

Figura 1 - Imagem espetacular capturada pelo telescópio espacial James Webb (divulgada no dia 12/07/23) em comemoração ao seu primeiro aniversário de funcionamento. Trata-se do berçário estelar Rho Ophiuchi situado a 390 milhões de anos-luz da Terra.
Crédito: NASA, ESA e CSA

Caro leitor,

A newsletter “Ciência em Panorama” tem periodicidade (quase) mensal. Para você receber as próximas edições, se inscreva **mandando** um e-mail para

onody@ifsc.usp.br

colocando o seu nome e o seu e-mail.

Você encontra todas as edições do *Ciência em Panorama* [nesta página](#).

Comentários, críticas e sugestões serão sempre bem-vindos e podem ser enviados ao meu e-mail.

Prof. R. N. Onody

Boa Leitura!

Nesta Edição

- **Astronomia**

1. Um efeito inacreditável e contraintuitivo
2. O telescópio Euclid – em busca da energia e da matéria escura

- **Física**

ELVES na ionosfera

- **Tecnologia**

Arseneto de boro cúbico – o melhor semicondutor?

- **Curiosidade**

Dobrando uma folha de papel

• Astronomia

1. Um efeito inacreditável e contraintuitivo

Quando *afastamos dos nossos olhos* um objeto cujo tamanho (real) é L , esperamos que o seu tamanho (aparente) *vá sempre diminuir*, certo?

Errado. Se os modelos cosmológicos que incorporam a matéria escura e a energia escura estiverem corretos, a aceleração do universo traz à tona um efeito esdrúxulo e inesperado.

Deixe-me explicar o efeito com um experimento. Suponha que possamos escolher uma determinada galáxia do universo e transportá-la a distâncias cada vez maiores da Terra. No começo, o tamanho aparente desta galáxia vai diminuindo, mas, quando ela estiver a uma distância maior do que 14,6 bilhões de anos-luz da Terra (1 ano-luz = 9,46 trilhões de quilômetros), o seu tamanho aparente passa a aumentar novamente! (Observação – o raio do universo é de cerca de 46 bilhões de anos-luz em todas as direções).

Na geometria Euclidiana, para um ponto que está a uma grande distância d de um objeto de tamanho L , o ângulo de visão (em radianos) é dado por $\theta = \frac{L}{d}$. Por conseguinte, quando aumentamos a distância sempre diminuimos o tamanho aparente do objeto. Observe que não estão aqui presentes dois ingredientes importantes: a máquina geradora de espaço (energia escura), e o fato de a velocidade da luz ser finita (e constante).

Em astronomia, θ é o tamanho angular de um objeto cósmico. Se *dividirmos o tamanho transversal* (diâmetro) desse objeto pelo seu *tamanho angular* teremos o chamado *angular-diameter distance*. A nossa expectativa é de que essa grandeza cresça com o aumento da distância do objeto cósmico à Terra. Isso, porém, não é verdade. Em função do *redshift* z (tendência ao vermelho, veja abaixo), ela cresce, passa por um valor máximo e diminui.

O redshift z é devido ao efeito Doppler da radiação eletromagnética. Quando uma fonte, que está emitindo luz com comprimento de onda λ_e , se afasta de um observador, este medirá um comprimento λ_o que é *maior* do que aquele que foi emitido (ela é mais 'vermelha'). A definição do redshift z (uma grandeza adimensional) é a seguinte

$$z = \frac{\lambda_o}{\lambda_e} - 1$$

O redshift, tanto na Relatividade Especial quanto na Relatividade Geral, está relacionado à velocidade de afastamento entre a fonte emissora e o observador. Conhecendo (aqui na Terra) o espectro das linhas de emissão dos elementos químicos presentes e abundantes nas estrelas (hidrogênio, hélio etc.) e medindo aquele oriundo de uma estrela distante, podemos inferir sua velocidade de afastamento (redshift) ou de aproximação (blueshift).

