



Aventuras CosmoVerse

Energia Escura



A Sala de aula

Introdução: O lado escuro do Universo



Professor :

(Apanhando uma maçã atirada ao ar) Bom dia, turma! Alguém me sabe dizer porque é que esta maçã cai para baixo quando a atiro para cima?



Aluno 1 :

É a gravidade a puxá-la para baixo, não é?



Professor :

Precisamente! A gravidade puxa-a de volta para a Terra. Mas se eu conseguisse atirar esta maçã suficientemente depressa, a cerca de 11 quilómetros por segundo, ela atingiria a velocidade de escape e não voltaria a cair. Continuará a deslocar-se para onde a atração gravitacional da Terra seria próxima de zero.



Aluno 2 :

Então, seria como lançar um foguetão para o espaço!



Professor :

É isso mesmo. Agora, vamos ligar isto ao nosso Universo. Desde o Big Bang, o Universo tem estado a expandir-se. Julgávamos que poderia começar a desacelerar devido à gravidade de todas as galáxias e da matéria escura.



Aluno 3 :

Matéria escura? É o material que não conseguimos ver, mas que tem efeito gravitacional, certo?



Professor :

Correto. Mas aqui está a surpresa: Os cientistas descobriram que o Universo não está a encolher ou sequer a expandir-se lentamente; está a ficar maior e mais rápido; está a acelerar!



Aluno 1 :

Calma, a acelerar? Como é que isso é possível?



Professor :

É como se atirássemos a maçã para cima e, em vez de voltar para baixo, ela acelerasse para o espaço. Os cientistas pensam que há um tipo especial de energia que causa esta aceleração, a chamada energia escura.



Figura 1: Os cientistas ficaram chocados ao saber que o Universo está a acelerar. É como atirar uma maçã para o ar e ela acelerar para cima.

 **Aluno 2 :**

Então a energia escura é diferente da matéria escura?

 **Professor :**

Exatamente! A matéria escura é a massa invisível que acrescenta força gravitacional, atuando mais como uma rede que desacelera o vôo da maçã.

 **Aluno 2 :**

Quanta energia escura é que existe?

 **Professor :**

Bem, quando os cientistas somam tudo o que existe no Universo, descobrem que uns impressionantes 95% são coisas que não conseguimos ver diretamente. E dois terços desses, cerca de 70%, são energia escura - tão poderosa que domina o destino do nosso Universo.

 **Aluno 3 :**

Então, o Universo continuará a expandir-se para sempre?

 **Professor :**

Essa é a grande questão. Para o descobrir, vamos analisar a geometria do Universo e verificar se existe matéria suficiente para travar a expansão. Mas com tanta energia escura, a resposta inclina-se para o sim, o Universo pode expandir-se para sempre.

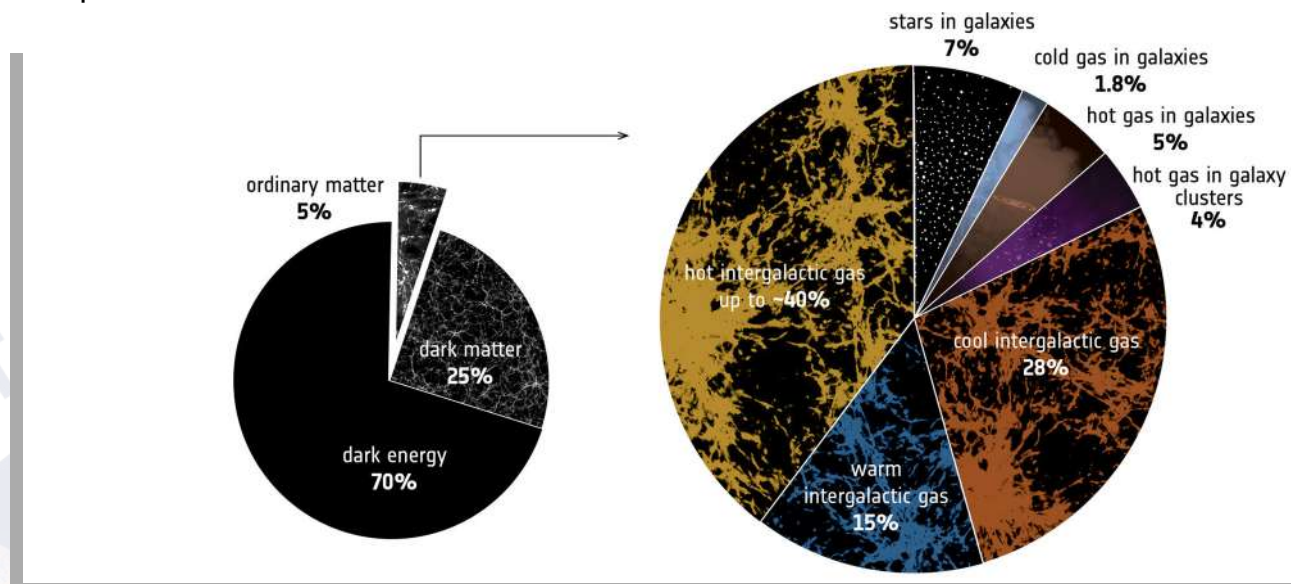


Figura 2: A matéria escura e a energia escura constituem 95 por cento do nosso Universo; os restantes 5 por cento são constituídos por matéria comum chamada bárions, a maior parte da qual permaneceu oculta até há pouco tempo. Os cientistas descobriram agora grande parte do material intergaláctico que nunca tinham visto anteriormente. Créditos: ESA.

