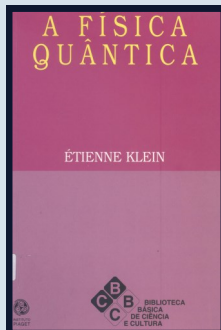
No seu artigo de 1905 sobre os quanta de luz, publicado um ano depois, fez exactamente isso. (p. 95)



Kaku, Michio. (2010).  
(2.ª ed.). Mundos paralelos. Lisboa: Bizâncio.

**Cota: 52 KAK | N.º de registo: 12440**

Se examinarmos as forças e partículas do Universo, todas elas cabem em duas categorias «fermiões» e «bosões», de acordo com o seu spin. Actuam como pequenos piões giratórios que podem rodar a diferentes taxas. Por exemplo, o fóton, uma partícula de luz que medeia a força electromagnética, tem spin 1. As forças nucleares fraca e forte são medidas por bosões W e pelos gluões, que também, têm spin 1. O gravitão, uma partícula da gravidade, tem spin 2. Todas as partículas que tem spin inteiro chamam-se bosões. De modo semelhante, as partículas de matéria são descritas subatómicas com spin semi-inteiro –  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{5}{2}$ , etc. (As partículas com spins meio inteiros chamam-se fermiões incluem o electrão, o neutrino e os quarks.) Assim, a supersimetria representa elegantemente a dualidade entre bosões e fermiões, entre forças e matérias. (p. 216)



Klein, Étienne. (2000).

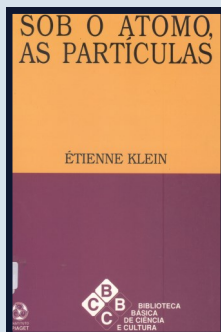
*A física quântica*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 KLE | N.º de registo: 9547**

Todas as partículas, quer sejam de luz quer de matéria, manifestam alternadamente tanto aspectos ondulatórios, como propriedades corpusculares, mas não são nem ondas nem corpúsculos. Daí surge a ideia, apresentada por Neils Bohr em 1927, segundo a qual os aspectos ondulatórios e corpuscular são «complementares».

Esta ideia, difícil de perceber, tornou-se depressa o pólo de discussões sobre a interpretação da física quântica, dividindo o conjunto dos seus pais fundadores. Max Plank (1858-1947), Erwin Schrödinger (1887-1961), Albert Einstein (1879-1955), Louis de Brogne (1892-1987) opunham-se a ela; Werner Heisenberg (1901-1976), Wolfgang Pauli (1900-1958), Max Born (1882-1970), Paul Dirac (1902-1984) aceitavam-na com maior ou menor entusiasmo. Porque o sentido de um conceito, explica Niels Bohr, só é definido por meio de uma experiência concreta. (p. 31)





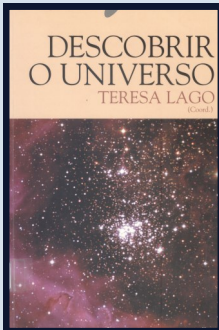
Klein, Étienne. (1994).

*Sob o átomo, as partículas.* Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 KLE | N.º de registo: 9469**

Algumas das partículas criadas são partículas «correntes», como os prótons, neutrões, electrões ou outros neutrinos (misteriosas partículas, omnipresentes no Universo, mas muito discretas) que existem habitualmente na natureza, enquanto outras apenas aparecem por curtos instantes. Instáveis e fugidias, retransformam-se muito rapidamente, produzindo outras partículas que, com frequência, se transformam por sua vez até restarem apenas partículas estáveis. Daí as espirais arborescentes e os feixes ondulantes que atavam as câmaras de bolhas.

Os fenómenos observados nos detectores dos físicos não se produzem espontaneamente a não ser nas estrelas ou na radiação cósmica. Os aceleradores são simplesmente um meio de as fabricar ou de as reproduzir na Terra. Não se encontrando aí espontaneamente a maior parte das partículas estudadas, é necessário, para as fazer aparecer, recriar as condições em que elas estão naturalmente presentes. (pp. 26-27)



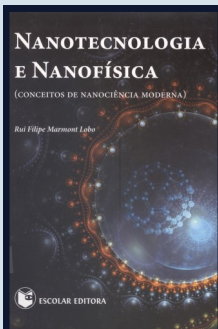
Lago, Teresa. (2006).  
*Descobrir o Universo*. Lisboa: Gradiva.

**Cota: 52 LAG | N.º de registo: 10832**

Sabias que...

