

Bem-vindo ao Articulação Natureza

Clique nos ícones para explorar
os conteúdos desta edição



ACELERADORES DE
PARTÍCULAS

ARTI CULA ÇÃO

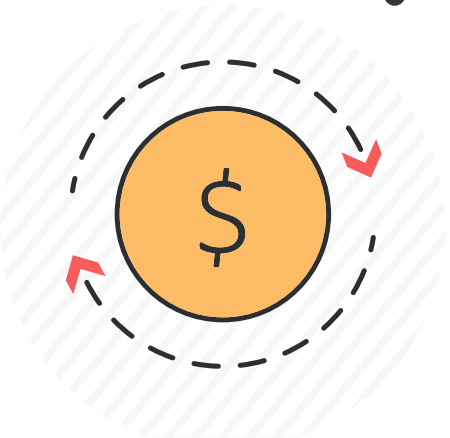
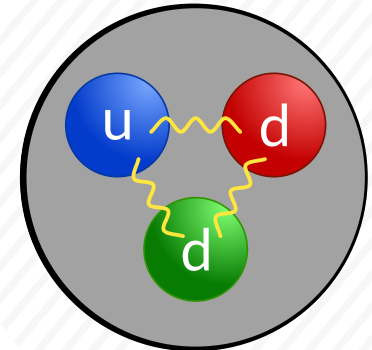
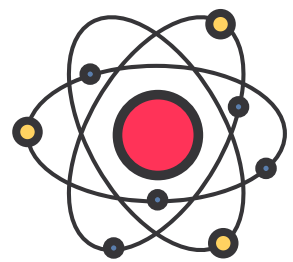
NATUREZA

JUNHO | 2022 EDIÇÃO Nº 6

ARTICULAÇÃO

NATUREZA

JUNHO | 2022 EDIÇÃO Nº 6



O CERN, maior laboratório de partículas do mundo, era ponto de encontro de cientistas durante a Guerra Fria

No século 20, o laboratório em Genebra reunia físicos americanos, europeus e soviéticos. Agora, o conflito entre Rússia e Ucrânia obriga pesquisadores a repensar quem deve continuar no CERN.

[...]

Nos últimos 70 anos, a colaboração internacional no CERN rendeu inúmeras pesquisas – sendo três delas vencedoras do Nobel. A *World Wide Web* (a famosa Internet), por exemplo, nasceu por lá inicialmente como um sistema de comunicação entre computadores. Também é no CERN que fica o maior acelerador de par-tículas do mundo, o Grande Colisor de Hádrons (LHC), responsável por confirmar experimentalmente a existência do bóson de Higgs.

Apesar do histórico de paz, é inegável que a colaboração internacional no laboratório estremeceu nas últimas semanas. [...] Na última terça-feira (8), representantes das 23 nações que compõem o conselho do CERN decidiram suspender as colaborações com a Rússia. [...]

ROSSINI, Maria Clara. O CERN, maior laboratório de partículas do mundo, era ponto de encontro de cientistas durante a Guerra Fria. **Superinteressante**, 11 mar. 2022 Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/o-cern-maior-laboratorio-de-particulas-do-mundo-era-ponto-de-encontro-de-cientistas-durante-a-guerra-fria/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

B

Brasil faz acordo para associação a centro europeu de pesquisa nuclear

Acordo foi assinado pelo ministro da Ciência e Tecnologia, em Genebra

O Brasil poderá ser o primeiro país das Américas e o terceiro país não europeu a ser membro associado da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), um dos maiores laboratórios de pesquisa em física de altas energias e física de partículas do mundo. Com 23 países-membros e 10 associados, a organização opera o maior acelerador de partículas do mundo, o Large Hadron Collider (LHC).

[...]

O acordo, segundo o ministério, é um anseio das empresas, das universidades, da comunidade científica e deve trazer muitas vantagens para o Brasil. Além da pesquisa e do acesso ao equipamento, em Genebra, vai permitir a empresas brasileiras atuar como fornecedoras da organização e participar de pesquisas de novas tecnologias e novas soluções [...].

MELO, Karine. Brasil faz acordo para associação a centro europeu de pesquisa nuclear. **Agência Brasil EBC**, 4 mar. 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2022-03/brasil-faz-acordo-para-associacao-a-centro-europeu-de-pesquisa-nuclear>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

FIQUE

SA
BEN
DO!

SAIBA MAIS SOBRE
O TEMA DESTA EDIÇÃO.



Corte de verba na ciência asfixia até o Sirius, programa mais inovador em que o Brasil já investiu

Nem mesmo o acelerador de partículas [...] escapa da falta de verbas, e os projetos na área entram em modo 'sobrevivência'

O Sirius é um dos três aceleradores de partículas de quarta geração em funcionamento no mundo — Suécia e França detêm os outros. O Brasil saiu na frente na corrida por essa tecnologia. O equipamento poderá ter até 38 estações de pesquisa simultâneas nas mais diferentes áreas. Por exemplo, na agricultura, a luz de síncrotron é capaz de revelar como átomos e moléculas de nutrientes ou mesmo de poluentes “caminham” e interagem com outras moléculas no solo. Conhecer melhor esses processos poderá contribuir para uma produção agrícola mais eficiente e menos agressiva ao meio ambiente.

Já na saúde, a luz síncrotron contribui no estudo de nanopartículas, o que pode levar à descoberta de novos métodos para o tratamento do câncer, por exemplo, para o combate a bactérias resistentes, vírus e muitas outras novas formas inovadoras de tratamento. De forma emergencial, o laboratório abriu em setembro do ano passado uma linha de pesquisa para atender projetos sobre o vírus SARS-CoV-2, causador da covid-19. Atualmente, conta com seis linhas de pesquisa abertas para a comunidade científica brasileira e internacional, do setor público ou da iniciativa privada. “É um equipamento pensado para o futuro, que não se tornará obsoleto rapidamente”, explica o físico Antonio José Roque da Silva, diretor geral do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), organização social que está à frente do Projeto Sirius.