 **Professor :**

Vamos juntar-nos ao Quark na sua nave espacial para explorar mais esta questão e testemunhar o destino do nosso Universo e talvez o fim do próprio tempo!



A Nave Espacial da Imaginação

O Destino do Universo



Quark :

Bem-vindos de volta, exploradores cósmicos! Depois de termos viajado pelo passado do Universo, é altura de definirmos o nosso rumo para o futuro, para pensarmos como é que o nosso Universo poderá acabar.



Aluno 1 :

Eu sempre me perguntei, quais são os possíveis finais?



Quark :

Ah, as histórias dos finais cósmicos são tão variadas quanto emocionantes. Vamos viajar no tempo, para o futuro distante, a bordo da nave espacial da imaginação.

(A nave ganha vida, as estrelas passam por ela enquanto acelera em direção ao futuro.)



Quark :

Agora, a nossa história desenrola-se em três actos, cada um deles é determinado pelo protagonista, Omega Ω —o rácio de toda a matéria e energia em relação à densidade crítica, o equilíbrio perfeito para um Universo plano.



Aluno 2 :

Omega Ω ! O nome deriva da última letra do alfabeto Grego!



Quark :

Sim. No nosso primeiro ato, se Omega Ω for inferior a um, o Universo é como uma tigela demasiado grande para o seu conteúdo. O espaço é curvado como uma sela cósmica, sempre aberta e em expansão. Esta é a história do Big Freeze, onde as galáxias se afastam, deixando-nos numa extensão fria e interminável, graças à enigmática energia escura.



Aluno 4 :

Isso é... bastante frio.



Quark :

É verdade. No segundo ato, se Omega Ω exceder um, encontramos-nos num Universo demasiado pequeno para o seu conteúdo, curvado como uma esfera. Aqui, a expansão do Universo abranda, pára e depois inverte, colapsando de novo numa singularidade ardente - um Big Crunch.

Aluno 3 :

Como se o Universo estivesse a dar o seu último suspiro?

Quark :

Um último suspiro, jovem astrofísico. Mas no nosso terceiro ato, em que Omega Ω é igual a um, temos um Universo plano perfeitamente equilibrado. No entanto, mesmo este equilíbrio pende a favor de uma expansão incessante.

Aluno 1 :

Então, a energia escura está a ganhar o braço de ferro cósmico?

Quark :

Exatamente! A energia escura é como o ator oculto neste drama cósmico. Está a empurrar o Universo para se expandir mais rapidamente, sobrepondo-se à força gravitacional de tudo o resto. Isto faz com que o cenário do Big Freeze - um Universo que arrefece à medida que se expande - seja o final mais provável.

Aluno 2 :

Será que vamos assistir a este Big Freeze?

Quark :

Não durante muito tempo. Mas um dia, as galáxias no limite da nossa visão apagar-se-ão, perdidas para lá de um horizonte cósmico sempre crescente, deixando-nos num escuro e vasto mar de vazio. Um destino paradoxal, onde o nosso Universo cresce mas revela menos de si próprio ao longo do tempo.

Aluno 4 :

E se a energia escura se tornar mais forte com o tempo?

Quark :

Se a energia escura se tornar mais forte, pode levar a um 'Big Rip'. Tudo, mesmo as galáxias e os átomos, poderá ser despedaçado à medida que a expansão do Universo se acelera de forma incontrolável.

Aluno 1 :

Poderá a energia escura tornar-se mais fraca?

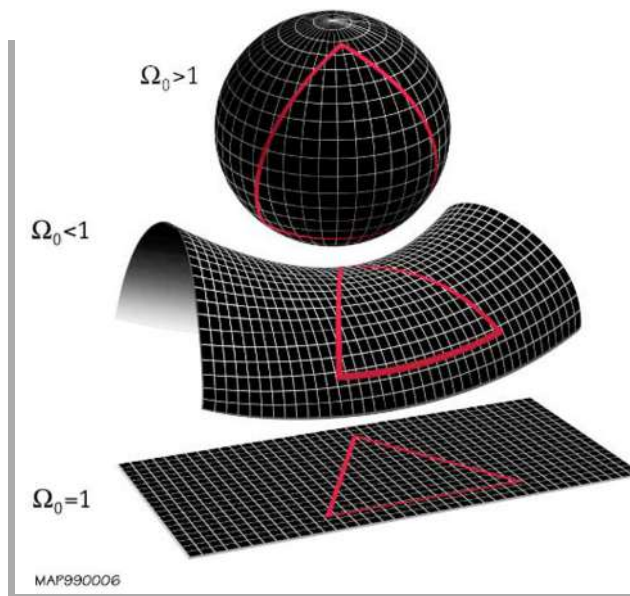
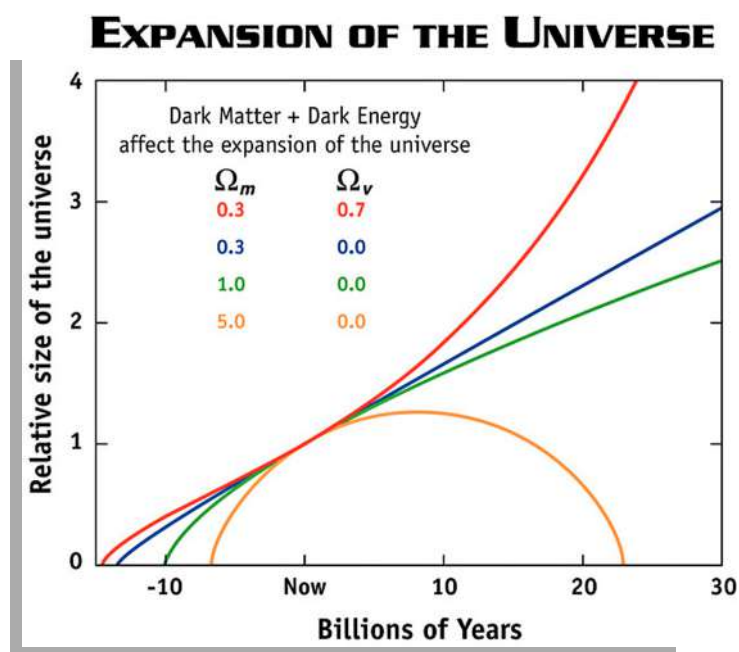


