



UMA JORNADA PELA  
/  
HISTÓRIA DAS PARTÍCULAS

CARINE O. COSTA  
RICARDO C. S. RÊGO

# UMA JORNADA PELA HISTÓRIA DAS PARTÍCULAS

Querido leitor,

Bem-vindo a este ebook que tem como propósito guiá-lo pela fascinante jornada de desvendar os mistérios do átomo e explorar o vasto universo das partículas. Nesta emocionante aventura, descobriremos juntos que há ainda muitos segredos esperando para serem revelados. Prepare-se para mergulhar em um mundo repleto de maravilhas e desafios, onde a ciência nos leva a compreender as complexas peças que compõem o tecido do cosmos.

Vamos começar essa jornada emocionante!

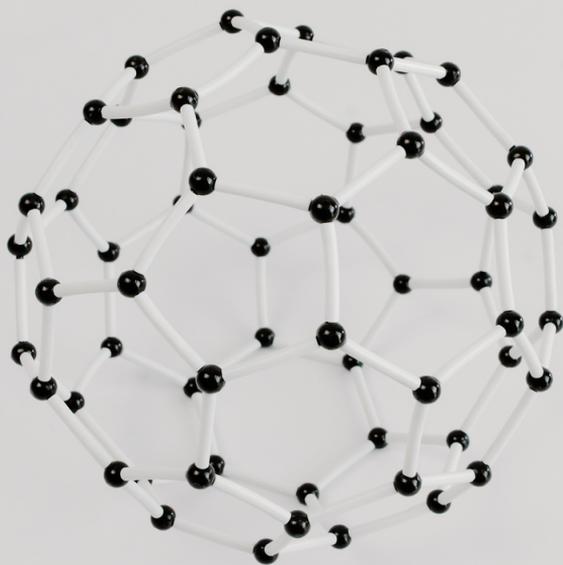
**Carine O. Costa**

# UMA JORNADA PELA HISTÓRIA DAS PARTÍCULAS

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> - A descoberta do átomo	4
<b>Capítulo 2</b> - A Relatividade Especial	9
<b>Capítulo 3</b> - Nucleossíntese Primordial	14
<b>Capítulo 4</b> - Lagrangeana e Simetrias	19
<b>Capítulo 5</b> - O Modelo Padrão	23
Considerações finais	28
Referências	30

# A DESCOBERTA DO ÁTOMO



O que compõe as estrelas? E as pessoas? Essas são perguntas que intrigaram os filósofos gregos no século Va.C. Eles se questionavam: Se desmembrarmos um objeto até atingir uma escala muito reduzida, o que encontraremos?

Leucipo, um filósofo grego, propôs uma solução a esse mistério ao afirmar que tudo o que percebemos é formado por elementos microscópicos, infinitos e indivisíveis.



Créditos: [omundodaquimica.com.br](http://omundodaquimica.com.br)



**Demócrito**

Créditos:  
[omundodaquimica.com.br](http://omundodaquimica.com.br)

Seu discípulo, Demócrito, sugeriu o termo 'átomos', significando aquilo que não se divide.

Mas como podemos comprovar essas ideias? Será que eram apenas reflexões filosóficas sem fundamentos?

## John Dalton



Créditos:britannica.com.br/biography

No início do século XIX, John Dalton formulou uma teoria atômica. Ao observar o comportamento dos gases, ele percebeu que cada elemento químico possuía um átomo distinto, concordando com Demócrito e Leucipo de que o átomo era indivisível, indestrutível, maciço e esférico.

Entretanto, no final do século XIX, J.J. Thomson, por meio de seus experimentos, descobriu que o átomo é divisível e contém partículas chamadas elétrons. Dalton estava equivocado! O átomo é divisível e possui carga neutra, com partículas carregadas positiva e negativamente. Thomson desenvolveu o modelo atômico conhecido como o 'modelo do pudim de passas.'

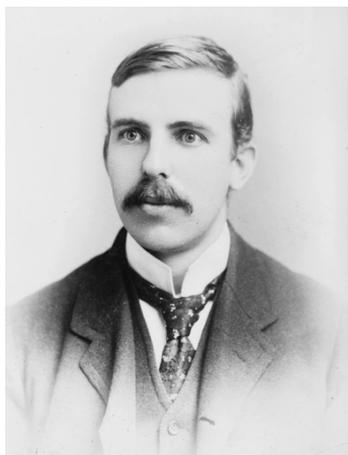
No início do século XX, Ernest Rutherford realizou um experimento inovador ao bombardear uma fina lâmina de ouro com partículas alfa, pequenas partículas de carga positiva emitidas por um material radioativo proveniente do polônio.

