

SUPERCONDUTORES: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

SUPERCONDUCTORS: A BIBLIOGRAPHIC STUDY

Gabriel Fonseca de Souza¹
José Antônio Bento de Andrade²

RESUMO: Supercondutores são uma área de muito interesse na física, devido a sua natureza incomum e o seu potencial. Desde sua descoberta em 1911 diversos cientistas já pesquisaram sobre o assunto fazendo várias descobertas, desde supercondutores que apenas precisam de nitrogênio líquido para funcionar, até, supostamente, um supercondutor que funciona a temperatura ambiente. Uma das principais características dos supercondutores são a sua tendência a repelir campos magnéticos. A maneira que supercondutores interagem com campos magnéticos é o princípio por trás de várias maneiras com que supercondutores são usados hoje em dia, desde trens de levitação magnética, máquinas de ressonância magnética até aparelhos que medem campos magnéticos com extrema precisão. Contudo, trabalhar com supercondutores é bem difícil devido a sua natureza de apenas funcionar em baixas temperaturas, cientistas buscam a anos maneiras mais eficientes de usar supercondutores.

Palavras-chave: Supercondutores. Supercondutividade a temperatura ambiente. Pares de Cooper. MagLev. SQUIDS.

ABSTRACT: Superconductors are an area of great interest in physics, due to their unusual nature and potential. Since their discovery in 1911, several scientists have researched the subject, making several discoveries, from superconductors that only need liquid nitrogen to work, to, supposedly, a superconductor that works at room temperature. One of the main characteristics of superconductors is their tendency to repel magnetic fields. The way superconductors interact with magnetic fields is the principle behind many of the ways superconductors are used today, from magnetic levitation trains, MRI machines to devices that measure magnetic fields very accurately. However, working with superconductors is quite difficult due to their nature of only working at low temperatures, scientists have been looking for years for more efficient ways to use superconductors.

Keywords: Superconductors. Superconductivity at room temperature. Cooper pairs. MagLev. SQUIDS.

INTRODUÇÃO

Num material condutor os elétrons movem de um ponto a outro, desde que exista uma diferença de potencial elétrico, entretanto os átomos dos materiais estão em constante movimento dificultando a passagem de elétrons, os elétrons ao passarem se chocam com os átomos e isso gera

¹ Graduando do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade de Vassouras.

² Especialista em Eficiência Energética pela Universidade Severino Sombra.

calor, esse fenômeno é conhecido como efeito Joule. Condutores são materiais com muitos elétrons livres, o que os difere de materiais isolantes.

Um supercondutor é um material que, em certas condições, consegue conduzir corrente elétrica sem resistência, e, conseqüentemente, sem efeito Joule. A maioria dos supercondutores funcionam no seu estado de supercondutividade a baixas temperaturas, isso ocorre porque em baixas temperaturas os átomos têm baixa energia e pouco movimento, assim os elétrons conseguem passar livremente. A temperatura em que um material se torna um supercondutor é conhecida como Temperatura crítica (T_c).

Um elétron passando num material supercondutor atrai os prótons e nêutrons ao seu redor, essa região fica mais positivamente carregada, um outro elétron é atraído por essa região mais positivamente carregada, esses elétrons formam um ligamento conhecido como Par de Cooper, e andam acompanhados enquanto passam no material, como pode ser observado na Figura 1. Pares de Cooper são ligamentos bem sensíveis, então se há alta energia no material o par é quebrado, por isso a necessidade de baixas temperaturas.