O pesquisador explica que para o país extrair o melhor do potencial científico do Sirius é preciso um “sistema de ciência e tecnologia forte e bem estruturado, por meio da continuidade de investimentos ao longo dos anos”. Não é o que está acontecendo. “Temos observado uma tendência contrária, com interrupções de financiamento que são extremamente prejudiciais para o sistema”, afirma.

[...]

OLIVEIRA, Regiane. Corte de verba na ciência asfixia até o Sirius, programa mais inovador em que o Brasil já investiu. **El País**. 8 nov. 2021. Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/brasil/2021-11-08/corte-de-verba-na-ciencia-asfixia-ate-o-sirius-programa-mais-inovador-em-que-o-brasil-ja-investiu.html>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

D

Superlaboratório Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19

Cientistas descobriram, com ajuda do Sirius, superlaboratório de luz síncrotron de 4ª geração, detalhes inéditos do processo de reprodução do Sars-Cov-2, vírus causador da Covid-19. Tal entendimento abre caminho na busca por fármacos que possam inibir esse mecanismo de replicação dentro das células. [...]

[...]

Maior investimento da ciência brasileira, o Sirius realizou em julho de 2020 os primeiros experimentos ao obter imagens em 3D de estruturas de uma proteína imprescindível para o ciclo de vida do novo coronavírus.

A análise de uma proteína já conhecida serviu para validar e habilitar o funcionamento do acelerador, concebido para analisar diferentes materiais em escalas de átomos e moléculas.

SUPERLABORATÓRIO Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19. **G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2021/07/20/superlaboratorio-sirius-ajuda-revelar-detalhes-ineditos-da-reproducao-do-virus-da-covid-19.ghtml>>. Acesso em: 6 maio 2022.

FIQUE

SA
BEN
DO!SAIBA MAIS SOBRE
O TEMA DESTA EDIÇÃO.



Do que é feita a matéria?

Clique no *play* e assista ao vídeo desta edição.



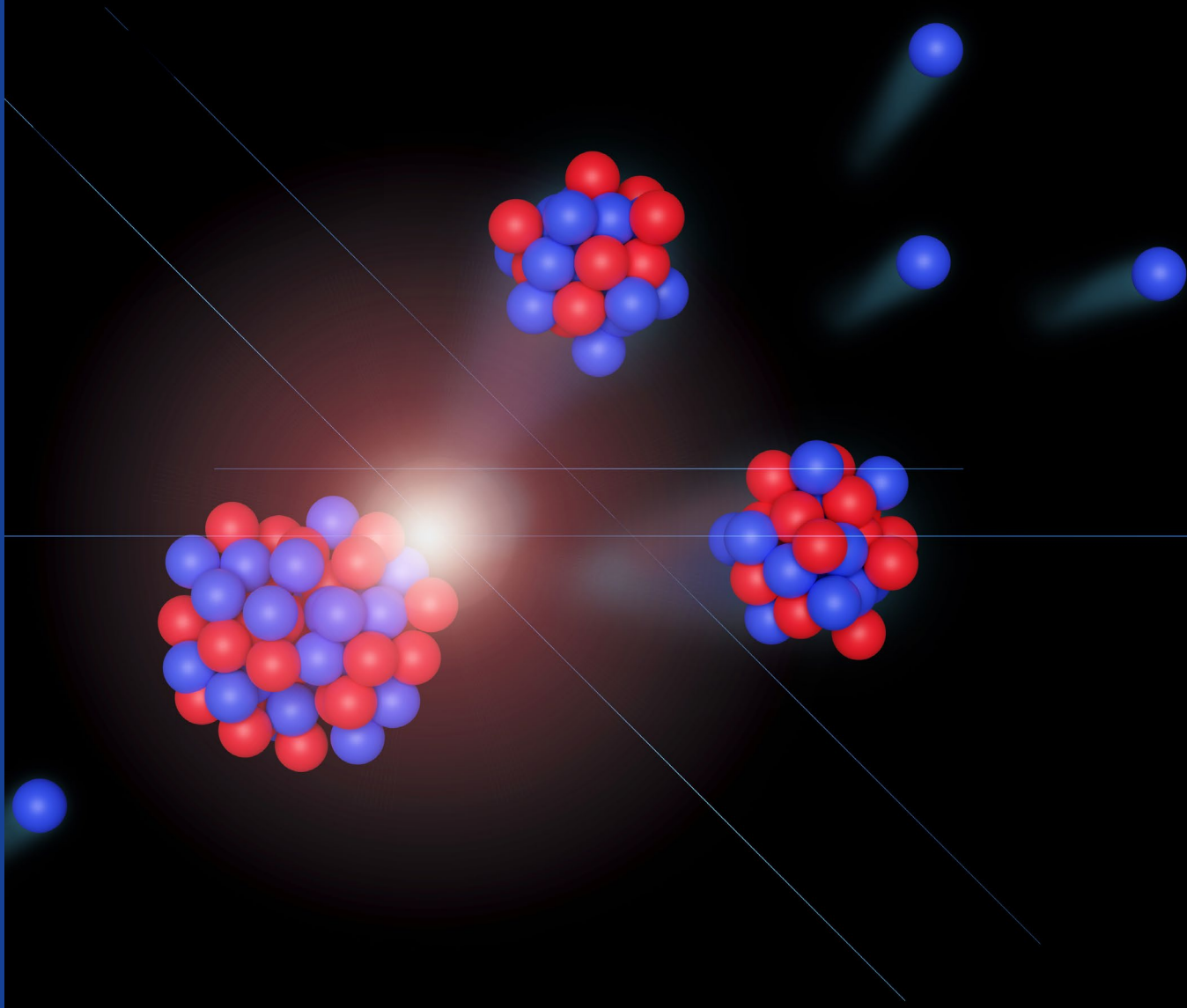
Grandes aceleradores para pequenas partículas

CONHEÇA A OPINIÃO DE QUEM ESTUDA O ASSUNTO.