## J.J. Thomson

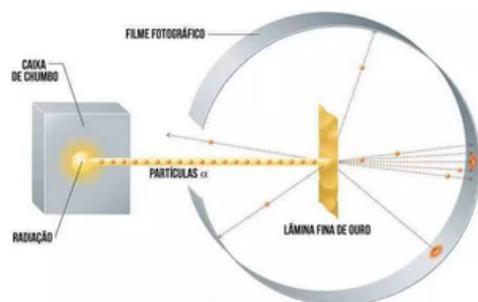


Créditos:owlcation.com/humanities

## Ernest Rutherford e seu experimento



Créditos:jpnobel.com.br



Créditos:em.com.br

Durante sua observação, notou que a maioria dessas partículas atravessava a lâmina, algumas eram repelidas, e outras desviavam de sua trajetória original. A conclusão a que chegou foi que o átomo apresenta um grande vazio e é composto por outras partículas: prótons e elétrons. Além disso, constatou que a maior parte da massa do átomo está concentrada no núcleo, enquanto os elétrons orbitam ao redor dele.

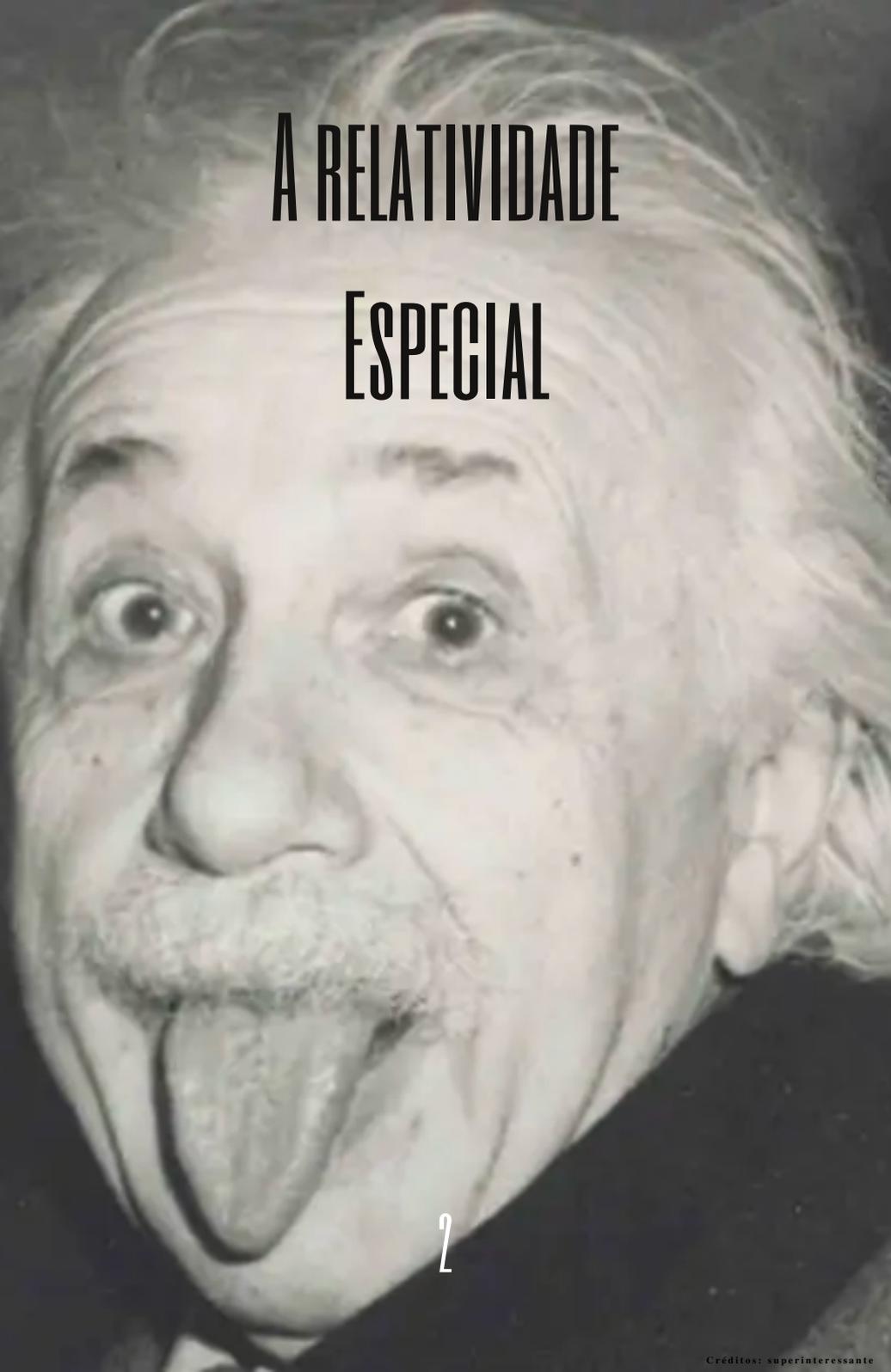
O nêutron, descoberto em 1932 por James Chadwick, aluno de Rutherford, auxiliou na compreensão do átomo. Essa partícula neutra e pesada dentro do núcleo não interage como prótons e elétrons, dificultando sua detecção.