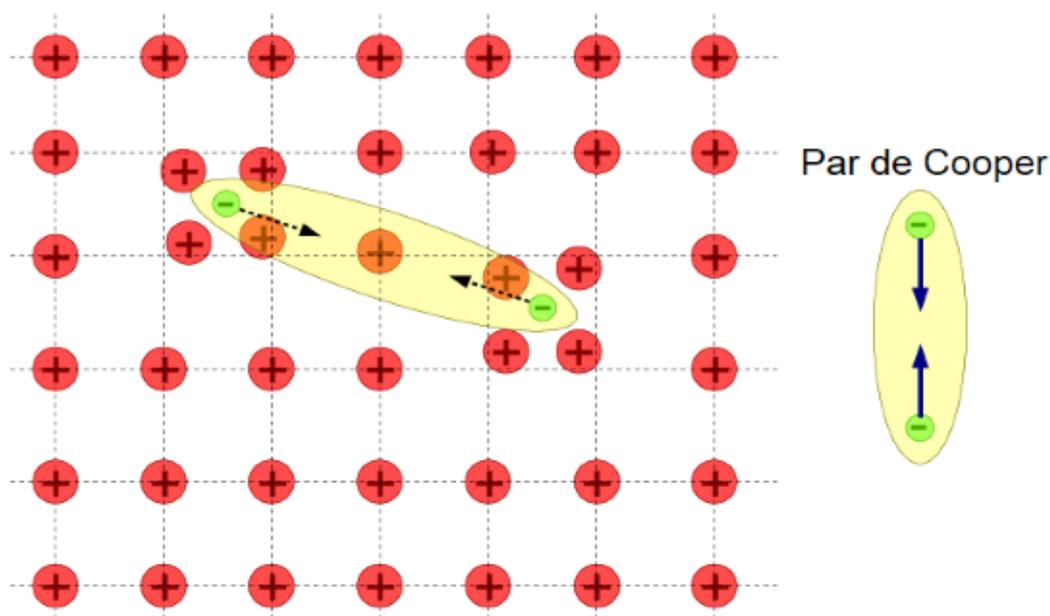


Figura 1. Par de Cooper.

Fonte: Adaptado de M. N. Chernodub (2011).

Existem dois tipos de supercondutores, chamados de Tipo I e Tipo II. Nos supercondutores do Tipo I campos magnéticos fracos não conseguem penetrá-los sendo totalmente repelidos, tal fenômeno é conhecido como Efeito Meissner. O efeito Meissner recebeu

seu nome em homenagem ao cientista Walther Meissner. Em supercondutores do Tipo I a supercondutividade é quebrada quando há um campo magnético muito forte. Ao se colocar um ímã acima de um supercondutor o ímã passa a flutuar, como pode ser observado na Figura 2.