Figura 3: A geometria local do Universo é determinada pelo facto de a densidade relativa Ω ser inferior, igual ou superior a 1. De cima para baixo: um Universo esférico com uma densidade superior à densidade crítica ($\Omega > 1$, $k > 0$); um Universo hiperbólico, pouco denso ($\Omega < 1$, $k < 0$); e um Universo plano com exatamente a densidade crítica ($\Omega = 1$, $k = 0$). O espaço-tempo do Universo é, ao contrário dos diagramas, tetradimensional. Crédito da imagem: NASA.

Figura 4: Cenários possíveis para o destino do Universo: a curva laranja inferior representa um Universo fechado, de alta densidade, que se expande durante vários milhares de milhões de anos, acabando por dar meia volta e colapsar sob o seu próprio peso. A curva verde representa um Universo plano, de densidade crítica, no qual a taxa de expansão abranda continuamente (as curvas tornam-se cada vez mais horizontais). A curva azul mostra um Universo aberto, de baixa densidade, cuja expansão também está a abrandar, mas não tanto como as duas anteriores, porque a força da gravidade não é tão forte. A curva superior (vermelha) mostra um Universo em que uma grande fração da matéria se encontra numa forma designada por “energia escura”, que está a fazer com que a expansão do Universo aumente de velocidade (acelere). Há cada vez mais provas de que o nosso Universo está a seguir a curva vermelha. Ω_m (Omega_m) e Ω_v (Omega_v) são parâmetros que os cosmólogos utilizam para descrever o conteúdo do Universo. Ω_m refere-se à densidade da matéria no Universo, que inclui tanto a matéria comum como a matéria escura. Ω_v refere-se à densidade da energia escura. Note-se que as suas percentagens estão divididas por 100. Créditos da imagem: NASA / equipa científica do WMAP.



Quark :

É possível. Se enfraquecer, ainda podemos assistir a um Big Freeze, mas se se tornar negativo, pode levar a um Big Crunch, em que o Universo colapsa sobre si próprio. No entanto, se alguma mudança acontecer, demoraria muito mais tempo do que a idade atual do Universo.

Aluno 3 :

Então, estamos numa corrida cósmica contra o tempo?

Quark :

Elegantemente dito. A história do nosso Universo ainda está a ser escrita, e nós temos lugares na primeira fila. Vamos manter os nossos olhos bem abertos com espanto. Por agora, vamos aproveitar ao máximo a nossa viagem cósmica - enquanto as estrelas continuam a brilhar por cima de nós.

Aluno 4 :

Ainda me pergunto como é que os cientistas descobriram a energia escura?

Quark :

É uma ótima questão! Para desvendar a história da descoberta da Energia Escura, vamos conhecer uma mente brilhante que mergulhou fundo nestes mistérios cósmicos. Está na altura de nos juntarmos ao famoso cosmólogo Stephen Hawking, que pode esclarecer este enigma obscuro.

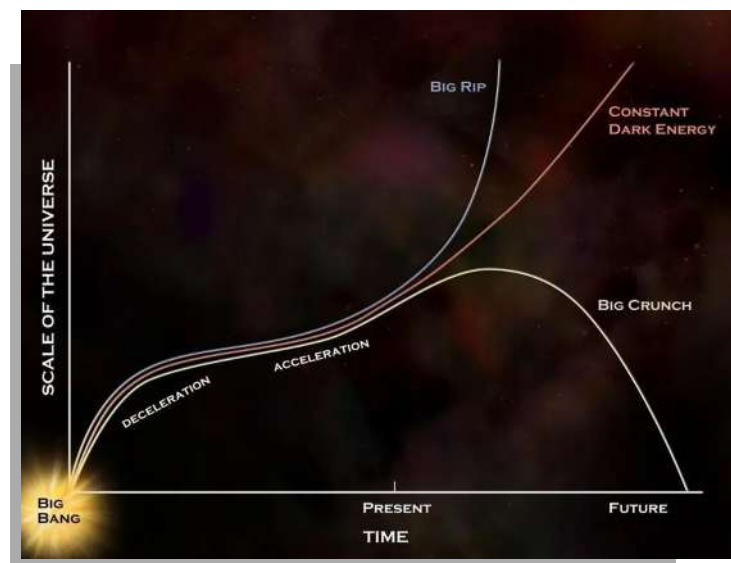


Figura 5: O destino final do Universo depende da influência da energia escura. Se continuar a dominar a níveis constantes, o Universo pode aumentar de tamanho sem limites. Se a força da energia escura aumentar demasiado, o cosmos pode ser desfeito num “big rip”. Se a energia escura enfraquecer, e se o Universo tiver massa suficiente, o cosmos pode eventualmente colapsar num “big crunch”. Crédito: NASA/CXC/M. Weiss