A energia gerada no núcleo do Sol, sob a forma de fotões, demora cerca de 1 milhão de anos a atingir a sua superfície e a passar para o espaço interestelar?

Pois é! Os fotões produzidos no núcleo do Sol interagem intensivamente com a matéria, sendo sucessivamente absorvidos e reemitidos em todas as direcções. Por essa razão, o transporte da energia por fotões no interior das estrelas é um processo extremamente lento. No entanto, nem toda a energia resultante das reacções nucleares é libertada sob a forma de fotões. Para além dos fotões, estas reacções produzem outras partículas, designadas neutrinos que, ao contrário dos primeiros quase não interagem com a matéria. Como para estas partículas o Sol é efectivamente «transparente», elas podem conservar informação preciosa acerca do local onde foram produzidas – o núcleo do sol. (p. 108)

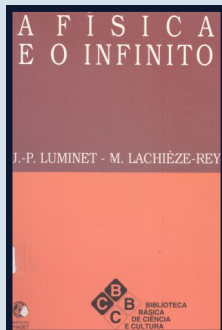


Lobo, Rui Filipe Marmont. (2009).  
*Nanotecnologia e nanofísica*. Lisboa: Escolar Editora.

**Cota: 53 LOB | N.º de registo: 12455**

A Nano-Engenharia Computacional tem por objectivo o desenvolvimento de métodos de simulação que permitam projectar sistemas e dispositivos relativos à nano-escala.

A modelação através da Mecânica quântica de um sistema com  $N$  partículas interactuantes conduz à resolução de equação de Schrödinger estacionária apropriada. Se essas partículas forem átomos, teremos de contabilizar no Hamiltoneano  $N$  núcleos,  $N$  electrões e os potenciassi de interacção do tipo Coulombiano. Um pequeno agregado de árgon com apenas 100 átomos consiste em 100 núcleos e 1800 electrões, num total de 1900 particulas. Neste caso, o espaço configuracional terá  $3N=5700$  dimensões. Com o pressuposto de que uma divisão de cada dimensão em 100 passos de integração é suficiente para uma apurada integração numérica, ter-se-á de calcular a soma de... (p. 85)



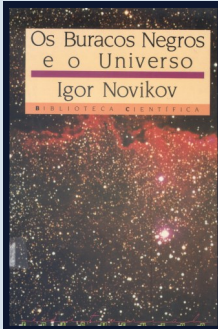
Luminet, J.-P., Lachièze-Rey, M. (1997).  
*A física e o infinito*. Lisboa: Instituto Piaget.

**Cota: 53 LUM | N.º de registo: 9503**

Pode-se dividir indefinidamente a matéria? Esta é contínua ou «discreta»? Pode-se cortar sem limites um fragmento de substância em fracções cada vez mais pequenas, ou cair-se-á sobre entidades invisíveis? [...]

Ainda que tornemos o espaço tão vazio quanto possível, não poderemos impedir esta actividade evanescente, esta multidão de partículas de estadia temporária. Mas estas partículas não podem ser detectadas. São uma espécie de fantasma, «partículas virtuais» viajando de vazio em vazio. Assim, o vazio não é inerte e sem propriedades, mas sim um fermento fervente de partículas virtuais, vibrante de energia palpitante e de vitalidade.

Ao vazio opõem-se os estados «excitados», isto é, que correspondem à presença de partículas, por exemplo electrões, segundo a concepção corrente. (pp. 50, 103)

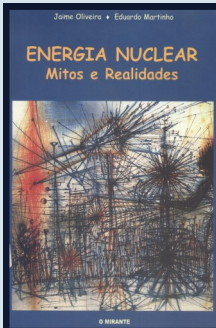


Novikov, Igor. (1990).  
*Os buracos negros e o universo*. Lisboa: Fragmentos.

**Cota: 52 NOV | N.º de registo: 7227**

Hawking mostrou que existe um processo quântico de criação de partículas pelo próprio buraco negro, pelo seu campo gravitacional, que conduz à diminuição da massa e das dimensões do buraco negro. [...]