A física teórica nascida na Alemanha Maria Goeppert Mayer (1906–1972) foi a segunda mulher vencedora do Prêmio Nobel de Física, em 1963, exatos 60 anos após a premiação de Marie Skłodowska-Curie (1867–1934). Ela foi laureada, em conjunto com o físico alemão J. Hans Jensen (1907–1973) e o húngaro Eugene Wigner (1902–1995) pela sua contribuição para a Física Nuclear, propondo um modelo de camadas nucleares (similar ao **modelo de camadas eletrônicas do átomo**, mas para a estrutura do núcleo) que explicava por que apenas alguns núcleos são estáveis.





No parágrafo de encerramento de sua palestra para o comitê Nobel, Maria Goeppert Mayer falou sobre as consequências de sua descoberta, afirmando que “o modelo de camadas iniciou um grande campo de pesquisa. Serviu como ponto de partida para cálculos mais refinados” e ainda brincou: “Existem núcleos suficientes para investigar, de modo que os cientistas que atuam na área não ficarão desempregados em breve.” [tradução livre].

Mais do que uma brincadeira sobre o volume de informações a ser estudado, essa frase é representativa de como a ciência e o conhecimento científico avançam: quanto mais descobrimos sobre a natureza, mais perguntas surgem para serem respondidas e, 60 anos após a consagração de sua teoria, cientistas das diferentes áreas ainda estudam a física de partículas, usam a espectroscopia para entender a estrutura da matéria e seus constituintes fundamentais. Essa frase também nos lembra de que a falta de objeto de estudo não é uma ameaça aos empregos dos cientistas, mas sim a falta de financiamento e de condições de trabalho.

Em seguida, mostraremos um pouco sobre o panorama dessas áreas da Ciência atualmente, entendendo como laboratórios operando grandes aceleradores de partículas, estruturas que estão na fronteira da tecnologia atual, têm empregado mulheres e homens de diferentes nacionalidades e formações, que trabalham duro para desvendar os segredos da natureza.

As partículas que compõem a matéria

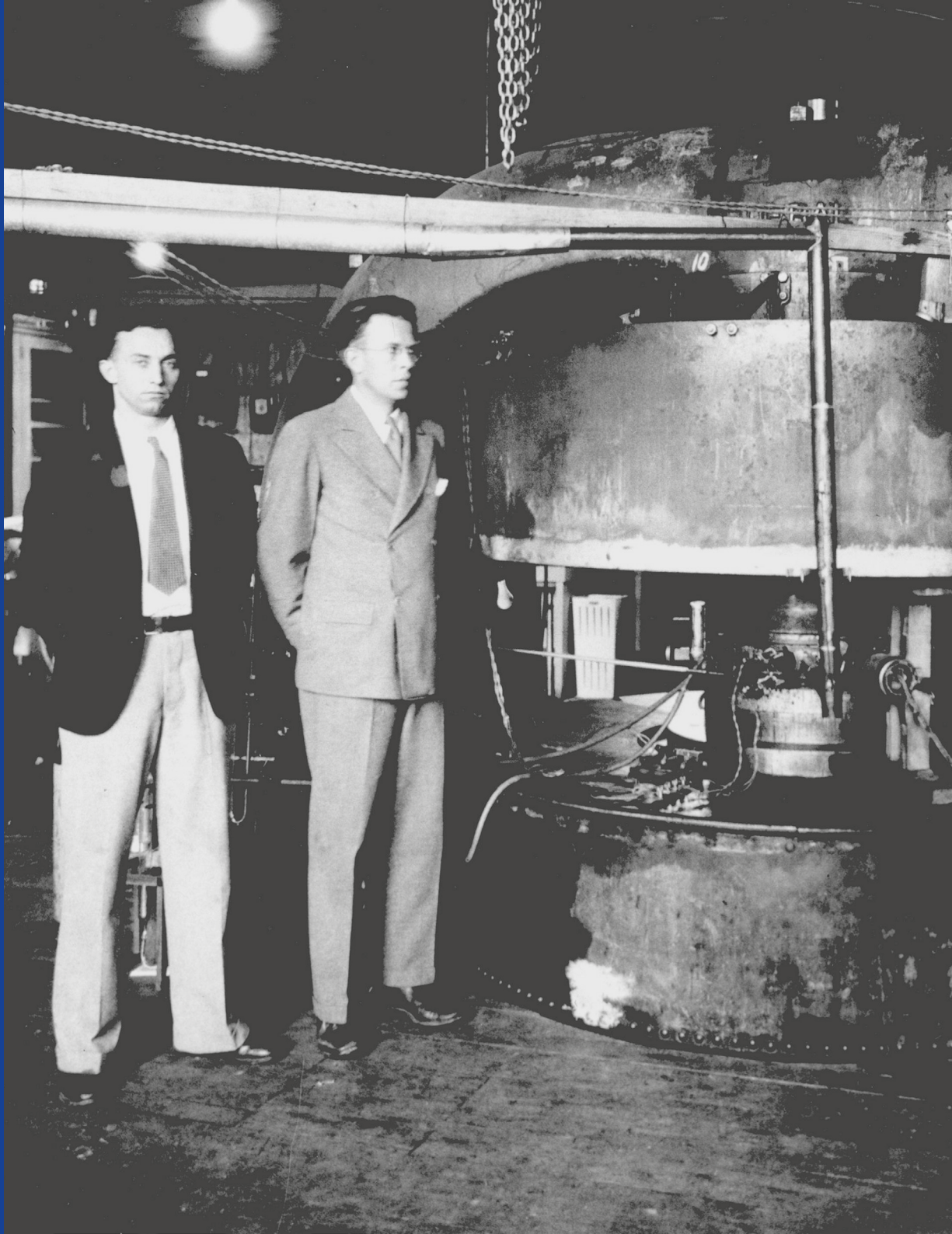
No primeiro contato que temos com a teoria atômica, vemos que o conceito de átomo como uma partícula indivisível e extremamente estável vem da Filosofia grega, como proposto por Demócrito, séculos antes de Cristo. No entanto, essa visão cai por terra no final do século XIX, com a descoberta da radioatividade e das partículas subatômicas.