Conhecer um cientista

A Descoberta da Energia Escura

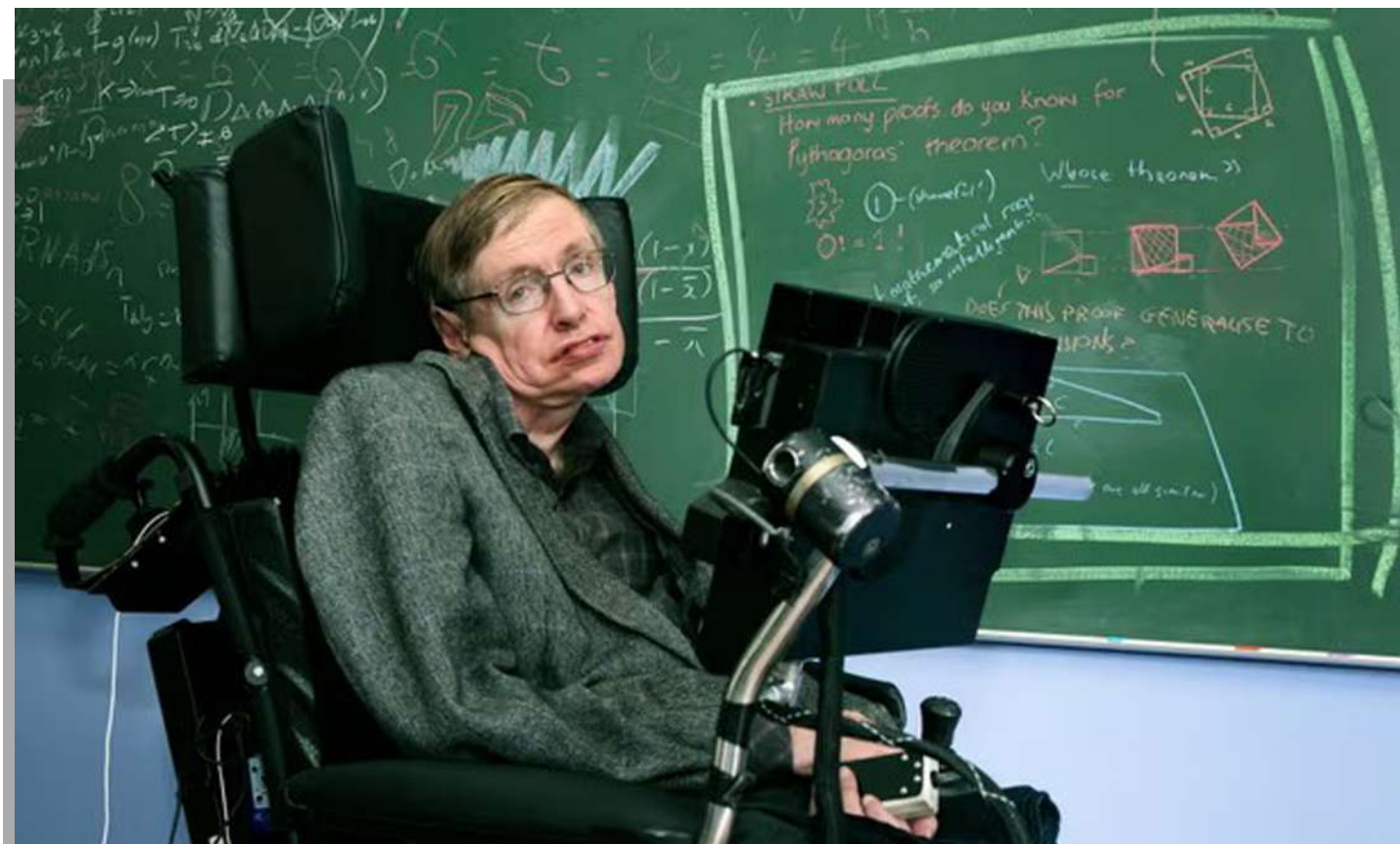


Figura 6: Stephen Hawking no seu gabinete no departamento de matemática aplicada e física teórica da Universidade de Cambridge em 2005. Fotografia: Murdo Macleod/The Guardian.



Quark :

Bem-vindos, jovens exploradores! Hoje temos a honra de conhecer o Professor Stephen Hawking, uma das maiores mentes da Cosmologia!



Aluno 3 :

É um prazer conhecê-lo, Professor! Gostava de saber como é que a expansão do Universo foi medida, o que levou à descoberta da energia escura?



Hawking :

É bom estar aqui. A chave para compreender a expansão do Universo está em cada fotão de luz que chega até nós. À medida que o espaço se expande, estica a luz, aumentando o seu comprimento de onda, criando aquilo a que chamamos desvio para o vermelho cosmológico.