O buraco negro não produz só fotões, mas também outras partículas. Buracos negros relativamente grandes com algumas massas solares possuem uma temperatura tão baixa que só podem gerar partículas sem massa. estas partículas deslocam-se sempre com a velocidade da luz e não tem uma massa de repouso própria. Entre elas encontram-se os fotões e os neutrinos electrónicos e muónico, bem como as suas antipartículas e, finalmente, os gravitões, que ainda não foram detectados – os quanta dos campos gravitacionais. O buraco negro com a massa típica de uma estrela gera em particular muitos neutrinos de todos os tipos (81 por cento de todo o fluxo), fotões (17 por cento) e gravitões (2 por cento). (pp. 80, 82)

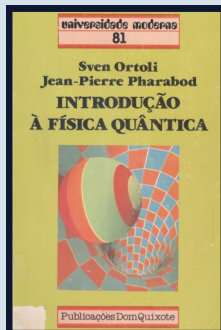


Oliveira, Jaime, Martinho, Eduardo. (2000).  
*Energia nuclear mitos e realidades*. Lisboa: O Mirante.

**Cota: 53 OLI | N.º de registo: 8911**

Após a descoberta do neutrão, em 1932, os físicos passaram a dispor de outro projectil – além das partículas alfa e dos prótons – para provocar reacções nucleares. Com a vantagem de que o neutrão, não possuindo carga eléctrica, não é repellido pelos electrões situados na periferia dos átomos nem pelos núcleos situados no centro. Mas com um inconveniente: o de não serem acelerados por campos electromagnéticos como os projecteis dotados de carga eléctrica.

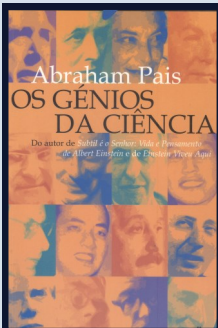
A forma de ultrapassar este inconveniente foi encontrada, em 1935, por J. Robert Oppenheimer, em colaboração com Melba Phillips. Acelerando núcleos de hidrogénio-2 – isto é, deuterões -, constituídos por 1 próton e 1 neutrão, e dirigindo o feixe acelerado para um alvo constituído por átomos mais pesados, os respectivos núcleos repelem os deuterões incidentes e, em especial, os respectivos prótons. (p. 62)



Ortoli, Sven, Pharabod, Jean-Pierre . (1986).  
Introdução à física quântica. Lisboa: D. Quixote.

**Cota: 53 ORT | N.º de registo: 7071**

Consideremos um sistema formado por dois quantões que entraram em interacção mútua e depois se separaram. Segundo a teoria, este sistema é descrito por uma função de onda única, que exprime certas relações de conservação. Segue-se daí que, se medirmos a velocidade (ou a posição) do outro, e isso sem, aparentemente, o perturbar. Os três autores concluíram que as velocidades e as posições dos dois quantões eram bem definidas antes da medição, devido a um «princípio de realidade» que, naquele artigo, era enunciado como segue: «Se, sem perturbar de maneira nenhuma um sistema, pudermos predizer com certeza o valor de uma quantidade física, existe um elemento de realidade física que corresponde a essa quantidade física.» (p.53)



Pais, Abraham. (2002).  
*Os génios da ciência*. Lisboa: Gradiva.

**Cota: 53(092) PAI | N.º de registo: 10557**

A detecção do positrão foi considerada por quase toda a gente como uma justificação da teoria de Dirac. No entanto, a sua ideia básica, um positrão como um buraco num mar infinito de electrões negativos, manteve-se intragável para alguns e não sem razão. Mesmo o estado mais simples, o vácuo, era um complexo composto de infinitas partículas, o mar totalmente cheio. Deixando de parte as interações, o vácuo tinha um nível zero de energia negativa infinito e uma carga zero negativa também infinita. Pauli não gostava disso. Mesmo depois de o positrão ter sido descoberto, ele escreveu a Dirac: «Não acredito nas percepções dos buracos, mesmo se o antieletrão for confirmado.» Porém, isso não era tudo. Pauli a Heisenberg, um mês mais tarde: «Não acredito nas teorias dos buracos, porque gostaria de ter assimetrias entre electricidade positiva e negativa nas leis da natureza (não me satisfaz remover a assimetria, empiricamente estabelecida para o estado inicial).» (p. 83)



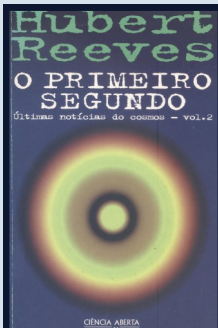


Pucci, Daniele. (1971).

*Enrico Fermi: o advento da era atómica*. Lisboa:  
Didática Editora.