## James Chadwick



Créditos: NobelPrize

Até agora, vimos como o progresso científico nos ajudou a entender que o átomo não é a menor unidade da matéria. Será que encontraremos mais surpresas dentro do átomo? E se os átomos pudessem viajar a velocidades elevadas, o que aconteceria? Deixemos Einstein responder a essas questões.

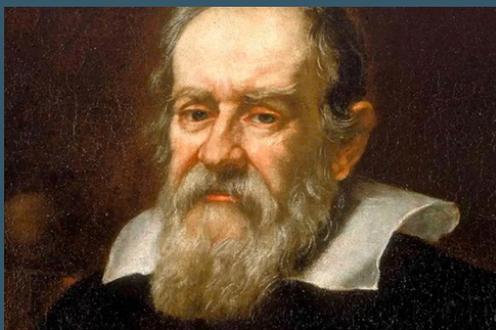


# A RELATIVIDADE ESPECIAL

2

O princípio da relatividade, conhecido desde a época de Galileu, postula que todas as leis da Física são idênticas em todos os referenciais inerciais. Um referencial inercial é aquele em que um corpo, em repouso ou movimento retilíneo uniforme, só pode alterar seu estado de movimento mediante a ação de uma força atuando sobre ele.

## Galileu Galilei



Créditos: [todamateria.com.br](http://todamateria.com.br)

Galileu Galilei afirmava que, ao estudarmos o movimento de um corpo para uma análise mecânica, perceberemos que um corpo em movimento constante em linha reta não pode ser distinguido do mesmo corpo em repouso.

Consideremos o exemplo de uma pessoa **A** em um avião em movimento com velocidade constante e outra pessoa **B** em uma plataforma fixa e em repouso em relação à Terra. Se ambas lançarem um

objeto verticalmente para cima com velocidades iniciais iguais, medirão a mesma altura máxima atingida pelos objetos, o mesmo tempo para atingi-la e concordarão quanto à forma da trajetória. Também concordarão com a aceleração e a força resultante exercida sobre o objeto, explicadas pela lei de Newton. Assim, podemos concluir que os dois referenciais são equivalentes para a descrição desse movimento - tanto a plataforma quanto o avião em velocidade constante são referenciais equivalentes, sendo impossível distinguir um do outro.

Na relatividade de Galileu, o tempo é absoluto, independente do referencial, o que chamamos de invariância do tempo. Isso está em conformidade com nossa realidade, evitando a



Créditos:preparaenem.com

necessidade constante de sincronização de relógios. Uma consequência direta da invariância do tempo, segundo as transformações galileanas, é a invariância do comprimento, pois não observamos objetos mudando de tamanho em diferentes referenciais.

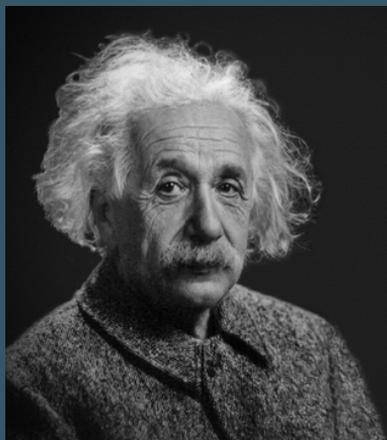
No entanto, esse princípio da Relatividade de Galileu não se aplica à teoria eletromagnética de Maxwell, pois, no caso da luz, obtemos resultados

distintos para um mesmo experimento em referenciais diferentes.

Em 1905, Einstein, em sua Teoria da Relatividade Restrita, estendeu o princípio da relatividade propondo que a velocidade da luz é constante; sua velocidade é sempre a mesma para qualquer observador. Essa teoria é baseada em dois postulados:

1. Todas as leis da Física são as mesmas em qualquer referencial inercial.
2. A velocidade da luz no vácuo é  $c = 300.000.000$  m/s em qualquer referencial inercial.

## Albert Einstein



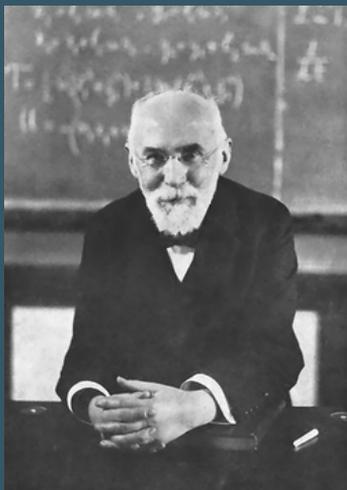
Créditos:

[wikimedia\\_commons](#)

Einstein observou que, à medida que os corpos se aproximam da velocidade da luz, ocorrem diminuições em seus comprimentos quando comparados às medições realizadas em repouso em relação ao observador, fenômeno conhecido como contração das distâncias.