Na década de 1920, o astrônomo norte-americano [Edwin Hubble](#), fez uma descoberta muito importante - quanto mais distante estava uma galáxia, maior era o seu redshift e, conseqüentemente, a sua velocidade de afastamento. Sua conclusão – o universo estava se *expandindo*!

No final do século XX, ao investigar [explosões de supernovas](#), os astrônomos concluíram que a expansão do nosso universo está *acelerando*!

Um modelo cosmológico padrão é o chamado [Lambda-CDM](#) (Lambda para a constante cosmológica e CDM para Cold Dark Matter). Ele contém radiação, matéria regular, matéria escura e energia escura. Após o Big Bang (ocorrido a cerca de 13,8 bilhões de anos atrás), a radiação foi a forma dominante do universo até ele completar cerca de 9.000 anos de idade. Foi quando a matéria (regular e escura) superaram a densidade da radiação e se tornaram dominantes. Quando o universo tinha por volta de 7,8 bilhões de anos de idade (há 6 bilhões de anos atrás), a densidade da matéria foi superada pela densidade da energia escura e teve, então, início a expansão acelerada do universo.

Neste modelo Lambda-CDM, a grandeza a que nos referimos acima – angular-diameter distance, pode ser calculada em função do redshift z . Na Figura 2, a escala vertical é quiloparsecs (= 3.261 anos-luz) por segundo de arco (= 1 grau/3600)

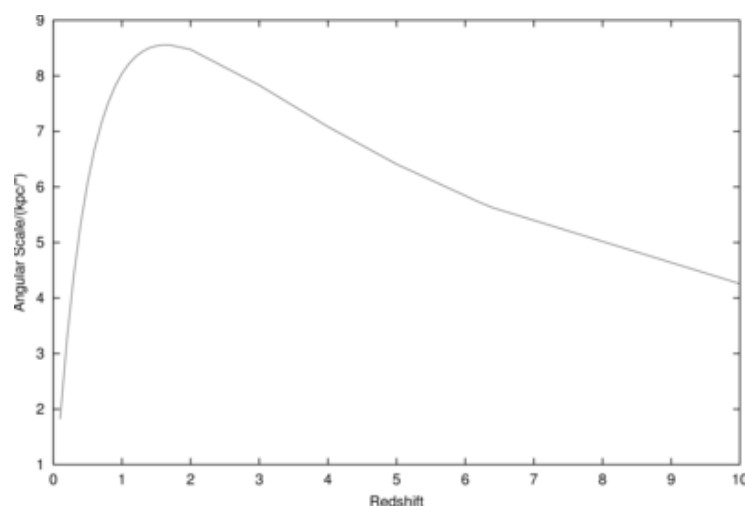


Figura 2 – O máximo da curva ocorre no redshift de 1,5 ou a uma distância crítica de cerca de 14,6 bilhões de anos-luz. Objetos cósmicos que estejam distantes da Terra para além desse valor crítico, parecerão cada vez maiores. O tamanho aparente de um objeto é uma competição entre 2 efeitos: parece menor porque está mais distante e parece maior porque já esteve bem mais próximo no passado.

A luz que nos chega neste momento de uma galáxia bem distante e o seu tamanho angular não depende da sua distância atual, mas, da distância que ela se encontrava quando emitiu a luz. Como neste intervalo de tempo o universo se expandiu e a velocidade da luz é finita, essa galáxia distante já esteve bem mais próxima de nós e ela se estendia, então, por um tamanho angular maior.

Consequentemente, se construirmos um bom telescópio de alta resolução para captar imagens de objetos cósmicos a uma distância de 14,6 bilhões de anos-luz, ele verá *imagens ainda melhores para objetos ainda mais distantes*. Um efeito realmente bizarro.