**Cota: 53(092) PUC | N.º de registo: 4159**

(...) em 1932, James Chadwick demonstrou que certas partículas do núcleo não acusavam carga eléctrica – eram neutras. Desta maneira, foi estabelecido, sempre aproximadamente, que um átomo é constituído por um núcleo que contém partículas eléctricas de carga positiva, chamadas protões; por partículas neutras, chamadas neutões, as quais são sempre em número igual ou superior à dos protões; e, finalmente, por partículas com carga negativa, chamadas electrões, que são sempre em número capaz de neutralizar a carga nuclear. O átomo, portanto, ao contrário do que Demócrito julgava, não é, de facto, invisível. Não se podem fixar trajectórias determinadas para os electrões, mas podem-se localizar regiões à volta do núcleo onde há mais probabilidades de se situarem os electrões com determinadas energias. Tais regiões denominam-se orbitais. (p. 18)



Reeves, Hubert. (1996).

*O primeiro segundo*. Lisboa: Gradiva.

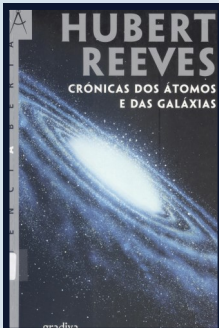
Cota: 52 REE | N.º de registo: 10559

A «cadeia» dos quarks

Algumas palavras sobre o «confinamento» dos quarks. Porque é impossível isolá-los? Porque nunca se afastam eles das suas congéneres?

Voltemos à noção de «alcance» das forças naturais. A força eléctrica entre duas partículas carregadas decresce quando elas são afastadas. Diminui com o quadrado da distância. Este enfraquecimento progressivo da ligação permite-nos arrancar, sem muita dificuldade, um electrão ao seu núcleo atómico (ionização do átomo).

O que acontece se insistir em separar os dois quarks de um pião? Visto que a força nuclear entre dois quarks não diminui com a distância, impõe-se uma tarefa importante. Para além de um fermi, a energia investida nesta separação é maior que a massa do próprio pião. (pp. 58-59)



Reeves, Hubert. (2007).  
*Crónicas dos átomos e das galáxias*. Lisboa: Gradiva.

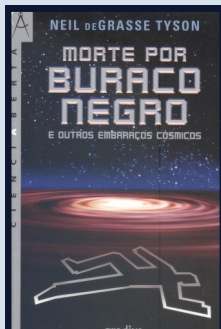
**Cota: 50 REE | N.º de registo: 11891**

Um quark é uma partícula que não suporta a solidão. Deve estar sempre rodeado de outros quarks. Quanto mais se tenta afastá-lo dos seus vizinhos, mais aumenta a força que os atrai; é impossível isolá-los. (...)

Na natureza, os quarks existem em trios ou em casais. O protão é composto de dois quarks u e de um quark d, o neutrão de dois quarks d e um quark u. Os casais de quarks, chamados “mesões”, são partículas de duração breve fabricadas nos aceleradores.

O quark será então, finalmente, a verdadeira e insecável partícula elementar indivisível procurada há tanto tempo? [...]

Vamos agora abordar o mundo dos neutrinos. Estas partículas, desconhecidas até aos anos 30, estão presentes hoje em toda a física e astrofísica. (...) A observação dos neutrinos permite-nos apreender novos aspectos do nosso universo. (pp. 157-158)



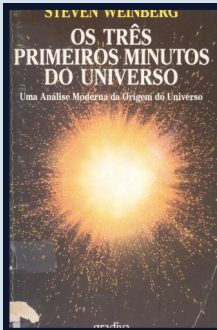
Tyson, Neil deGrasse. (2010).

*Morte por buraco negro: e outros embaraços cósmicos.* Lisboa: Gradiva.

**Cota: 52 TYS | N.º de registo: 12885**

A Teoria Quântica, também conhecida por física quântica, foi desenvolvida nos anos 1920 e é o subcampo da física que descreve a matéria à escala das partículas atómicas e subatómicas. Usando as regras quânticas que tinham acabado de ser estabelecidas, Dirac postulou que um electrão-fantasma do «outro lado» poderia, ocasionalmente, dar um pulo até ao nosso mundo, deixando assim um buraco no mar de energias negativas. O buraco, de acordo com a sugestão de Dirac, revelar-se-ia experimentalmente como sendo um antieletrão carregado positivamente, aquilo a que depois se chamou positrão.