Simultaneamente, experimenta-se o que denominamos de dilatação temporal. O tempo de um corpo próximo a velocidade da luz medido a partir de um referencial em repouso passa de maneira mais lenta.

## Hendrik Lorentz



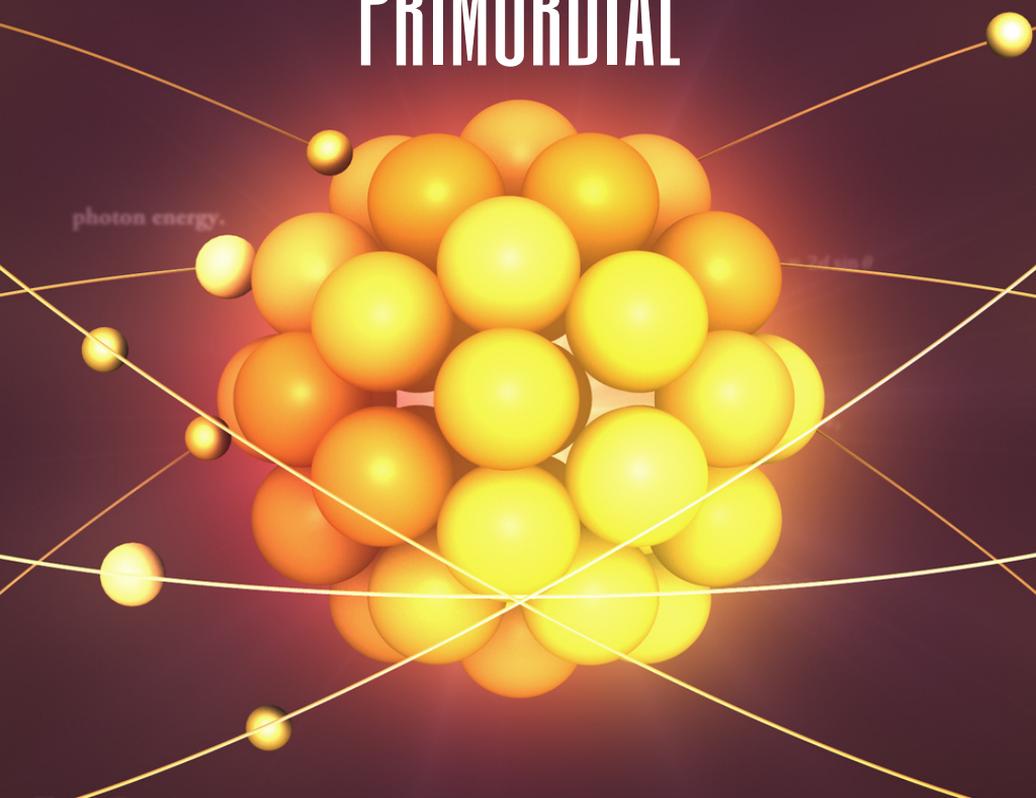
Créditos:geocites.ws

O físico Hendrik Lorentz propôs uma reformulação matemática para levar em consideração a teoria da relatividade restrita ao eletromagnetismo. Assim, Einstein demonstrou que, para corpos movendo-se próximo à velocidade da luz, o tempo passa mais devagar e o comprimento é diminuído em relação a corpos em repouso.

Segundo a Relatividade Especial, se você desejasse viajar na velocidade da luz, poderia permanecer jovem e evitar rugas e dores na coluna. No entanto, teria que pagar o preço de perder alguns centímetros!

# NUCLEOSSÍNTESE

## PRIMORDIAL



photon  $E = \text{workfunction} + K.e$

$$hf = \varphi + \frac{1}{2} m v_{max}^2$$

$E = hf$   
 $h = \text{planck}$   
 $> 1eV$

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

Agora que exploramos um pouco da história do átomo e compreendemos como os corpos se comportam em altas velocidades, vamos mergulhar na intrigante narrativa da nucleossíntese primordial - o processo de formação dos primeiros átomos.

De acordo com a cosmologia moderna, a teoria do Big Bang é amplamente aceita para descrever o nascimento do nosso universo. Conforme essa teoria, o universo surgiu há cerca de 14 bilhões de anos a partir de uma explosão súbita e violenta de um ponto compacto, denso e altamente quente. No estágio inicial, o universo era tão quente que não existiam átomos, apenas partículas subatômicas em um estado extremamente energético.

## Georges Lemaître



Créditos:cleofas.com.br

Em 1927, o astrônomo jesuíta belga Georges Lemaître propôs uma teoria intrigante, sugerindo que o universo se originou de um "ovo primordial" ou um átomo primordial, que se fragmentou em inúmeros pedaços, eventualmente formando os átomos presentes em nosso Universo.