Aluno 1 :

Então, quanto mais o espaço se expande, mais desvio para o vermelho vemos?



Hawking :

Exatamente. E medindo o desvio para o vermelho e a distância percorrida pela luz, podemos compreender a história da expansão do Universo.



Aluno 2 :

Mas como é que medimos a distância percorrida pela luz?



Hawking :

Utilizamos algo conhecido como a relação desvio para o vermelho-distância. O desvio para o vermelho diz-nos quanto o espaço se expandiu, e a distância é a quantidade de espaço físico que a luz percorreu.



Quark :

Para seguir a história desta expansão, precisámos de medir diferentes desvios para o vermelho e distâncias. Mas a distância é difícil de medir, especialmente para objetos distantes.



Hawking :

É aqui que entram as velas padrão, objetos cujo brilho real e intrínseco é conhecido. O seu brilho aparente indica-nos a sua distância.



Aluno 3 :

As coisas distantes são mais ténues do que as coisas próximas.



Hawking :

Exatamente. Na década de 1990, duas equipas de cientistas utilizavam os maiores telescópios do mundo para analisar o Universo o mais detalhadamente possível, à procura de um tipo especial de supernovas chamadas supernovas de Tipo Ia. Estas são anãs brancas que explodem com uma massa específica, tornando a sua luminosidade quase uniforme.



Aluno 4 :

Então, sabendo o brilho que deveriam ter, podemos saber a que distância estão?

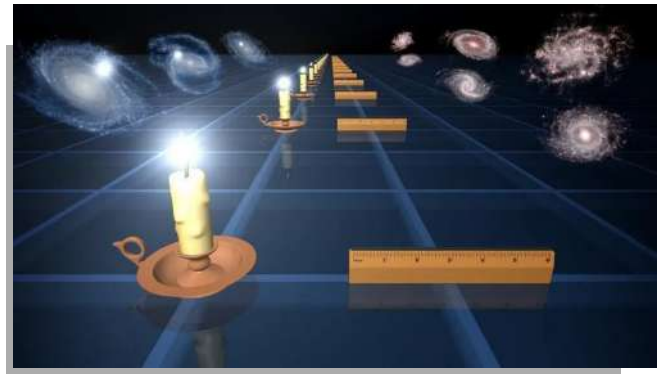


Figura 7: Ilustração artística do conceito de “velas padrão”, que são objectos astronómicos com luminosidade conhecida, o que significa que o seu brilho real é bem conhecido. Comparando a sua luminosidade conhecida com o brilho que apresentam a partir da Terra, os astrónomos podem calcular a sua distância de nós.



Figura 8: Supernova 1994D do tipo Ia explodiu perto da periferia da galáxia NGC4526. A supernova é o objeto brilhante no canto inferior esquerdo. Créditos da imagem: NASA/ESA, The Hubble Key Project Team e The High-Z Supernova Search Team.

Hawking :

Precisamente. Comparando o seu brilho esperado com o brilho que apresentam, podemos calcular a sua distância. E medindo o seu desvio para o vermelho, sabemos quanto o Universo se expandiu desde que a sua luz foi emitida.

Quark :

Mas aconteceu algo inesperado, certo, Professor Hawking?

Hawking :

Efetivamente. As supernovas apareceram mais fracas do que o esperado, sugerindo que estavam mais longe. Isto significava que o Universo estava a expandir-se mais depressa agora do que no passado.

Aluno 1 :

Então, a expansão do universo está a acelerar?

Hawking :

Correto. Esperávamos que estivesse a abrandar devido à gravidade. Mas a descoberta de que está a acelerar levou à conclusão de que uma força desconhecida, a que chamamos energia escura, está a conduzir esta aceleração nos últimos 5 mil milhões de anos.

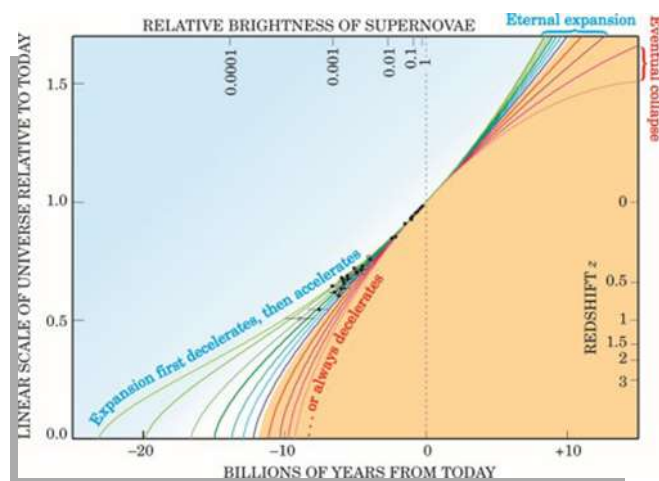
Aluno 2 :

Quer dizer que foi assim que descobrimos a energia escura?

Hawking :

Sim, esta descoberta revolucionária reformulou a nossa compreensão do cosmos e valeu um Prémio Nobel. É um exemplo claro de como o nosso universo nos surpreende continuamente, revelando mistérios mais profundos à medida que o exploramos.