Em 1896, o francês Henri Becquerel (1852–1908) foi o primeiro pesquisador a descrever o fenômeno da radioatividade, evidenciando que os átomos não deveriam ser tão estáveis como previamente proposto. Ele recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1903, juntamente com Marie Skłodowska-Curie e Pierre Curie (1859–1906). Na sequência houve a identificação de uma partícula subatômica negativa, o elétron, e, com o passar do tempo, do próton e do nêutron.

Sabendo que o átomo era constituído de ao menos essas três partículas, na época vistas como “fundamentais”, os modelos atômicos evoluíram, culminando no modelo atual no qual prótons e nêutrons estariam concentrados no núcleo atômico, com volume muito pequeno e massa muito alta, circundado pelos elétrons localizados em camadas eletrônicas, com massa muito pequena, mas ocupando a maior parte do volume atômico.

Para conhecer um pouco mais sobre os modelos atômicos, você pode acessar o vídeo **Uma breve história do átomo** no canal Ciência Todo Dia.





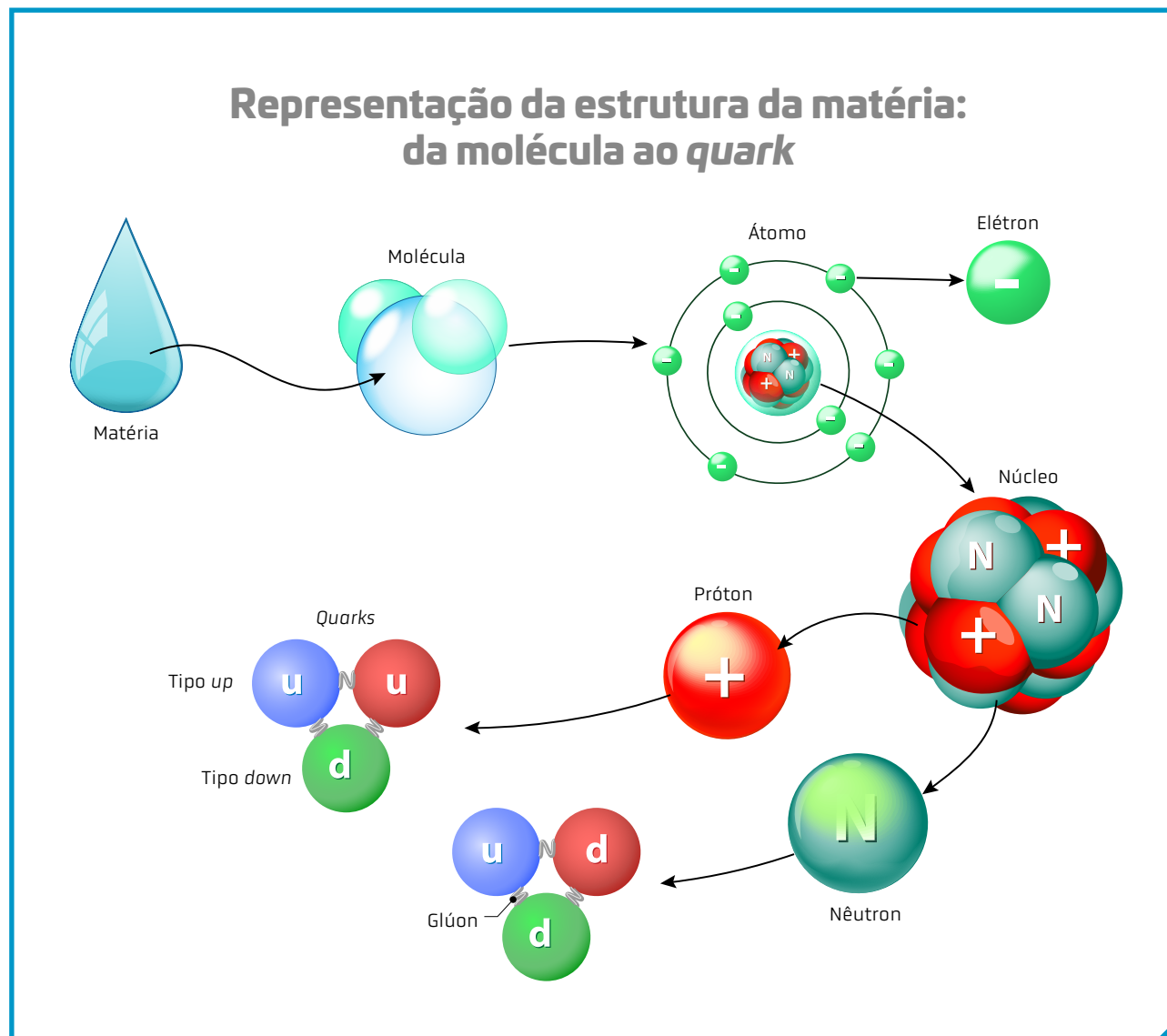
Muito do que aprendemos do átomo desse momento em diante é relacionado apenas com a eletrosfera atômica, uma vez que é ela a responsável pelas interações químicas que o átomo realiza como a formação de ligações químicas e a manifestação de propriedades físico-químicas fundamentais. Transições entre estados da matéria (sólido-líquido-gasoso), condutividade elétrica, ductibilidade etc. são propriedades que podem, em última instância, ser atribuídas a interações entre as eletrosferas dos átomos presentes nos materiais. Na verdade, a maior parte dos estudos no escopo da Química está centrada no estudo da distribuição e interações eletrônicas. Mas e o núcleo atômico? Seria apenas um amontoado de prótons e elétrons, sem estrutura ou função? O que haveria para desvendar dessa pequena estrutura?