Essa teoria foi mais tarde desenvolvida pelo físico russo George Gamow. Sua pesquisa concentrou-se nos estágios iniciais da evolução do universo, utilizando física nuclear de alta energia. Em 1948, Gamow e seus colaboradores demonstraram como elementos leves, como hidrogênio, deutério, hélio e lítio, foram formados durante o processo de expansão e resfriamento do universo.

Inicialmente, o universo era composto por prótons, elétrons e nêutrons, dispersos em partículas que compõem a luz, tornando-o opaco. À medida que a temperatura diminuía devido à expansão, ocorria a formação de núcleos atômicos dos elementos leves, que, junto aos elétrons, constituíam um plasma.

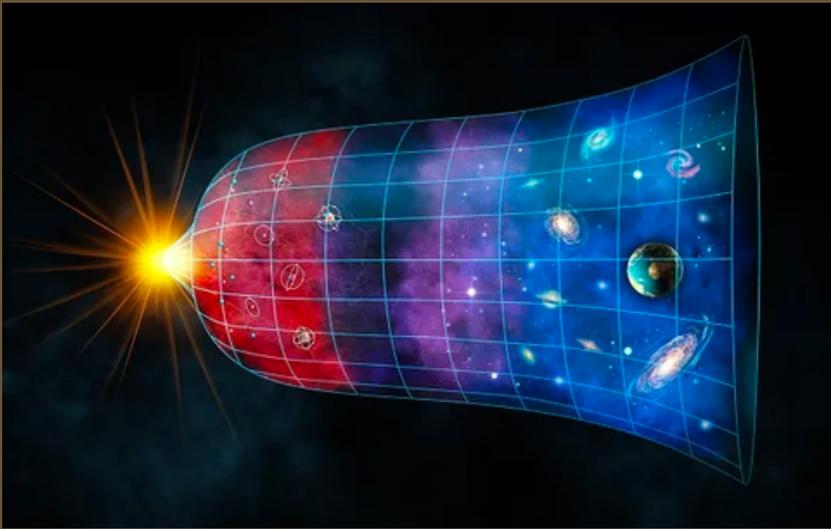
Com a redução adicional da temperatura, os elétrons se estabilizavam ao redor dos núcleos atômicos, dando origem aos átomos. A matéria se desvinculava da radiação, tornando o universo transparente, e uma considerável quantidade de radiação era liberada, alcançando-nos hoje com uma temperatura de 2,725 K.

### George Gamow



Créditos:colorado.edu

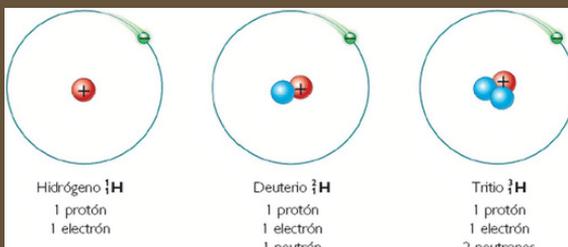
# Ilustração do Big Bang



Créditos: mundoeducacao.uol

A partir desse ponto, formaram-se as primeiras estrelas a partir das nuvens de gás que se aglomeravam. A abundância primordial desses elementos, conforme observações astronômicas, apoia essa teoria."Aproximadamente 73% da massa do universo visível é composta por hidrogênio, enquanto o hélio representa cerca de 25%, e todo o restante constitui apenas 2% (Lawrence Berkeley National Laboratory. The Structure of the Atom, 2000)."

## Os modelos para os átomos de Hidrogênio, Deutério e Trítio



Créditos:afonsocfq.blogspot.com

Descobrimos assim que todos os elementos químicos que conhecemos têm sua origem no Big Bang. Não é fascinante? Já ouviu falar que somos feitos de poeira estelar? É verdade! O corpo humano também é composto por hidrogênio, o elemento mais abundante no universo.

Após essa imersão na história do universo, que tal explorarmos como os cientistas conseguem fazer previsões e compreender sistemas tão complexos? Essa será nossa próxima aventura no próximo capítulo.



# LAGRANGEANA E SIMETRIAS

Lembra da segunda lei de Newton,  $F=m \cdot a$ , que usávamos no ensino médio para descrever os movimentos dos corpos? Quando lidamos com corpos mais complexos, recorremos a um substituto da segunda lei de Newton: a Lagrangeana.

Uma Lagrangeana é uma expressão matemática que descreve a diferença entre as energias cinéticas (de movimento) e as energias potenciais do corpo ou sistema de corpos que estamos estudando. Por meio da energia do sistema, podemos derivar as equações de movimento e fazer previsões sobre como o sistema evolui no tempo.