Figura 9. Este gráfico representa a expansão do Universo ao longo do tempo, determinada pela observação de supernovas de Tipo Ia. O eixo horizontal mostra o tempo, com o passado à esquerda e o futuro à direita, e o eixo vertical indica o tamanho relativo do Universo. O ponto onde ambos os eixos se encontram representa a dimensão atual do Universo. As bandas coloridas mostram diferentes modelos de expansão do Universo. Os modelos da região azul sugerem que a expansão do Universo está a acelerar ao longo do tempo devido a uma força misteriosa chamada energia escura ou energia do vácuo. As curvas nesta região mostram diferentes quantidades desta energia, desde muito na parte superior até menos na parte inferior. A região amarela, por outro lado, mostra modelos em que o Universo abrandar sempre à medida que se expande, porque existe muita massa. Nos casos mais extremos, à direita desta faixa, a expansão do Universo chega mesmo a parar e inverter-se, levando a um colapso. Os pontos pretos representam medições reais de supernovas. Comparando o brilho esperado destas supernovas com o brilho que efetivamente apresentam, podemos ver a que velocidade o Universo estava a expandir-se em diferentes momentos. Estas medições sugerem que a expansão do Universo começou por abrandar e depois começou a acelerar, o que é consistente com os modelos da região azul que incluem a energia escura. Créditos da imagem: Perlmutter S., Physics Today.





Laboratório de Ação

Demonstração: Universo em Expansão



Objetivo :

Compreender o conceito de energia escura e o seu impacto no Universo em expansão.



Tempo de Preparação : 5 minutos



Tempo de Atividade : 5 minutos



Materiais Necessários :

- Balões
- Autocolantes redondos pequenos
- Marcadores
- Régua ou fita métrica
- Papel milimétrico



Procedimentos e observações :

- Dividir os alunos em grupos de dois ou três.
- Pedir aos grupos de alunos para encherem os balões o suficiente para ganharem forma, mas não os atar. O balão representa o Universo.
- Dar a cada grupo cinco a dez autocolantes para colocar no balão. Se não houver autocolantes disponíveis, os alunos podem marcar os pontos com um marcador.
- Pedir aos alunos que desenhem uma onda de luz no balão para representar a luz a viajar entre galáxias.
- Os alunos devem medir e registar a distância entre dois autocolantes e duas cristas das ondas que desenharam. Esta medida inicial representa o ponto de partida do Universo deles.
- Peça aos alunos para encherem um pouco mais o balão, ainda sem o atar.

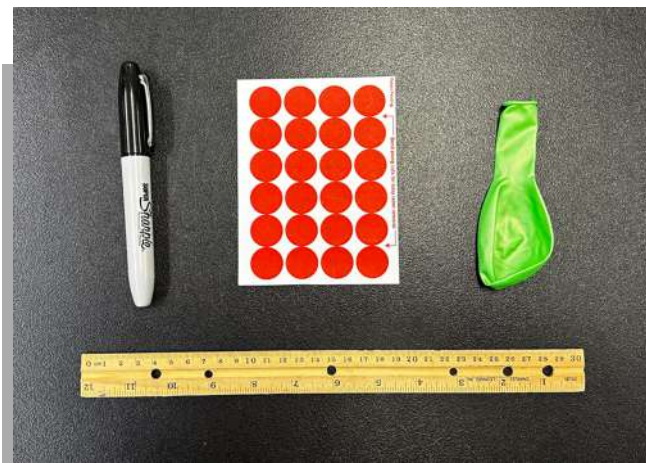


Figura 10: Créditos da imagem: NASA/JPL-Caltech

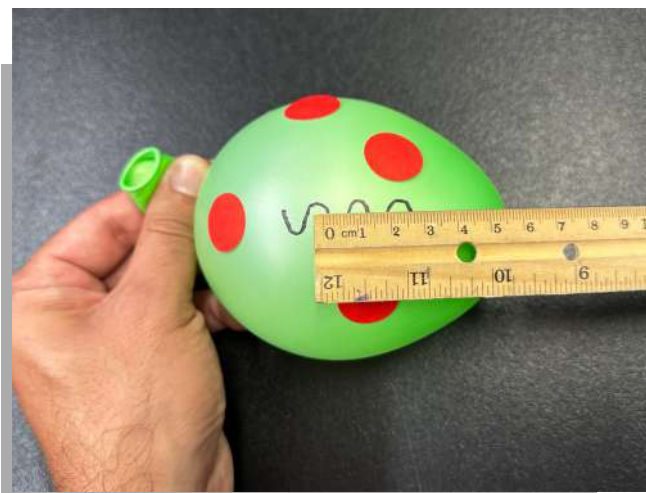


Figura 11: Créditos da imagem: NASA/JPL-Caltech

Devem observar e medir novamente as distâncias entre os mesmos dois autocolantes e as cristas das ondas.

- Os alunos devem continuar este processo, enchendo o balão um pouco mais de cada vez e registrando as suas observações. Devem notar como as distâncias entre os autocolantes (galáxias) e as cristas das ondas (ondas de luz) aumentam à medida que o balão (Universo) se expande.