Após Becquerel e o casal Curie demonstrarem que o núcleo atômico deveria ser um objeto complexo e até mesmo dinâmico, muitas vezes instável, diversos experimentos foram realizados nas décadas seguintes. Devemos destacar o trabalho pioneiro dos físicos estadunidenses Ernest Lawrence (1901-1958) e Milton Stanley Livingston (1905-1986), na criação do **ciclotron** e seu uso em Física Nuclear para produção de elementos radioativos artificiais. Além deles, outros dois físicos, o britânico John Cockcroft (1897-1967) e o irlandês Ernest Walton (1903-1995) realizaram a transmutação de núcleos atômicos por partículas atômicas artificialmente aceleradas. Nesse trabalho, laureado com o Prêmio Nobel de Física de 1951, eles criaram um aparato que acelerava os núcleos de forma eletrostática, por meio de uma grande diferença de potencial aplicada, aumentando a penetração dessas partículas. Nascia assim o conceito da aceleração de partículas.

Investigando o modelo padrão com aceleradores de partículas

Usando energias cada vez mais altas para as partículas-projétil, é possível sondar partes cada vez menores do átomo, até realmente interagir com o núcleo e suas subpartículas. Para criar esses “canhões” de partículas controladas, foram desenvolvidos os aceleradores, máquinas idealizadas para produzir e acelerar feixes de partículas elementares a velocidades altíssimas, muitas vezes próximas à velocidade da luz, cerca de 300 mil km/s. As velocidades são tão altas que normalmente usamos como referência a energia da partícula em uma unidade comum na Física de altas energias, o **elétron-volt**. Tipicamente os aceleradores atuais operam em energias enormes de mega [10⁶, MeV], giga [10⁹, GeV] e tera [10¹², TeV], chegando quase à peta [10¹⁵, PeV] elétron-volts no LHC-CERN!

O uso dessas potentes máquinas tem permitido o avanço de nosso conhecimento sobre as partículas que compõem a matéria para além de apenas elétrons, prótons e nêutrons. Hoje sabemos que prótons e nêutrons são formados por subpartículas, os *quarks*, mantidos coesos pela troca entre si de outras partículas, os glúons. E que os elétrons fazem parte de uma família de partículas elementares conhecidas como léptons.



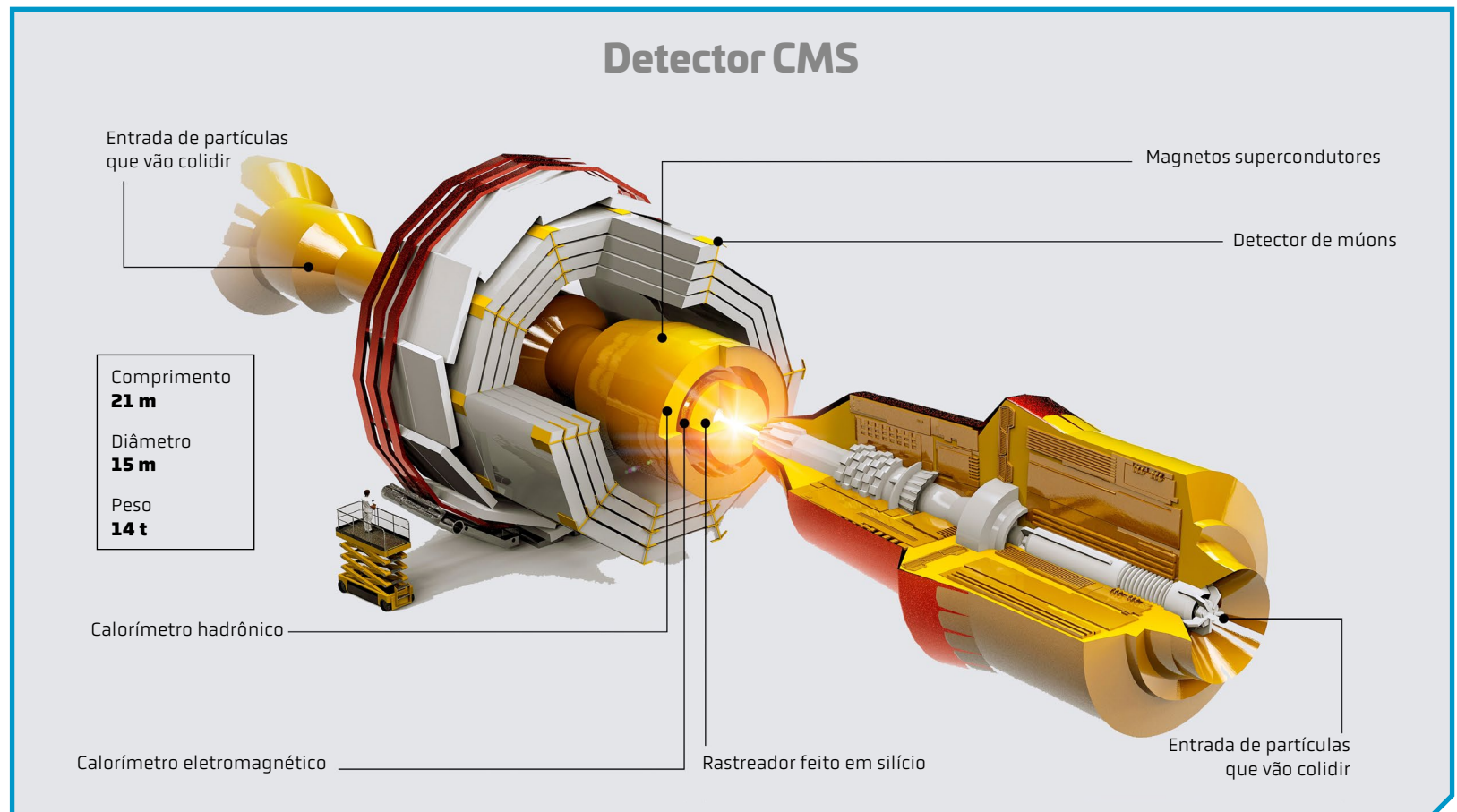
Neste vídeo, é possível conhecer mais sobre o maior acelerador de partículas do mundo.