2. O telescópio Euclid – em busca da energia e da matéria escura

O telescópio Euclid, que foi lançado do Cabo Canaveral em 01 de julho de 2023, irá investigar a substância mais abundante do universo – a energia escura. Há exatamente 25 anos atrás, astrônomos estudaram cuidadosamente cinquenta supernovas do tipo *Ia*. Como vimos na última edição de Notícias de Ciência e Tecnologia, essa classe de supernovas é um excelente medidor e marcador de grandes distâncias cosmológicas. Eles observaram que o brilho das supernovas mais distantes era mais fraco do que o esperado e concluíram que o nosso universo estava em *expansão acelerada*. A natureza dessa força repulsiva antigravitacional era (e ainda é) desconhecida, daí o nome – energia escura. Ela corresponde a cerca de 70% da composição do nosso universo.

O telescópio espacial Euclid (Figura 3), de fabricação europeia (ESA – European Spatial Agency), custou 1,5 bilhão de euros e será posicionado no ponto de Lagrange 2 que fica ao longo da linha que conecta o Sol e a Terra, a 1,5 milhões de quilômetros da Terra (mesma órbita do telescópio James Webb). Levará cerca de 1 mês para chegar à posição orbital e 7 meses testando os instrumentos a bordo (que operam no comprimento do infravermelho e da luz visível). Observará mais de 1 bilhão de galáxias e varrerá 1/3 do céu. São excluídas regiões com estrelas brilhantes da nossa Via-Láctea ou com muita poeira no plano do sistema solar, já que elas atrapalham as observações astronômicas.

Cada tomada do telescópio será sensacional pois ele tem um campo de visão 0,5 grau ao quadrado (o dobro da nossa visão da lua, que é de 0,25 grau ao quadrado). Justapondo e comparando exposições feitas em tempos diferentes, com filtros diferentes, qualquer evento ou mudança de brilho de objetos celestes, será digitalizado (veja animação).

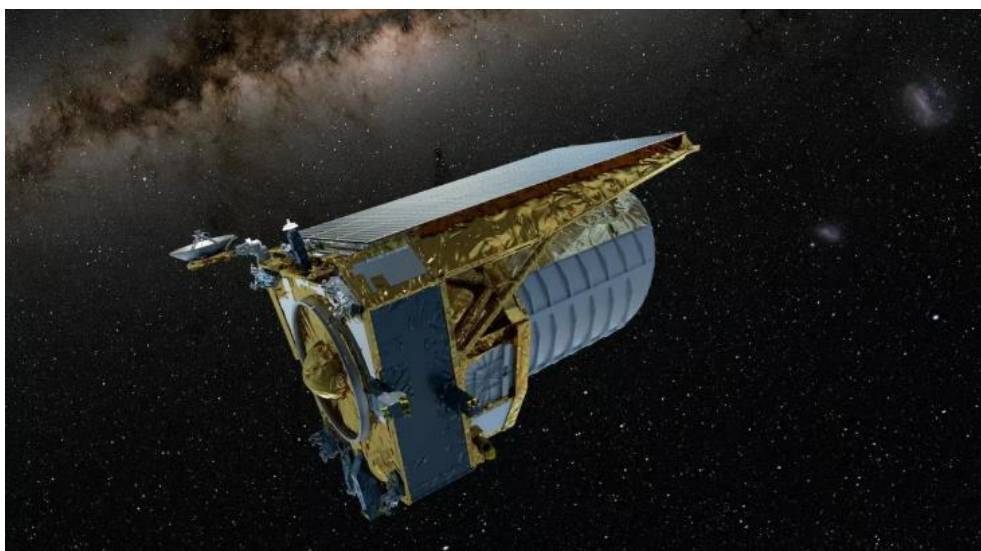


Figura 3 – Imagem artística do telescópio espacial Euclid. De construção europeia, a nave pesa 2.100 kg, mede 4,5 metros de altura e tem um diâmetro de 3,1 metros. A bordo, um telescópio com um espelho de diâmetro 1,2 m. A Zeiss construiu uma peça ótica que deixa passar o infravermelho e reflete a luz visível, encaminhando-as, em seguida, para seus respectivos instrumentos.
 Fonte: ESA/ATG - medialab