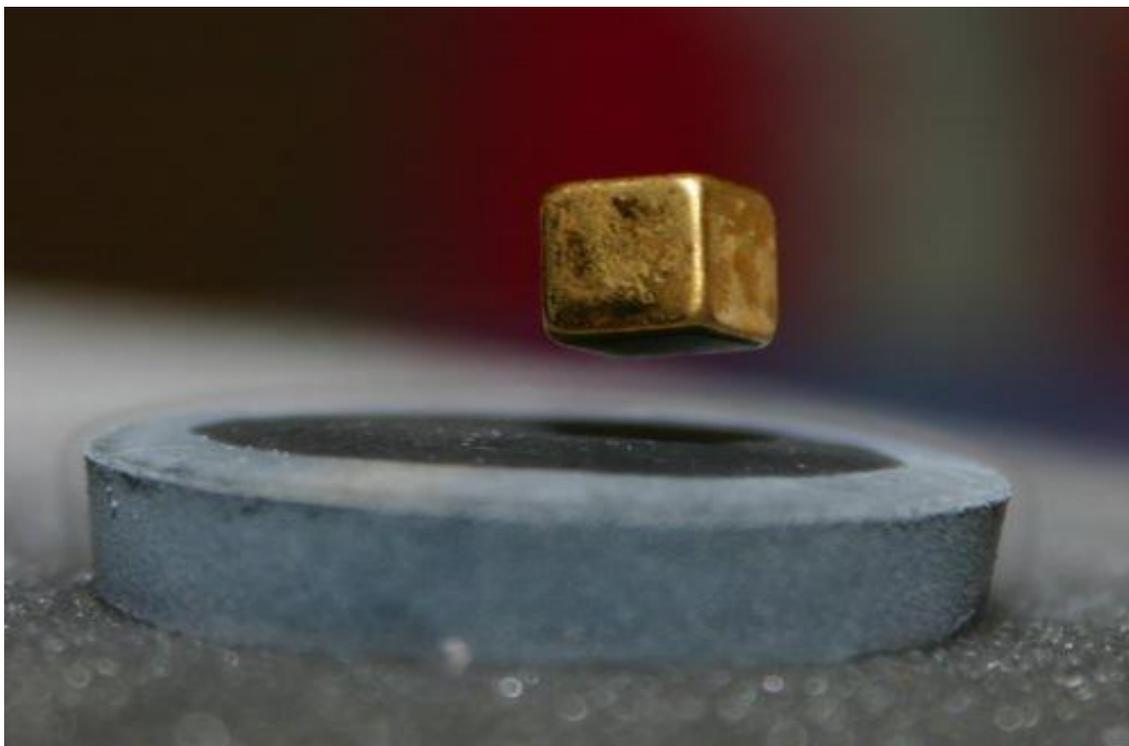


Figura 2. Um ímã suspenso sobre um supercondutor resfriado por nitrogênio líquido.
Fonte: Peter Nussbaumer (2005).

Os supercondutores do Tipo II entram em um “estado misto” com campos magnéticos acima de um determinado valor, continuam sem resistência elétrica mas certas quantidades de fluxo magnético conseguem penetrar no material, em campos magnéticos ainda maiores a supercondutividade é quebrada. O Tipo I de supercondutor geralmente é feito de um único elemento, uma exceção é o nióbio. O Tipo II de supercondutor geralmente é feito de compostos, estes possuem mais aplicações práticas.

Cientistas buscam há anos maneiras mais eficientes de usar os supercondutores, devido a sua natureza de apenas funcionar em baixas temperaturas, como por exemplo, supercondutores que funcionam a temperaturas mais altas, até a temperatura ambiente, geralmente trabalhando com altíssimas pressões, e também buscam usar aqueles que funcionam a temperaturas mais baixas sem muitos gastos.

Um outro fenômeno importante dos supercondutores é um efeito conhecido como efeito Josephson, que recebe o nome do físico Brian David Josephson. Numa Junção Josephson dois

materiais supercondutores são separados por uma fina camada de material isolante, ou material metálico não-supercondutor, e acontece o tunelamento de Pares de Cooper nesses materiais supercondutores separados. Exemplificado na Figura 3.

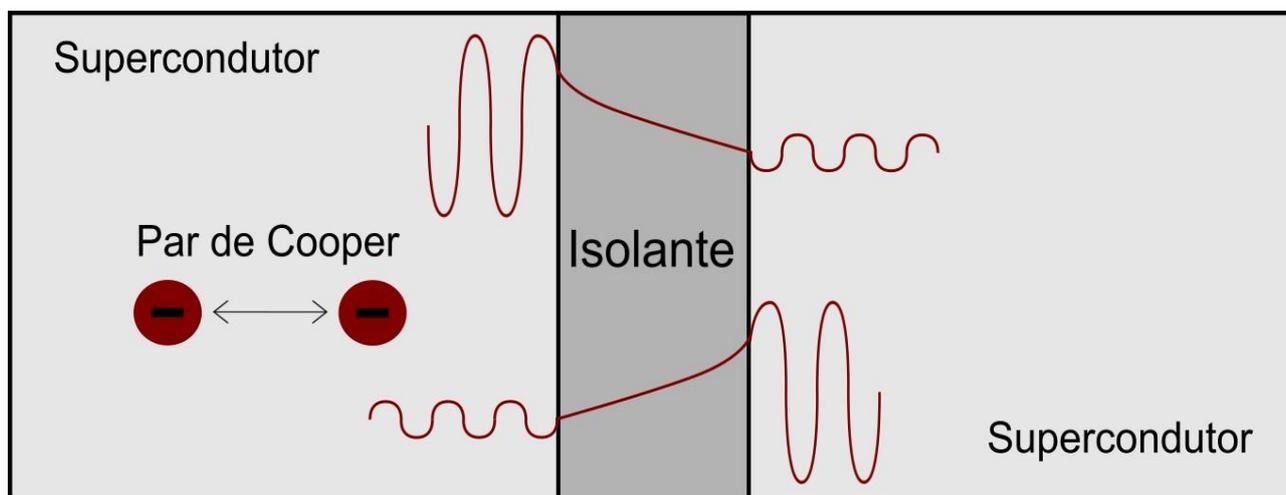


Figura 3. Junção Josephson.