Um modelo que descreve todas as partículas elementares que compõem a matéria vem sendo desenvolvido com contribuição de diversos pesquisadores. Ele é chamado Modelo Padrão e os experimentos em grandes aceleradores de partículas têm comprovado o modelo com grande precisão.

O Grande Colisor de Hádrons, ou LHC, do inglês *Large Hadron Collider*, é o maior dos aceleradores do complexo de pesquisa do CERN, localizado na divisa entre Suíça e França. Ele é composto de um anel com 27 km de circunferência, que acelera prótons a energias de 7 TeV ou núcleos de chumbo (Pb) a energias de 574 TeV, produzindo dois feixes com sentidos de movimentos contrários, de maneira que, quando na velocidade correta, podem ser colididos frontalmente, liberando uma quantidade enorme de energia em um minúsculo volume.



Essa grande quantidade de energia é suficiente para criar as mais diversas partículas, e nos pontos de colisão (são quatro, ao longo do anel) estão instalados gigantescos detectores [Atlas, Alice, CMS e LHCb], do tamanho de prédios de cinco andares. Esses detectores são responsáveis por rastrear cada uma das partículas geradas, medindo suas propriedades fundamentais e permitindo assim testar a acurácia das previsões do Modelo Padrão. Foram os detectores Atlas e CMS que, em 2012, permitiram comprovar a existência do **bóson de Higgs**, uma partícula essencial para o Modelo Padrão, pois é sua existência que permite que as outras partículas tenham massa. Na liderança do Atlas estava a pesquisadora italiana Fabiola Gianotti (1960-), responsável por fazer a palestra de apresentação dos primeiros resultados que confirmaram o bóson de Higgs. Em 2016, ela se tornou a primeira mulher diretora-geral do CERN, cargo que foi renovado para um segundo mandato iniciado em 2021.

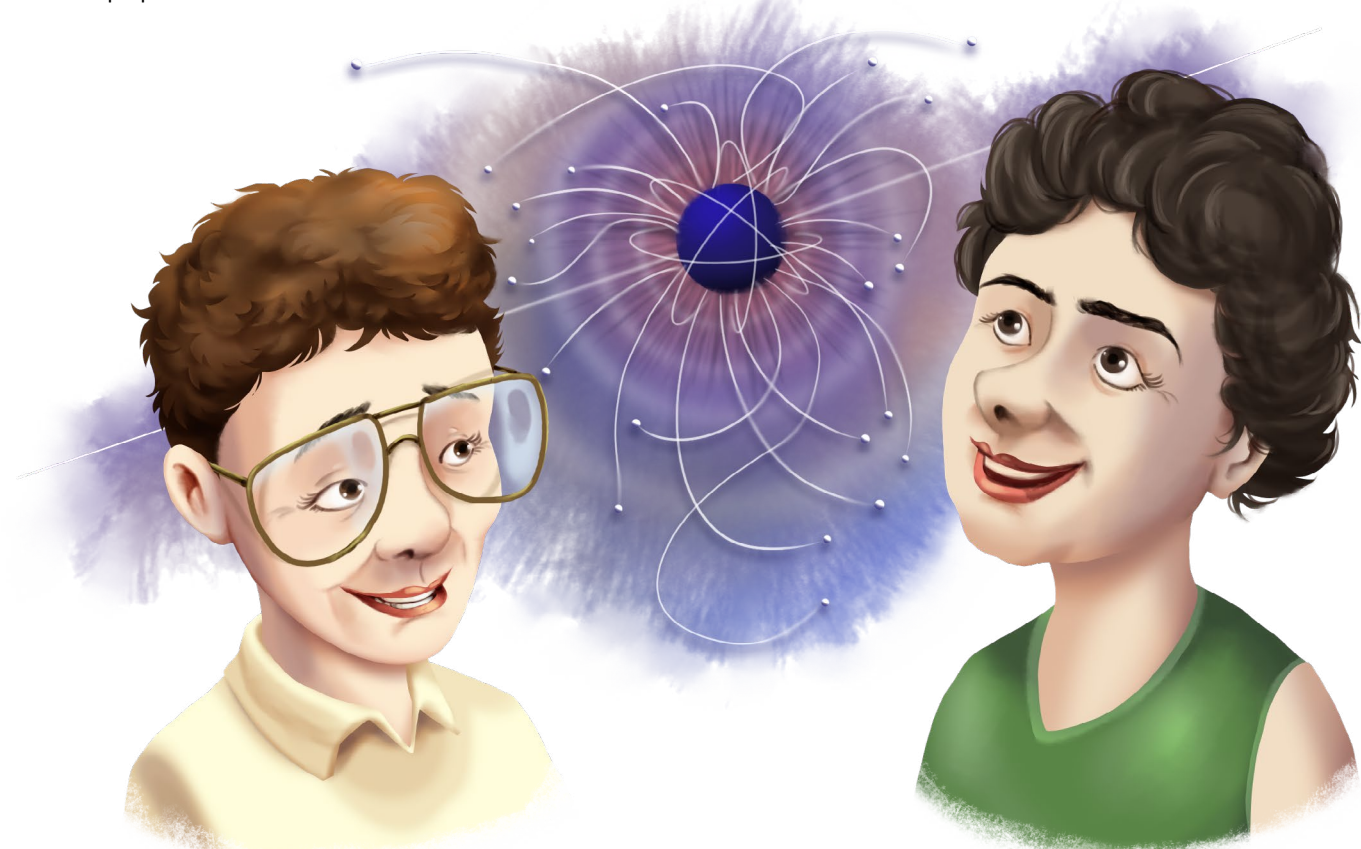


A contribuição da Ciência brasileira

O Brasil teve, e ainda tem, uma importante participação na física de partículas. Em 1947, o físico curitibano César Lattes [1924–2005] fez a descoberta de uma nova partícula por meio de estudos de **raios cósmicos**, o chamado méson Pi [atualmente conhecido como píon].