Na física, é comum observarmos quantidades que permanecem constantes ao longo do tempo. Chamamos essas quantidades de Variáveis Conservadas ou que possuem simetria.

## Emmy Noether



Emmy Noether, uma física alemã, afirmou em seu teorema que a cada simetria contínua corresponde uma corrente que satisfaz uma equação de continuidade, ou, equivalentemente, uma quantidade que é conservada.

Se existe uma quantidade no sistema que não se altera por meio de alguma transformação, deve haver uma expressão matemática para tratá-la e facilitar o entendimento do sistema.

Por exemplo, quando você joga uma bola para cima, ela ganha velocidade, recebendo energia cinética. Ao atingir a altura máxima, a bola perde energia cinética e ganha energia potencial. Ao cair novamente, perde energia potencial e ganha energia cinética. Percebeu que uma quantidade não se alterou? A energia. Podemos usar uma expressão da energia para descrever o sistema, já que a energia permaneceu a mesma em todo o movimento. Isso é chamado de conservação da energia e constitui uma simetria.

Você percebeu que tudo o que falamos aqui também se aplica às partículas dentro do átomo, não é? Será que existem leis de conservação para estudar partículas como o elétron?

Na física, há algo chamado Transformações de Gauge, onde ao estudar o movimento de partículas atômicas, podemos usar uma transformação para permitir que um sistema complexo tenha simetria e seja mais simples de ser estudado.