As partículas subatómicas têm muitas características mensuráveis. Se uma dada propriedade de uma partícula pode ter um valor oposto, mas sendo, à parte isso, idêntica. O exemplo mais óbvio é a carga eléctrica: o positrão assemelha-se ao electrão, a não ser pelo facto de o positrão ter uma carga positiva enquanto o electrão tem uma carga negativa. (pp. 128-129)

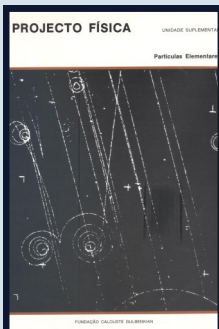


Weinberg, Steven. (1987).  
*Os três primeiros minutos do universo*. Lisboa:  
Gradiva.

Cota: 53 WEI | N.º de registo: 9050

À medida que olhamos cada vez mais longe no passado, chegamos a uma altura em que a temperatura era tão alta que as colisões entre fótons podiam produzir partículas materiais a partir da energia pura. Iremos ver que as partículas produzidas desta forma a partir de energia puramente radioactiva desempenham um papel tão importante quanto a radiação durante os primeiros poucos minutos, no que respeita à determinação tanto das velocidades de expansão do próprio universo. Portanto, para seguir o curso dos acontecimentos nos mais primitivos instantes do universo, precisaremos de saber qual a temperatura necessária para produzir grandes números de partículas materiais a partir da energia de radiação, assim como esse número.

É a representação quântica da luz que permite chegar a um melhor entendimento do processo durante o qual a matéria é produzida a partir da radiação. (p. 96)



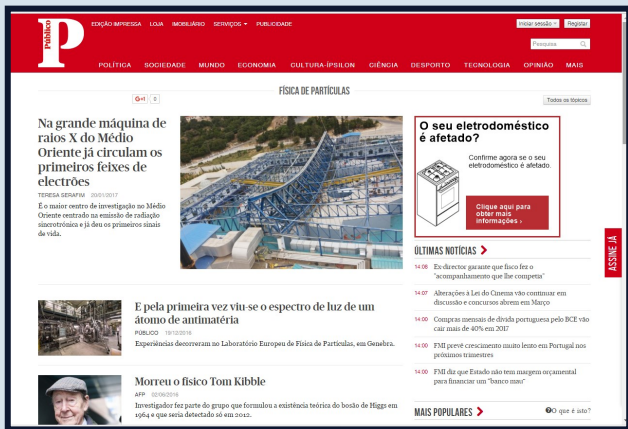
Whiteside, Haven(1987).  
*Projecto física: partículas elementares*. Lisboa:  
Fundação Calouste Gulbenkian.

**Cota: 53 WHI | N.º de registo: 11005**

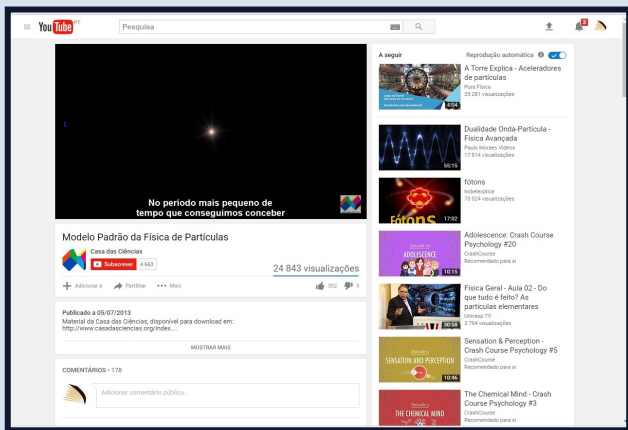
A família do barião inclui todas as partículas que participam na interacção forte (Secção 1.2) e que tem por spin um número ímpar de meias unidades ( $1/2, 3/2, \dots$ ). As famílias do muão e do electrão incluem todas as partículas que não participam na interacção forte e que têm um número ímpar de meias unidades de spin.

A família do mesão inclui todas as partículas que participam na interacção forte e tem spin inteiro ( $0, 1, \dots$ ). O fóton é a única partícula até hoje observada que tem spin inteiro, mas participa na interacção forte, por isso constitui uma família à parte.