As físicas Elisa Frota-Pessôa [1921–2018] e Neusa Amato [1926–2015] participaram ativamente da criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, e foram responsáveis pela publicação do primeiro artigo científico da instituição, recebendo reconhecimento internacional por suas pesquisas. Por décadas, elas contribuíram ativamente para o estabelecimento e desenvolvimento da física de partículas no país.

Ao longo dos anos, diversas outras grandes pesquisadoras brasileiras tiveram destaque na área como Renata Zukanovich Funchal, física teórica e professora titular da Universidade de São Paulo (USP) trabalhando com física de altas energias, incluindo o bóson de Higgs. Sua colega, **Alinka Lépine-Szily**, física experimental e professora titular da USP, tem também um importante papel na ciência brasileira no cenário internacional.





Sirius, a nova fonte de luz síncrotron brasileira

O acelerador de partículas brasileiro, Sirius, é um acelerador de elétrons do tipo síncrotron de 4ª geração, a mais avançada que existe atualmente. Ele veio para substituir o antigo UVX, que esteve em operação no Brasil entre 1997 e 2019, e foi o primeiro acelerador síncrotron do Hemisfério Sul.

O **Sirius** é um complexo de três aceleradores: um acelerador linear, ou LINAC, responsável por fazer a primeira aceleração dos elétrons que são extraídos de um plasma; um pré-acelerador, ou booster, que faz a aceleração dos elétrons até a energia final de operação; e o anel de armazenamento, o maior dos aceleradores, com mais de 500 m de circunferência, responsável por manter os elétrons em uma órbita estável na energia máxima de 3 GeV. O objetivo do Sirius não é o de produzir colisões entre as partículas, como seu irmão maior, o LHC, mas sim extrair energia delas na forma de luz, ou radiação eletromagnética.

O vídeo **Sirius, o maior e mais complexo laboratório brasileiro** traz alguns detalhes interessantes sobre a tecnologia necessária para sua implantação.



Douglas Galante é pesquisador do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, coordenando o Grupo Carnaúba, uma das mais avançadas estações de pesquisa do novo acelerador Sirius. É também pesquisador associado do Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo, liderando essa nova área de pesquisa no país. Graduado em Ciências Moleculares e doutor em Astronomia pela USP, Douglas é um dos pesquisadores pioneiros no país em Astrobiologia.

A aceleração dos elétrons é feita por meio de micro-ondas de alta potência, responsáveis por fornecer energia aos elétrons. Milhares de eletroímãs especiais são então usados para manter o feixe de elétrons extremamente estável no interior do anel de armazenamento, enquanto outros, conhecidos como onduladores, forçam um rápido movimento em zigue-zague dos elétrons. Assim, a cada pequena curva que as partículas fazem, uma pequena quantidade de radiação eletromagnética é emitida, somando-se em um potente feixe de luz, que é então direcionado para o anel de armazenamento e entra nas estações experimentais, conhecidas como linhas de luz, onde será focalizado e monocromatizado para a realização dos experimentos. Pode-se então considerar que um acelerador síncrotron é uma potente fonte de luz que emite radiação desde o infravermelho, passando pelo visível, ultravioleta até o raio X.

O Sirius permitirá grandes avanços para a Ciência e Tecnologia brasileira, em diversas áreas. Significa ainda centenas de empregos diretos para cientistas e engenheiros, além de muitos outros indiretos nas empresas parceiras do projeto, o que talvez confirme as previsões de Maria Goeppert Mayer de que nunca faltará trabalho na Ciência, contanto que ela seja devidamente financiada e valorizada como uma das prioridades nacionais.





Para cada escala, um instrumento diferente de pesquisa





- Modelos atômicos
- Partículas elementares
- Modelo Padrão
- Aceleradores de partículas
- Ciência brasileira

V

Organizando ideias

1. Nas seções **Fique Sabendo** e **Diálogo Aberto** há a descrição de dois grandes laboratórios que possuem importantes aceleradores de partículas: o europeu CERN, com o acelerador LHC, e o brasileiro Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), com o acelerador Sirius. Apesar de ambos serem aceleradores de partículas, seus objetivos são bem diferentes. Pesquise sobre o LHC e o Sirius, aponte que tipo de partículas eles aceleram e descreva que tipo de pesquisas se faz em cada um desses aceleradores.
2. Os componentes mais conhecidos dos átomos são prótons e nêutrons, que formam o núcleo, e elétrons, que formam as camadas eletrônicas. Desses, entretanto, somente o elétron é uma partícula elementar, sendo os demais formados por outras partículas. Pesquise e responda, de acordo com o “Modelo Padrão das Partículas Elementares”, por quais partículas elementares são formados os prótons e nêutrons.
3. Apesar de o Sirius ser recém-inaugurado, ele já vem sendo usado para pesquisas de ponta. Pesquise e descreva sucintamente qual foi o primeiro experimento realizado no Sirius, contextualizando sua importância.



Debate e reflexão

A Sociedade Brasileira pelo Progresso da Ciência (SBPC) é uma entidade fundada em 1948 voltada para a defesa do avanço científico e tecnológico e para o desenvolvimento educacional e cultural no Brasil. Entre os vários eventos que a SBPC organiza para chamar a atenção do público e das autoridades para a importância de se manter o financiamento científico no Brasil está a Marcha pela Ciência. Em 2020, com a pandemia, a SBPC elegeu o dia 7 de maio para realizar a Marcha Virtual pela Ciência (<https://ftd.li/8sza2p>). Entre outras atividades, a entidade convidou toda a comunidade científica nacional a postar nas redes sociais depoimentos destacando a importância da Ciência e do financiamento científico para a sociedade. Iniciativas como essa foram repetidas ao longo dos anos seguintes, como a utilização da *hashtag* #SOSCiência em 2021 e a celebração do Dia Internacional das Mulheres e Meninas na Ciência em 2022, com depoimentos de renomadas pesquisadoras sobre suas carreiras, motivando a nova geração de cientistas.