O telescópio Euclid está projetado para estudar as galáxias e aglomerados de galáxias existentes há 10 bilhões de anos atrás. Acredita-se que após o Big-Bang, quando o universo tinha entre 5 e 10 bilhões de anos de idade, ele se expandia de maneira *desacelerada*, sendo freado pela força gravitacional atrativa da *matéria escura* (que participa, hoje, com 25% da composição do universo). Depois desse período (ou seja, nos últimos 4 bilhões de anos), a *energia escura*, que gera uma força repulsiva, passa a *acelerar* a expansão do universo (Figura 4).

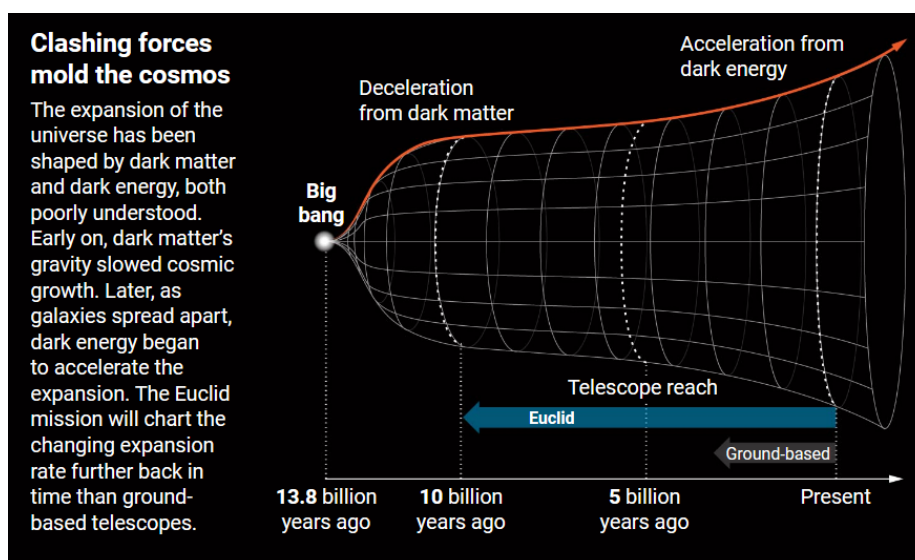


Figura 4 – A aceleração da expansão do universo, medida com telescópios terrestres para os últimos 5 bilhões de anos, é a mesma do que a de 10 bilhões de anos atrás?
 Fonte: [Science](#)

As teorias sobre aceleração do universo podem ser classificadas, basicamente, em três tipos: constante cosmológica, quinta-essência ou teoria da gravitação modificada.

A constante cosmológica, de natureza repulsiva (representada pela letra grega λ) foi adicionada à teoria da relatividade geral por Einstein (em 1917) para compensar o colapso gravitacional do universo e torná-lo estático. Uma década depois, quando Hubble constatou que o universo estava, de fato, em expansão, Einstein retirou a constante cosmológica das equações.

Na teoria quântica de campos, o vácuo não só não é vazio, mas, tem energia gerada pelas flutuações com criações de pares de partículas e antipartículas. Pensou-se, é claro, em associar essa energia do vácuo à constante cosmológica, mas, o valor estimado pela teoria quântica de campos é 10^{120} vezes *maior* do que o observado pelos astrônomos! Precisamos de uma teoria quântica gravitacional.

A quinta-essência, por outro lado, será a teoria favorecida se a aceleração do universo, causada pela energia escura, não for constante no tempo. Nesse caso, a energia escura poderia corresponder à uma quinta força do universo, ora sendo atrativa, ora repulsiva. Se a força da gravidade for não local e depender da escala do universo, então, teríamos que olhar para uma revisão da teoria da relatividade geral com uma nova teoria da gravidade.