Fonte: Autores (2022).

História dos supercondutores

Heike Kamerlingh Onnes (1908) foi o primeiro a conseguir liquidificar hélio, hélio líquido, em pressões normais, só existe a uma temperatura de 4 K, Onnes (1911) testou a condutividade do mercúrio abaixando a temperatura a 4 K, nesta temperatura o mercúrio conduzia corrente elétrica sem resistência elétrica, e também, por tempo indefinido, Onnes deu o nome a esse fenômeno de supercondutividade. Esse foi o primeiro experimento sobre supercondutividade. Onnes ganhou o prêmio Nobel de física de 1913 por suas descobertas.

Walther Meissner e Robert Ochsenfeld (1933) descobriram o que fora a ser chamado de efeito Meissner, ao medir a distribuição do campo magnético em amostras supercondutoras de chumbo e estanho.

Nos anos que se seguiram foram descobertos vários materiais supercondutores, como o nitreto de nióbio (1941), um supercondutor a 16 K, o vanádio-silício (1953), superconduzindo em temperaturas de 17 K, o nióbio-estanho (1954) que entra em estado supercondutor a uma temperatura de 18 K.

Cientistas da Westinghouse Electric Corporation (1962) inventaram o primeiro fio supercondutor de uso comercial, uma liga de nióbio e titânio.

John Bardeen, Leon Cooper, e John Schrieffer (1957) propuseram uma nova teoria sobre o

funcionamento dos supercondutores. Essa teoria ficou conhecida como Teoria BCS, teoria nomeada com as iniciais dos cientistas. A teoria explica o funcionamento de supercondutores a baixas temperaturas, em que os elétrons se agrupam em pares conhecidos como Pares de Cooper. Eles receberam o prêmio Nobel de física de 1972 por sua teoria. Porém a Teoria BCS não é a mais adequada para explicar supercondutividade em temperaturas mais altas.

Alex Müller e Georg Bednorz (1986) descobriram que materiais isolantes à temperatura ambiente poderiam ser supercondutores, descobriram uma cerâmica de perovskita com T_c de 30 K. Eles também criaram um composto de lantânio-bário-cobre-oxigênio com T_c de 35 K. Por suas descobertas receberam o prêmio Nobel de 1987. Um ano após a descoberta de Müller e Bednorz um grupo da Universidade do Alabama em Huntsville substituiu o lantânio por ítrio e esse material, conhecido como YBCO, possui um T_c de 92 K. Essa descoberta revolucionou o campo da supercondutividade, pois foi descoberto que era possível criar supercondutores com nitrogênio líquido, muito mais barato que hélio líquido. Allen Hermann e Zhengzhi Sheng (1987) descobriram o tálio-bário-cálcio-cobre-oxigênio, ou TBCCO, que possui T_c de 120 K.

O hidrogênio, apesar de na tabela periódica, ficar localizado na coluna dos metais alcalinos, não é como os metais alcalinos. Eugene Wigner e Hillard Bell Huntington (1935) teorizaram que a extrema pressão o hidrogênio agiria como um metal. Há várias teorias de como o hidrogênio metálico poderia ser usado, como por exemplo, como combustível para foguetes, em reatores de fusão nuclear. De acordo com o cientista Neil Ashcroft (1986) o hidrogênio metálico poderia ser um supercondutor a temperatura ambiente.

O uso prático dos supercondutores

Os supercondutores são utilizados em máquinas de ressonância magnética, ressonância magnética nuclear, aceleradores de partículas e etc.

Um dos usos dos supercondutores é nos chamados trens de levitação magnética, conhecidos também como *MagLev*. Como o *MagLev* flutua em cima dos trilhos não há atrito entre o trem e o chão, assim a única fricção que há é entre o ar e o trem, o que permite alcançar altas velocidades. Existem diferentes tipos tecnologia *MagLev*, suspensão eletrodinâmica, suspensão eletromagnética e *Inductrack*. Destes, supercondutores estão presentes no sistema de suspensão eletrodinâmica, esse sistema funciona no princípio de atração e repulsão magnética, a propulsão se faz utilizando ímãs nas laterais do trem, e ímãs de ambos os polos nos trilhos, os polos nos trilhos são alternados de uma maneira em que os ímãs no trem são atraídos pelos ímãs nos trilhos

e depois são repelidos após a alternância dos polos, conforme visto na Figura 4.