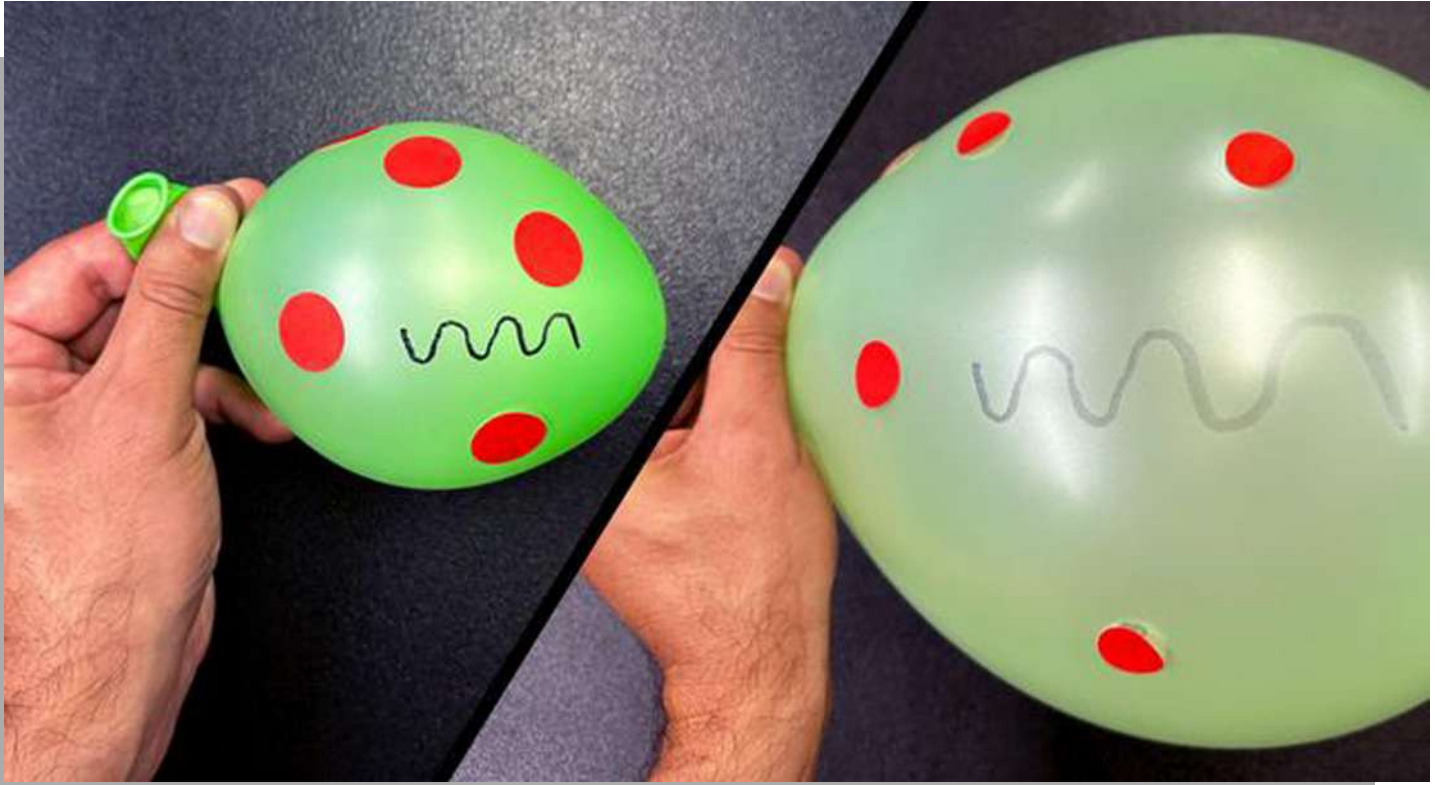


Figura 12: Os alunos utilizam um balão para modelar o Universo em expansão. Créditos da imagem: NASA/JPL-Caltech.



Demonstração e Discussão :

Professor :

Today, we'll demonstrate one of the leading theories about dark energy: that it's a property of space itself.

Aluno 1 :

Como é que vamos fazer isso?

Professor :

Vamos utilizar estes balões como os nossos “Universos”. Quando encherem o balão, reparem como os autocolantes se afastam. Isto simula as galáxias a afastarem-se umas das outras no nosso Universo em expansão. As ondas de luz que traçaram também se esticam, representando o fenómeno do desvio para o vermelho. Não se esqueçam de ser delicados e de evitar rebentar o vosso Universo!

Aluno 3 :

Então, à medida que inflamos mais, as distâncias continuam a aumentar. Isto é como se o Universo estivesse a ficar maior com o tempo?

Professor :

Exatamente! E o aumento do espaço entre os vossos autocolantes é uma forma simples de visualizar como a energia escura pode estar a fazer com que o Universo se expanda mais rapidamente.

Aluno 4 :

Então, a energia escura é como o ar que enche o balão?

Professor :

Precisamente. Pensa-se que a energia escura é uma propriedade do espaço e que, à medida que o espaço se expande, aparece mais energia escura, levando o Universo a expandir-se mais rapidamente. Isto é semelhante a uma ideia que Einstein teve em 1917, chamada constante cosmológica.

Aluno 2 :

O que é que se passou?

Professor :

O Einstein propôs que esta energia misteriosa no espaço contrabalança a gravidade, impedindo o colapso do Universo. Nessa altura, acreditava que o Universo era estático e imutável, e a constante cosmológica parecia explicar esse facto.

 **Aluno 3 :**

Mas o Universo não é estático, certo?

 **Professor :**

Precisamente! Em 1929, Hubble descobriu que o Universo está a expandir-se, o que contradizia a ideia de Einstein de um Universo estático. Este facto fez com que Einstein reconsiderasse a sua constante cosmológica, chamando-lhe mesmo o seu maior erro.