Pegando carona nessas iniciativas, escolha uma das temáticas a seguir e produza um conteúdo para redes sociais (vídeo curto, texto, *post* etc.):

Tema 1. #CiênciaNoMeuCotidiano: tendo como ponto de partida a Ciência fundamental discutida na seção Diálogo Aberto e os seus conhecimentos, destaque como pesquisas básicas resultam em produtos e processos que estão presentes em nosso dia a dia e ajudaram a tornar nossa vida melhor.

Tema 2. #ACiênciaTemMinhaCara: tendo como ponto de partida o fato de que grandes projetos científicos necessitam de colaborações nacionais e internacionais, destaque a importância da diversidade e/ou da inclusão para atrair a nova geração de cientistas, escolhendo, como foco, um grupo que seja relevante para você.

Tema 3. #MeuPaísFazCiência: destaque a importância do financiamento público para que haja bons resultados na Ciência nacional, usando exemplos de grandes projetos como o Sirius, para mostrar a projeção internacional do país.

Apresente para os colegas e debata as propostas que apareceram para cada tema, buscando pontos em comum –ou ideias complementares.



V No vestibular

(Fuvest-SP)

Neste texto, o autor descreve o fascínio que as descobertas em Química exerciam sobre ele, durante sua infância.

Eu adorava Química em parte por ela ser uma ciência de transformações, de inúmeros compostos baseados em algumas dúzias de elementos, eles próprios fixos, invariáveis e eternos. A noção de estabilidade e de invariabilidade dos elementos era psicologicamente crucial para mim, pois eu os via como pontos fixos, como âncoras em um mundo instável. Mas agora, com a radioatividade, chegavam transformações das mais incríveis.

[...]

A radioatividade não alterava as realidades da Química ou a noção de elementos; não abalava a ideia de sua estabilidade e identidade. O que ela fazia era aludir a duas esferas no átomo – uma esfera relativamente superficial e acessível, que governava a reatividade e a combinação química, e uma esfera mais profunda, inacessível a todos os agentes químicos e físicos usuais e suas energias relativamente pequenas, onde qualquer mudança produzia uma alteração fundamental de identidade.

Oliver Sacks, **Tio Tungstênio**: Memórias de uma infância química.

De acordo com o autor,

- a) o trecho “eles próprios fixos, invariáveis e eternos” (L. 3) remete à dificuldade para a quebra de ligações químicas, que são muito estáveis.
- b) “esfera relativamente superficial” (L. 12) e “esfera mais profunda” (L. 13 e 14) dizem respeito, respectivamente, à eletrosfera e ao núcleo dos átomos.
- c) “esfera relativamente superficial” (L. 12) e “esfera mais profunda” (L. 13 e 14) referem-se, respectivamente, aos elétrons da camada de valência, envolvidos nas reações químicas, e aos elétrons das camadas internas dos átomos, que não estão envolvidos nas reações químicas.
- d) as energias envolvidas nos processos de transformação de um átomo em outro, como ocorre com materiais radioativos, são “relativamente pequenas” (L. 15).
- e) a expressão “uma alteração fundamental de identidade” (L. 16) relaciona-se à capacidade que um mesmo átomo tem de fazer ligações químicas diferentes, formando compostos com propriedades distintas das dos átomos isolados.

Diretor-Geral

Ricardo Tavares de Oliveira

Diretor de Conteúdo e Negócios

Cayube Galas

Diretor Adjunto

Júlio Ibrahim

Gerente de Produção e Design

Letícia Mendes de Souza

Editora

Carolina Cardoso Dutra Evangelista

Editores Assistentes

Fernando Manenti Santos

Ligia Cosmo Cantarelli

Colaboradores

Eliana Garcia Feresin

João Paulo Reis Soares

Coordenador de Eficiência e Analytics

Marcelo Henrique Ferreira Fontes

Analista de Fluxo

Letícia Bovolon Bezerra

Assistente de Fluxo

Samantha de Fátima Santos

Supervisora de Preparação e Revisão

Adriana Soares de Souza

Assistente Editorial

Carolina Genuncio

Preparação e Revisão

Equipe FTD

Coordenadora de Imagem e Texto

Marcia Berne

Imagem e Licenciamento

Equipe FTD

Coordenadora de Criação

Daniela Di Creddo Máximo

Coordenador de Produção e Arte

Fabiano dos Santos Mariano

Supervisor de Produção e Arte

Pedro Gentile

Projeto Gráfico

Bruno Attili

Carlos Feitosa Ferreira

Editores de Arte

Carlos Feitosa Ferreira

Renata Kuba

Nono Estúdio: Coordenador Audiovisual

Diego Morgado

Nono Estúdio: Designers Audiovisuais

Ananda Castilho Barberino

Caio Francisco Brandão

Mauro Akira Ueda

Michel Luciano Silva Araújo

Crédito das imagens e dos vídeos

[capa] Artis777/Getty Images, aiyoshi597/Shutterstock.com, ShadeDesign/Shutterstock.com, Editoria de Arte; [p.2] Nadia Snopek/Shutterstock.com
[p.3] Reportagebild / AP Photo / Imageplus; [p.4] Juan Roballo/Shutterstock.com; [p.5] Tyler Olson/Shutterstock.com;
[p.6] Smith Collection/Gado/Getty Images; [p.7] @designua/123RF.COM; [p.8] olrat/Shutterstock.com; [p.9] Naeblys/Shutterstock.com;
[p.10] Al Stefano; [p.11] CARL DE SOUZA/AFP via Getty Images; [p.12] Arquivo Pessoal, Edson Grandisoli/Pulsar Imagens;
[p.13] Alex Argozino, pro500/Shutterstock.com