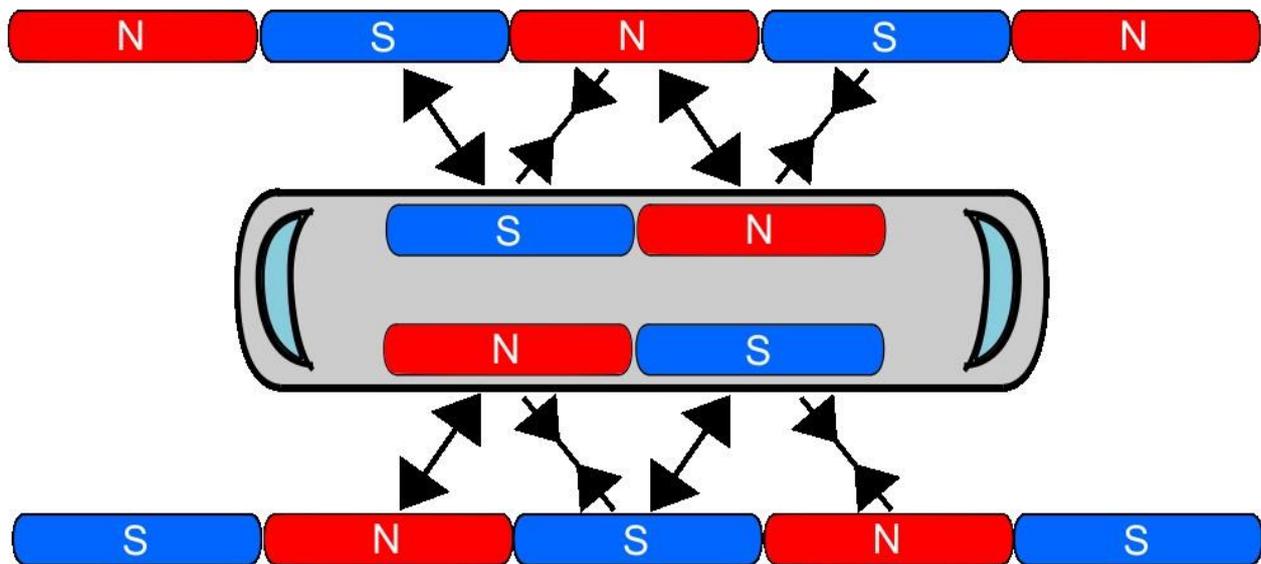


Figura 4. Princípio de propulsão em um trem MagLev.
Fonte: Autores (2022).

O Grande Colisor de Hádron, o maior acelerador de partículas do mundo, utiliza ímãs supercondutores, estes ímãs são responsáveis por guiar as partículas dentro do Colisor. Sem supercondutores o Colisor precisaria ser muito mais longo para funcionar.

Dispositivos supercondutores de interferência quântica, conhecidos como *SQUID* *Superconducting Quantum Interference Device*, são magnetômetros, aparelhos para medir campos magnéticos. *SQUIDs* são um dos melhores aparelhos para medir mudanças em campos magnéticos pois estes aparelhos são bem sensíveis e conseguem perceber mudanças minúsculas da ordem de 10^{-14} T, isso se faz através de um efeito conhecido como Efeito Josephson. O efeito Josephson e os Pares de Cooper causam interferência no circuito, e essas interferências são bem sensíveis a campos magnéticos. *SQUIDs* são geralmente feitos de nióbio ou de ligas de chumbo e ouro ou índio. Porém existem *SQUIDs* feitos de outros materiais que permitem o seu uso em temperaturas maiores, porém estes são menos sensíveis. *SQUIDs* tem várias aplicações, como em diversos tipos de diagnósticos por imagens, sismologia e computadores quânticos.