## Paul Dirac

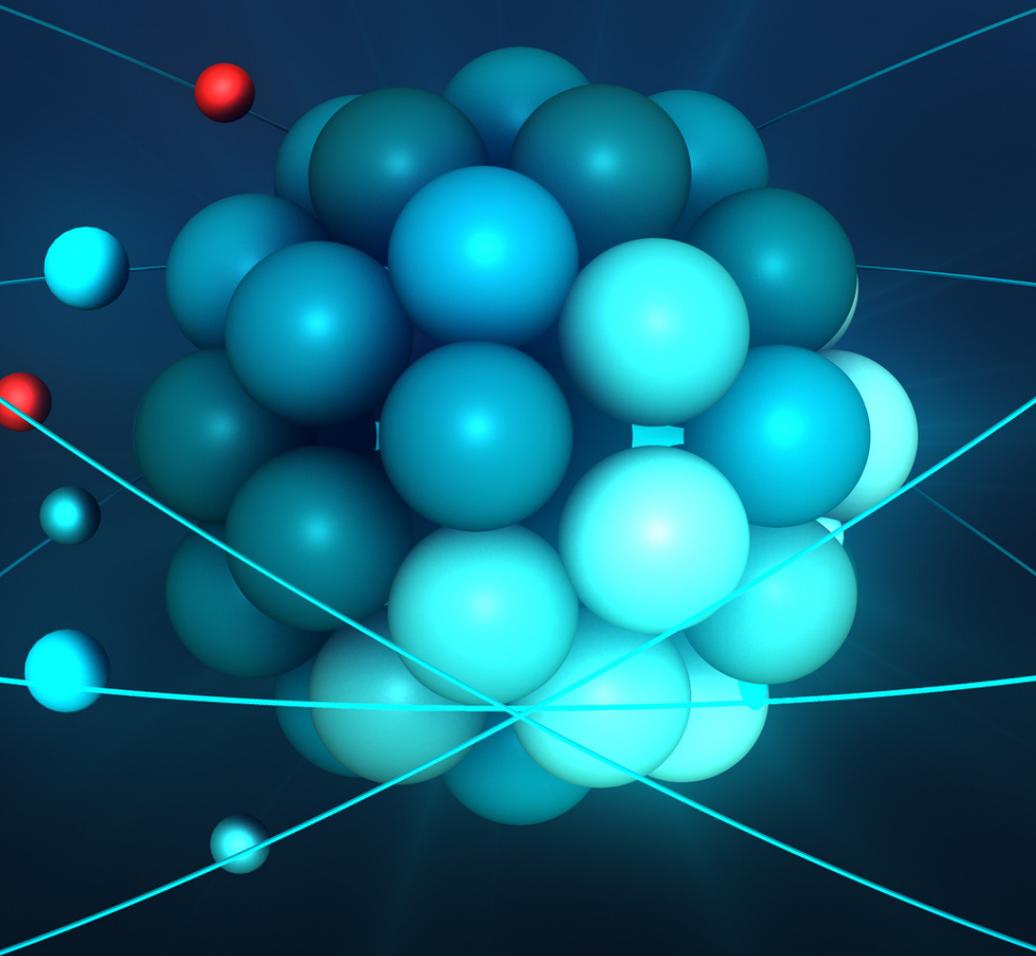


Créditos: NobelPrize

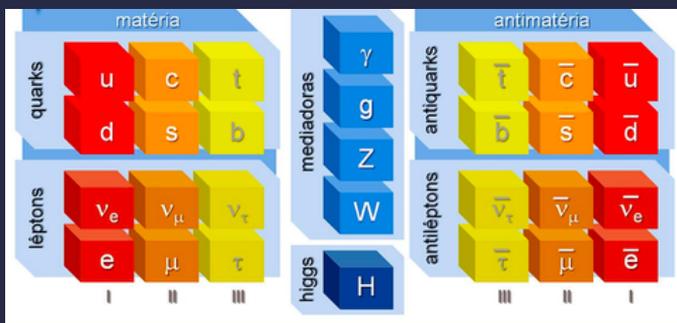
Paul Dirac, físico teórico inglês do século XX, conseguiu descrever uma Lagrangeana para expressar o movimento do elétron usando transformações de Gauge.

Embora esses cálculos sejam complexos, eles funcionam! Vamos aprender mais sobre as partículas?

# O MODELO PADRÃO



A ciência evoluiu consideravelmente ao longo dos anos, e conseguimos descobrir várias outras partículas dentro do átomo. Na imagem, você observará o que chamamos de Modelo Padrão de Partículas, criado pelos físicos Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg no século XX.



Créditos: [hypescience.com](http://hypescience.com)

Começando pelas partículas de matéria, temos os quarks. Os núcleos contêm prótons e nêutrons, que são constituídos por quarks. Existem 6 tipos de quarks: up (u), charm (c), top (t), down (d), strange (s) e bottom (b). Os prótons são formados por três tipos de quarks, sendo 2 do tipo up e 1 do tipo down, enquanto os nêutrons são formados por 2 quarks do tipo down e 1 do tipo up. Essas partículas elementares interagem entre si por meio das partículas mediadoras gluons (g). Podemos imaginar que duas partículas interagem entre si pela troca de uma terceira partícula. No caso dos quarks, eles interagem por troca de gluons pela interação da força forte. Essa força é responsável por manter a união entre os quarks e, conseqüentemente, a união entre os prótons e nêutrons no núcleo.

Os léptons são formados pelo: elétron ( $e$ ), múons ( $\mu$ ) e tau ( $\tau$ ), e também pelos neutrinos do elétron ( $\nu e$ ), do múons ( $\nu\mu$ ) e do tau ( $\nu\tau$ ). Os neutrinos são partículas extremamente leves; até acreditavam que não tinham massa devido à sua pequenez e interagem muito fracamente com outras partículas por meio de força gravitacional e força fraca.

A partícula mediadora da força eletromagnética é o fóton ( $\gamma$ ), enquanto a força fraca, responsável pelo decaimento das partículas (quando uma se transforma em outra), é transportada pelas partículas conhecidas como bósons W e Z.

A partícula mediadora da força gravitacional, é o gráviton, porém, ele nunca foi observado.

### **Peter Higgs**



Créditos: NobelPrize

A partícula de Higgs, proposta por Peter Higgs em 1964, foi descoberta no LHC (Grande Colisor de Hádrons) em 4 de julho de 2012. Higgs propôs a existência de um campo invisível que confere massa às partículas que interagem com ele, formado pelo bóson de Higgs, mediador da massa para as partículas de matéria.

Ei! Não esqueça da antimatéria, hein? Elas foram propostas por Paul Dirac em 1930 e descobertas pela primeira vez em setembro de 2010 no CERN (Organização Europeia para a Investigação Nuclear).

As antimatérias são partículas com a mesma massa das matérias, mas com cargas opostas. Por exemplo, o antielétron é uma partícula com a mesma massa do elétron, porém com carga elétrica positiva, também chamado de pósitron.

São muitas partículas, não acha?

Existe ainda um tipo de matéria que não conhecemos e não sabemos como detectá-la.

Em 1933, Fritz Zwicky, ao analisar o movimento das galáxias no aglomerado de Coma, percebeu que a massa observada era drasticamente menor do que a massa necessária para explicar o movimento observado.

### Fritz Zwicky



Créditos: [totallyhistory.com](http://totallyhistory.com)

Ele postulou a existência de uma forma de matéria invisível, que mais tarde foi chamada de matéria escura. Sua intuição foi reforçada pela astrônoma Vera Rubin, que, ao estudar as rotações das estrelas em galáxias, observou velocidades constantes em regiões mais distantes do centro galáctico, em desacordo com as previsões da lei da gravitação de Newton. A conclusão era clara: havia uma quantidade significativa de massa invisível que não interagiu com a luz, dando origem ao termo "matéria escura".

## Vera Rubin



Créditos: Instituto Carnegie de Washington-DC.

A busca por evidências diretas da matéria escura envolve experimentos em locais subterrâneos para evitar interferências de outras partículas. No entanto, até o momento, esses esforços não forneceram resultados conclusivos. A matéria

escura continua a desafiar os cientistas, permanecendo misteriosa.