Dois dos nomes de famílias derivam originalmente do grego: «barys» significa pesado, e o barião é o nome dado às partículas que são pelo menos tão pesadas como o protão, enquanto «meso» significa médio e o nome mesão aplica-se a partículas de massa intermédia entre o protão e o muão. (p. 5)



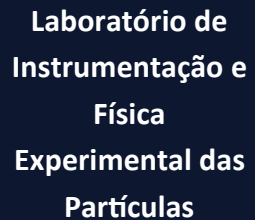
Público



Casa das Ciências

ONLINE | CLIQUE NAS IMAGENS PARA ACEDER ÀS PÁGINAS

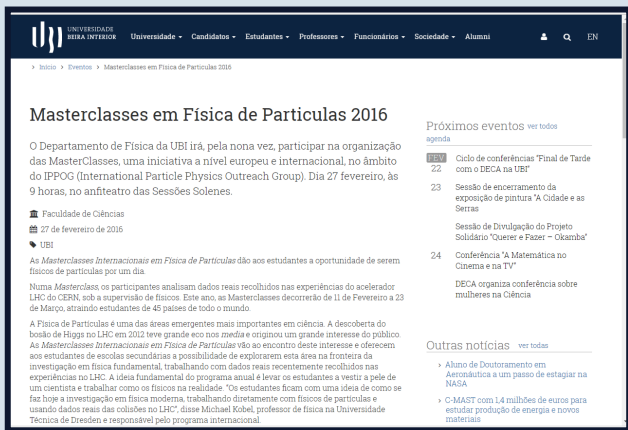








Astro PT

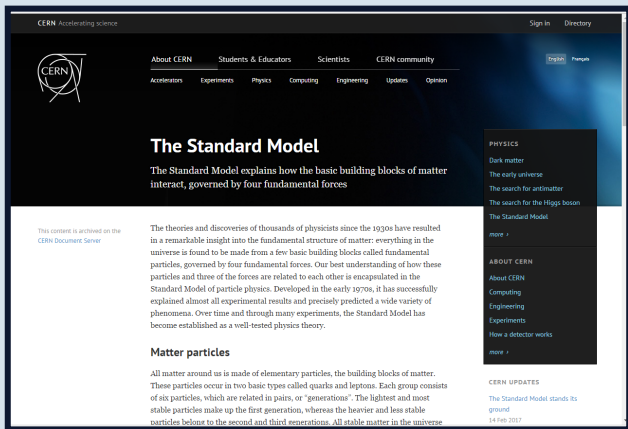


Faculdade de  
Ciências da  
Universidade do  
Porto

ONLINE | CLIQUE NAS IMAGENS PARA ACEDER ÀS PÁGINAS







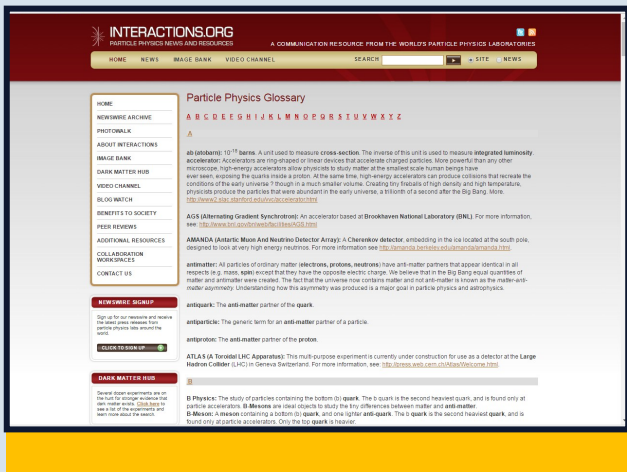
## CERN



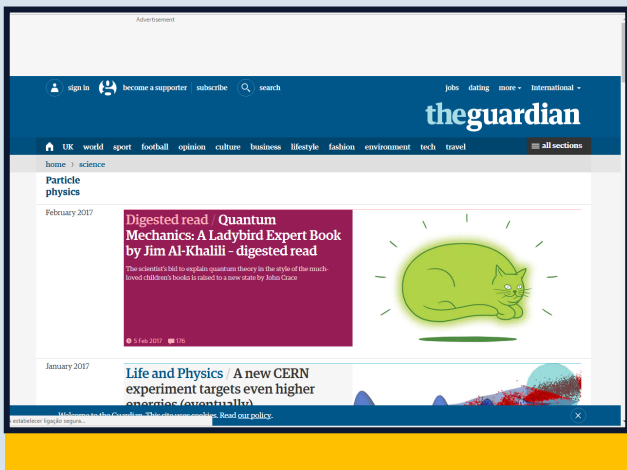
## The particle adventure

ONLINE | CLIQUE NAS IMAGENS PARA ACEDER ÀS PÁGINAS





## Glossário da Física das Partículas



## The Guardian

ONLINE | CLIQUE NAS IMAGENS PARA ACEDER ÀS PÁGINAS