A missão do telescópio Euclid tem duas propostas. A primeira utiliza *luz visível* para estudar o *efeito de lente gravitacional* (veja...). Como sabemos, a luz se curva ao passar próximo de objetos celestes muito massivos. Ao passar por galáxias que se encontram em diferentes distâncias da Terra, esse estudo permitirá mapear a quantidade e a distribuição de matéria presente no meio do caminho. E aqui, me refiro à *matéria escura*, já que ela compõe 25% do universo enquanto a *matéria regular* responde por apenas 5%.

A segunda proposição utiliza *luz infravermelha* e deverá investigar os chamados BAOs ([Baryon Acoustics Oscillations](#)). Logo após o Big-Bang, as regiões mais densas do plasma existente (composto de gás e fótons) emitiram ondas de pressão. Essas ondulações são *hoje* detectadas como *aglomerados de galáxias* que se encontram a uma distância média de 490 milhões de anos luz entre si (denominada *distância padrão*). Mas, qual era essa distância padrão a 2, 5 ou 10 bilhões de anos atrás? Usar essa régua espaço-temporal trará valiosas informações sobre a aceleração do nosso universo.

Nessa pesquisa, o telescópio Euclid não estará só. Em 2025 deve entrar em funcionamento o [observatório Vera Rubin](#) no Chile e, em 2026, o [telescópio espacial Roman](#). Vamos aprender muito sobre a energia escura e a matéria escura.

- **Física**

- **ELVES na ionosfera**

ELVES é o nome dado a um raro fenômeno atmosférico que acontece na ionosfera e é causado por fortes tempestades que estão acontecendo dezenas de quilômetros abaixo.

Um ELVES (acrônimo para **E**missions of **L**ight and **V**ery low frequency perturbations due to **E**lectromagnetic Sources) foi detectado pela [primeira vez](#) pela tripulação do ônibus espacial Discovery em 7 de outubro de 1990!

Acredita-se que pulsos eletromagnéticos (muito intensos) causados por fortes tempestades ocorrendo na parte baixa da atmosfera, energizam elétrons que acabam colidindo com moléculas de nitrogênio na ionosfera. ELVES têm a forma de uma rosca avermelhada e foram detectados na ionosfera em altitudes de 90 a 100 km (Figura 5).



Figura 5 – ELVES fotografado em 27 de março de 2023, na Itália. O seu diâmetro era de cerca de 360 km e se formou a uma altitude de 90/100 km. A duração do fenômeno foi de frações de segundo!

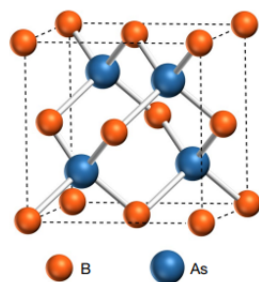
Fonte: Valter Binotto.

• Tecnologia

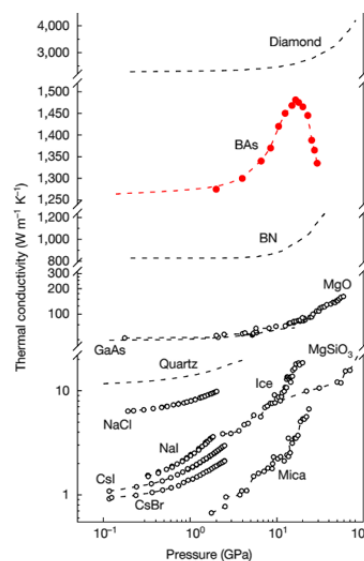
Arseneto de boro cúbico – o melhor semicondutor?

O silício além de ser um elemento abundante no nosso planeta é também um material semicondutor muito utilizado na tecnologia moderna, participando na fabricação de chips de computadores, dispositivos fotônicos e células solares. Num semicondutor, elétrons saltam da banda de valência para a banda de condução deixando atrás de si um buraco de carga positiva. Um bom semicondutor deve ter grande mobilidade de elétrons e buracos e alta condutividade térmica.