A descoberta de um supercondutor a temperatura ambiente

De acordo com Elliot Snider, Nathan Dasenbrock-Gammon e Raymond McBride (2020)

em um artigo publicado na Nature, um supercondutor a temperatura ambiente foi descoberto. Esses cientistas introduziram sulfeto de hidrogênio e metano numa célula de bigorna de diamante, uma máquina utilizada em experimentos a altas pressões, depois introduziram gás hidrogênio e expuseram a um laser. Deste experimento descobriram o material hidreto de enxofre carbonáceo, este material, em uma pressão de 267 GPa, entra num estado de supercondução a uma temperatura de 15°C.

Foi, supostamente, o primeiro material supercondutor a temperatura ambiente a ser descoberto, porém o material é de difícil sintetização, portanto não possui uso prático. O artigo fora questionado por outros cientistas a respeito de como os dados da pesquisa foram processados e interpretados, numa nota de 15 de fevereiro de 2022 os editores da Nature sugeriam cautela ao usar os dados resultados desse artigo. Em 26 de setembro de 2022 o artigo foi oficialmente retratado da Nature, a razão dada foi de que certos dados foram obtidos de maneira não padronizadas, sendo usado procedimentos definidos pelo usuário, os detalhes do procedimento não foram especificados no artigo. Todos os autores discordaram da retratação do artigo da revista.

CONCLUSÃO

Supercondutores, apesar de terem bastante potencial, ainda são bem complicados de usar, pois precisam de baixas temperaturas ou de pressões altas e isso limita e encarece seu uso. Ainda há um longo caminho até que supercondutores sejam parte da vida das pessoas. Porém nas aplicações onde supercondutores são usados os supercondutores são excelentes, pois com eles foi possível criar, o trem mais rápido do mundo, um dos melhores sensores de fluxo magnético, entre outras, e seria bem difícil ou até impossível de existir aplicações de tal nível sem o uso de supercondutores.

REFERÊNCIAS

- ASHCROFT, N. W. Metallic Hydrogen: A High-Temperature Superconductor?. *Physical Review Letters*, 1968; 21(26): 1748-1749. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.21.1748>. Acesso em: 1 set. 2022.
- BARDEEN, J.; COOPER, L. N.; SCHRIEFFER, J. R. Microscopic Theory of Superconductivity. *Physical Review Journal*. 1957; 106(1): 162-164. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.106.162>. Acesso em 1 set. 2022
- BRANÍCIO, S. P. Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela redescoberta do MgB₂: uma abordagem didática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2001;

23(4): 381-390. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/i/2001.v23n4>. Acesso em: 1 set. 2022

CHERNODUB, M. N. Can nothing be a superconductor and a superfluid?. High Energy Physics - Phenomenology. 2011. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1104.4404v1>. Acesso em: 1 set. 2022

DELFT, D.; KES, P. The discovery of superconductivity. Physics Today. 2010; 63(9): 38. Disponível em: <https://physicstoday.scitation.org/doi/full/10.1063/1.3490499>. Acesso em: 1 set. 2022.

ECK, J. Superconductors.org. Disponível em: <http://superconductors.org>. Acesso em: 12 set. 2022

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Meissner effect. 2018. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Meissner-effect>. Acesso em: 1 set. 2022.

LILIA, B., et al. The 2021 room-temperature superconductivity roadmap. Journal of Physics: Condensed Matter. 2022; 34(18). Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-648X/ac2864>. Acesso em: 1 set. 2022.

NUSSBAUMER, P. A magnet is suspended over a liquid nitrogen cooled high-temperature superconductor (-200°C). Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnet_4.jpg. Acesso em: 10 out. 2022

MEISSNER, W.; OCHSENFELD, R. Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit. Naturwissenschaften, 1933; 21: 787-788. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01504252>. Acesso em: 27 set. 2022. 2294

SCENET-2; EUROPEAN SCIENCE FOUNDATION; EUROPEAN SOCIETY FOR APPLIED SUPERCONDUCTIVITY. Lectures on Superconductivity, Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge University, 2002. Disponível em: <https://www.ascg.msm.cam.ac.uk/lectures/>. Acesso em: 1 set. 2022

SNIDER, E., et al. Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride, Nature, 2020; 586: 373-377. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2801-z>. Acesso em: 27 set. 2022.