A compreensão da matéria escura é crucial para a compreensão completa da evolução e estrutura do universo.

Estima-se que cerca de 27% do conteúdo total do universo seja composto por matéria escura. A matéria visível, que inclui estrelas, planetas, e tudo o que podemos observar diretamente com telescópios, microscópios e outros instrumentos, constitui apenas uma pequena fração do universo. Estima-se que represente aproximadamente 5% da composição total. (Cássio Barbosa -G1 Globo, 2017)

Embora sua natureza exata permaneça desconhecida, a busca pela matéria escura continua a impulsionar a pesquisa na esperança de desvendar um dos maiores mistérios da cosmologia.

## Considerações Finais

Ao explorarmos a história do átomo, desde as indagações filosóficas dos gregos antigos até os avanços científicos contemporâneos, mergulhamos em um universo fascinante de descobertas. A trajetória nos levou a compreender os constituintes fundamentais da matéria e as forças que governam o microcosmo.

A Lagrangeana e as simetrias proporcionaram uma perspectiva única para analisar os movimentos complexos das partículas, revelando a beleza matemática que subjaz às leis fundamentais da física. O teorema de Noether destacou a conexão profunda entre simetrias e conservação de quantidades, ampliando nossa compreensão das regularidades presentes no cosmos.

No Modelo Padrão de Partículas, testemunhamos a riqueza da diversidade subatômica, desde quarks e léptons até as partículas mediadoras e o tão esperado bóson de Higgs. A antimatéria adiciona uma dimensão intrigante, desafiando nossas concepções tradicionais sobre a natureza da matéria e antimatéria.

Além disso, a descoberta da matéria escura, invisível e misteriosa, expande os limites do que conhecemos, lembrando-nos de que, apesar dos avanços notáveis, há vastos domínios do universo ainda por desvendar.

Essa jornada nos conduziu por um panorama impressionante da física moderna, revelando não apenas a complexidade do átomo, mas também a elegância das teorias que o descrevem. À medida que contemplamos as fronteiras do conhecimento, somos instigados a questionar, explorar e buscar respostas para os enigmas cósmicos que persistem.

Que este ebook sirva como um convite à curiosidade e à busca incessante pelo entendimento mais profundo do mundo que nos cerca. O caminho da descoberta é interminável, e cada pergunta respondida abre portas para novos mistérios a serem desvendados.

## Referências

[1] Brasil Escola. Leucipo e Demócrito. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/filosofia/leucipo-democrito.htm>.

[2] Manual da Química. Átomo. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm#:~:text=Entre%201803%20e%201807%2C%20Dalton,%2C%20maci%C3%A7a%2C%20indivis%C3%ADvel%20e%20indestrut%C3%ADvel>.

[3] Brasil Escola. O Átomo de Thomson. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-atomo-thomson.htm>.

[4] Wiki Stoa USP. Como foi descoberto o nêutron? Disponível em: [http://wiki.stoa.usp.br/Como\\_foi\\_descoberto\\_o\\_n%C3%AAutron%3F](http://wiki.stoa.usp.br/Como_foi_descoberto_o_n%C3%AAutron%3F).

[5] Lawrence Berkeley National Laboratory. The Structure of the Atom. Disponível em: <https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/10/0.html>.

[6] Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Aula 27 -Cosmologia - O início do Universo - Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula27-132.pdf>.

[7] Lilith - Laboratório Interdisciplinar de Linguagens, Informação, Tecnologia e Humanidades. Modelo de Gamow para o átomo. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-07/mateus-gamow.htm>.

[8] Wolff, Jeferson de Souza; Mors, Paulo Machado. Relatividade : a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. In: Textos de Apoio ao Professor de Física, v.16, n.05, 2005. Disponível em : [https://www.if.ufrgs.br/tapf/v16n5\\_Wolff\\_Mors.pdf](https://www.if.ufrgs.br/tapf/v16n5_Wolff_Mors.pdf).

[9] BBC News Brasil. Como o bóson de Higgs mudou a compreensão do Universo - e 'arruinou' a vida de seu descobridor. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-62021022>.

[10] Scientific Electronic Library Online (SciELO). O Modelo Atômico de Niels Bohr: uma revisão histórica. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/mHkGCJLdDGnhQg.GwTQfxxGj/>.

[11] CBPF - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Matéria Escura: Novos caminhos para detectar misterioso componente do universo. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/materia-escura-novos-caminhos-componente-do-universo/>

[12] BBC News Brasil. Antimatéria : as novas descobertas sobre peça-chave para entender como o universo surgiu. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c213d08qpjjo.amp>

[13] Cassio Barbosa, G1 Globo. O lado escuro do universo. Disponível em : [g1.globo.com/ciencia-e-saude/blog/observatorio/post/o-lado-escuro-do-universo.html](http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/blog/observatorio/post/o-lado-escuro-do-universo.html)