À temperatura ambiente, o arseneto de gálio tem uma mobilidade de elétrons cerca de 6 vezes maior do que a o silício e ambos têm, praticamente, a mesma (baixa) mobilidade dos buracos. Por outro lado, o silício tem uma condutividade térmica cerca de 3 vezes maior do que a do arseneto de gálio. Um grupo de pesquisadores obteve, em 2022, um novo material semicondutor denominado arseneto de boro cúbico (Figura 6a). Segundo seus estudos, esse novo material supera os tradicionais silícios e arseneto de gálio nos quesitos de mobilidade de elétrons e buracos e na condutividade térmica. Um novo e melhor semicondutor? Quem sabe... o desafio agora será produzir esse material em quantidades utilizáveis industrialmente.



(a)



(b)

Figura 6 – (a) A estrutura cristalina cúbica do arseneto de boro. (b) O comportamento da condutividade térmica de vários cristais em função da pressão hidrostática. O arseneto de boro cúbico (em vermelho) é o único que exibe uma queda a partir de uma determinada pressão. Imagem extraída da [Nature](#).

E não é só isso. O arseneto de boro cúbico surpreendeu a comunidade científica ao apresentar um comportamento bastante anômalo – a condutividade térmica *diminui* quando incrementamos a pressão externa acima de um certo valor. Os cristais usuais que conhecemos, quando pressionados, aumentam a sua condutividade térmica. A pressão aproxima os átomos tornando mais fácil a propagação de calor. Para o arseneto de boro cúbico a pesquisa mostrou que, na temperatura de 300 K, a condutividade térmica aumentava até a pressão de 16,5 GPa. Entre as pressões de 16,5 GPa até 29,5 GPa (algo em torno de 163 mil e 291 mil atmosferas, respectivamente) a condutividade térmica diminuía (Figura 6b). Até aqui, o arseneto de boro cúbico é o primeiro material a exibir esse comportamento.

• Curiosidade

Dobrando uma folha de papel

Pegue uma folha de papel que tenha a forma de um quadrado, com aresta L e espessura uniforme T . Quantas vezes é possível dobrá-la ao meio?

A resposta à pergunta acima depende não só da espessura T e do comprimento L da folha de papel, mas também da ‘dinâmica’ do processo de dobradura. Pensando a folha como se fora contida num plano xy , podemos dobrar a folha ao meio em torno de eixos paralelos a x e a y . Depois de n dobras, teremos $\frac{n(n-1)}{2}$ possibilidades. Analisaremos apenas o caso mais simples em que todas as dobras são feitas na mesma direção.

Depois de n dobras, a espessura será dada por: $T_n = T \cdot 2^n$. Essas dobras formarão um retângulo com um lado sempre igual a L e o outro com comprimento $L_n = L \cdot 2^{-n}$. Esse processo de dobrar o papel só pode continuar enquanto $L_n \geq \frac{1}{2} T_n$, o que estabelece um limite superior dado por: $\frac{L}{T} \geq 2^{2n-1}$ ou o número máximo de dobras, $n_{max} \leq \frac{1}{2} \left[\log_2 \left(\frac{L}{T} \right) + 1 \right]$.

Em números, para que uma folha típica com 0,1 mm de espessura, pudesse ser dobrada 51 vezes, a folha quadrada deveria ter uma aresta inicial medindo 150 milhões de quilômetros, ou seja, a distância Terra-Sol!

Na prática, a situação ainda é pior, pois nossa estimativa não leva em conta o maior consumo de papel na formação das dobras (aproximadamente,

semicírculos cujos raios aumentam a cada dobra) . [Britney Gallivan](#), levou este fato em consideração e corrigiu a fórmula para $\frac{L}{T} = \frac{\pi}{6}(2^n + 4)(2^n - 1)$.



Figura 7- Em 2002, Britney Gallivan conseguiu dobrar 12 vezes uma folha de papel de seda com 1.200 metros de comprimento (que ela adquiriu na internet). Está no [Livro Guinness de Recordes](#).