 **Aluno 3 :**

Mas, de certa forma, o 'erro' de Einstein encontrou uma nova vida na nossa compreensão da energia escura.

 **Professor :**

É verdade! Agora, vamos falar de outras ideias. Alguns cientistas pensam que a energia negra pode ser o resultado de partículas virtuais temporárias que aparecem e desaparecem no espaço. Outra ideia é que a energia negra poderia ser algo a que chamamos “Quintessência”, um tipo desconhecido de fluido ou campo de energia dinâmica que atravessa todo o Universo, mas que, de alguma forma, tem o efeito oposto no Universo à energia e à matéria normais.

 **Aluno 1 :**

Há alguma limitação nestas teorias?

 **Professor :**

Os cálculos para estas teorias não correspondem bem às nossas observações. Ou nos dão demasiada energia ou sugerem que a energia escura muda ao longo do tempo, o que não se adequa ao que vemos atualmente no Universo.

 **Aluno 2 :**

Então, ainda estamos a tentar perceber?

 **Professor :**

Sim, e é isso que torna a ciência entusiasmante. Há sempre mais para descobrir e compreender sobre o nosso Universo. Como Albert Einstein disse uma vez, “A coisa mais bela que podemos experimentar é o mistério. É a fonte de toda a verdadeira arte e ciência. Aquele a quem a emoção é estranha, que já não consegue parar para se maravilhar e ficar envolto em admiração, é como se estivesse morto; os seus olhos estão fechados”.



Biblioteca Cósmica



Vídeos :

[The Dark Side Of The Universe – Brian Green](#)

[What Is Dark Energy?](#)

[What is Dark Matter and Dark Energy?](#)

[Unraveling the Mysteries of Dark Energy with NASA's WFIRST](#)

[What is Dark Energy made of? Quintessence? cosmological constant?](#)

[Dark Energy, Cosmology part 2: Crash Course Astronomy](#)

[Will the Universe Expand Forever?](#)

[Why the Universe Needs Dark Energy](#)

[What Does Dark Energy Really Do?](#)

[Neil deGrasse Tyson: What is Dark Matter? What is Dark Energy?](#)

[Mapping the universe: dark energy, black holes, and gravity](#)



Interatividade & Infografias :

[Dark Energy simulation](#)

[Dark Matter and Dark Energy Explained \(infographic\)](#)



Websites & Artigos :

[The Five Ways The Universe Might End](#)

[Different articles and news about Dark Energy](#)

[Four Ways That Our Universe Might End](#)

[Dark Energy, Dark Matter - NASA](#)

[Accelerating the Expansion of the Universe](#)

[Dark Matter and Dark Energy – National Geographic](#)

[Dark Energy: The Biggest Mystery in the Universe](#)



Livro de Texto :

[physics-for-21st-century-dark-energy-online-textbook](#)



Documentários :

[Dark Energy: The Biggest Mystery In The Universe](#)

Most of the Universe is Missing



Quiz :

Dark Energy Quiz

The Mystery of Dark Energy



Glossário

Big Bang: A teoria que descreve a origem do Universo, começando a partir de um ponto singular e expandindo-se ao longo do tempo.

Big Crunch: Um cenário hipotético em que a expansão do Universo eventualmente se inverte, levando a um colapso de volta para uma singularidade.

Big Freeze: Um possível destino do Universo em que este continua a expandir-se até atingir um estado de frio absoluto e as galáxias afastam-se umas das outras.

Big Rip: Um fim teórico do Universo em que a energia escura se torna progressivamente mais intensa, acabando por destruir toda a matéria, desde as galáxias até aos próprios átomos.

Baryons: Partículas como os prótons e os neutrões que, juntamente com os elétrons, formam os átomos e constituem a matéria comum no universo.

Constante Cosmológica: Um conceito introduzido por Einstein, que representa uma densidade de energia constante que preenche o espaço de forma homogênea.

Redshift Cosmológico: O desvio para o vermelho (aumento do comprimento de onda) da luz proveniente de galáxias distantes, indicando que o Universo está em expansão.

Energia Escura: Uma forma misteriosa de energia que está a provocar a aceleração da expansão do Universo.

Matéria Escura: Uma forma invisível de matéria que não emite nem absorve luz, mas exerce efeitos gravitacionais sobre a matéria visível.

Velocidade de Escape: A velocidade mínima necessária para um objeto escapar à atração gravitacional de um corpo massivo.

Galáxias: Grandes sistemas de estrelas, poeira e gás ligados pela gravidade, como a Via Láctea.

Gravidade: A força pela qual um planeta ou outro corpo atrai objetos para o seu centro.

Omega Ω : Um parâmetro cosmológico que representa a razão entre a densidade real do universo e a densidade crítica.

Quintessência: Uma forma hipotética de energia escura, descrita como um fluido ou campo energético dinâmico.

Velas Padrão: Objetos astronómicos, como as supernovas do Tipo Ia, cuja luminosidade é conhecida e que podem ser usados para medir distâncias no Universo.

Supernovae: Eventos explosivos no final do ciclo de vida de uma estrela, especialmente as supernovas do Tipo Ia, usadas na medição das distâncias cósmicas.

Supernova Tipo Ia: Uma subclasse de supernovas que resulta da explosão de uma anã branca num sistema binário.

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – “Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)”, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

