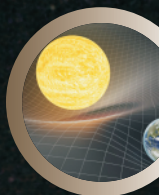


REVISTA DE DIVULGAÇÃO DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS DA NATUREZA

Ano 08 - Nº 32 - Dezembro/2021

AstroNova

**A RELATIVIDADE
DE EINSTEIN**



**O MUNDO DA
IMPRESSÃO 3D**



**A HISTÓRIA DO
NÚMERO π**



**O UNIVERSO INVERTIDO
DA ANTIMATÉRIA**



A INFLUÊNCIA ASTRONÔMICA EM DIFERENTES CULTURAS 

SERIA A ASTROBIOLOGIA UMA CIÊNCIA EMERGENTE? 

ATIVIDADES NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL 

ATIVIDADES NA ESTAÇÃO ESPACIAL TIANGONG 

AGENDA DOS LANÇAMENTOS ESPACIAIS 



Wilson Guerra
Revista AstroNova

EDITORIAL

Final de 2021: graças à Ciência, e não aos setores governamentais, a pandemia de Covid-19 começa a ser superada. Da pesquisa pura à aplicada, literalmente todo o mundo aos poucos retomam as atividades. E quem sabe os astrônomos amadores, como este que vos escreve, podem retornar com as atividades de observações públicas nas praças da cidade!

Nesta perspectiva um pouco mais otimista, iniciamos esta edição com artigo de Camila Franco, mestranda do Observatório Nacional, que nos explica a essência da Teoria da Relatividade de Einstein.

Bruno Nascimento-Dias nos ajuda a refletir sobre aspectos filosóficos e epistemológicos da Astrobiologia, área que tem tudo para marcar o século XXI.

Ricardo Francisco Pereira e Rafael Cândido dão continuidade a suas matérias

da edição anterior, respectivamente sobre impressão 3D e Física de Partículas. Ricardo agora foca em tipos de impressoras e filamentos, enquanto Rafael entra no microcosmo das antipartículas, essa simetria fundamental da Natureza.

Aproveitando as festividades de fim de ano, trago um pequeno artigo sobre como os eventos astronômicos influenciam no pensamento cultural da nossa espécie desde a antiguidade. E se refletem até hoje.

Finalmente, Maico Zorzan traz uma análise muito rica sobre um dos números mais notáveis da Matemática: o π . Das abstrações geométricas para aplicações nas mais variadas áreas, esse intrigante ente matemático está mais presente nas nossas vidas do que pensamos.

Mas antes de tudo, começamos com a agenda de lançamentos espaciais e um resumo das atividades nas estações espaciais Internacional e Tiangong. Uma boa leitura!

Wilson Guerra
Revista AstroNova

EXPEDIENTE

Conselho editorial:

Maico A. Zorzan
maico@astronova.com.br

Rafael Cândido Jr.
rafael@astronova.com.br

Wilson Guerra
guerra@astronova.com.br

Redatores desta edição:

Bruno Nascimento-Dias
Camila Franco
Maico Zorzan
Rafael Cândido Jr.
Ricardo Francisco Pereira
Wilson Guerra

Arte e Diagramação:

Wilson Guerra

Astrofotos:

Bruno Boniconto
Carlos Aparecido Domingues
Fernando Oliveira de Menezes
Ricardo Francisco Pereira

Redes sociais

Facebook/Instagram:

Wilson Guerra

Podcast:

Mateus Leal Castanheira

Twitter/Youtube:

Adriane Casteleira

Website:

Maico Zorzan

Capa:

Cometa C/2021 A1 (Leonard)
Carlos Aparecido Domingues

	A TEORIA DA RELATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN	09
	SERIA A ASTROBIOLOGIA UMA CIÊNCIA EMERGENTE?	17
	O MUNDO DA IMPRESSÃO 3D: IMPRESSORAS E FILAMENTOS	21
	A INFLUÊNCIA ASTRONÔMICA EM DIFERENTES CULTURAS	29
	O UNIVERSO INVERTIDO DA ANTIMÁTERIA	33
	A HISTÓRIA DO NÚMERO π	41

*Feliz Solstício
de Verão* 

PRINCIPAIS LANÇAMENTOS DO TRIMESTRE

EUA

Foguete: LauncherOne (Virgin Orbit)
Conjunto de nanossatélites
Local: espaço aéreo dos EUA, a partir do Cosmic Girl (B-747 modificado)
Data: 22/12/2021

Foguete: Antares (NG)
Nave cargueira Cygnus, com mantimentos e equipamentos para ISS
Local: Mid-Atlantic Regional Spaceport
Data: 19/02/2022

Foguete: Falcon 9 (SpaceX)
Transporter-3, conjuntos de vários satélites de pequeno porte
Local: Cabo Canaveral
Data: 10/01/2022

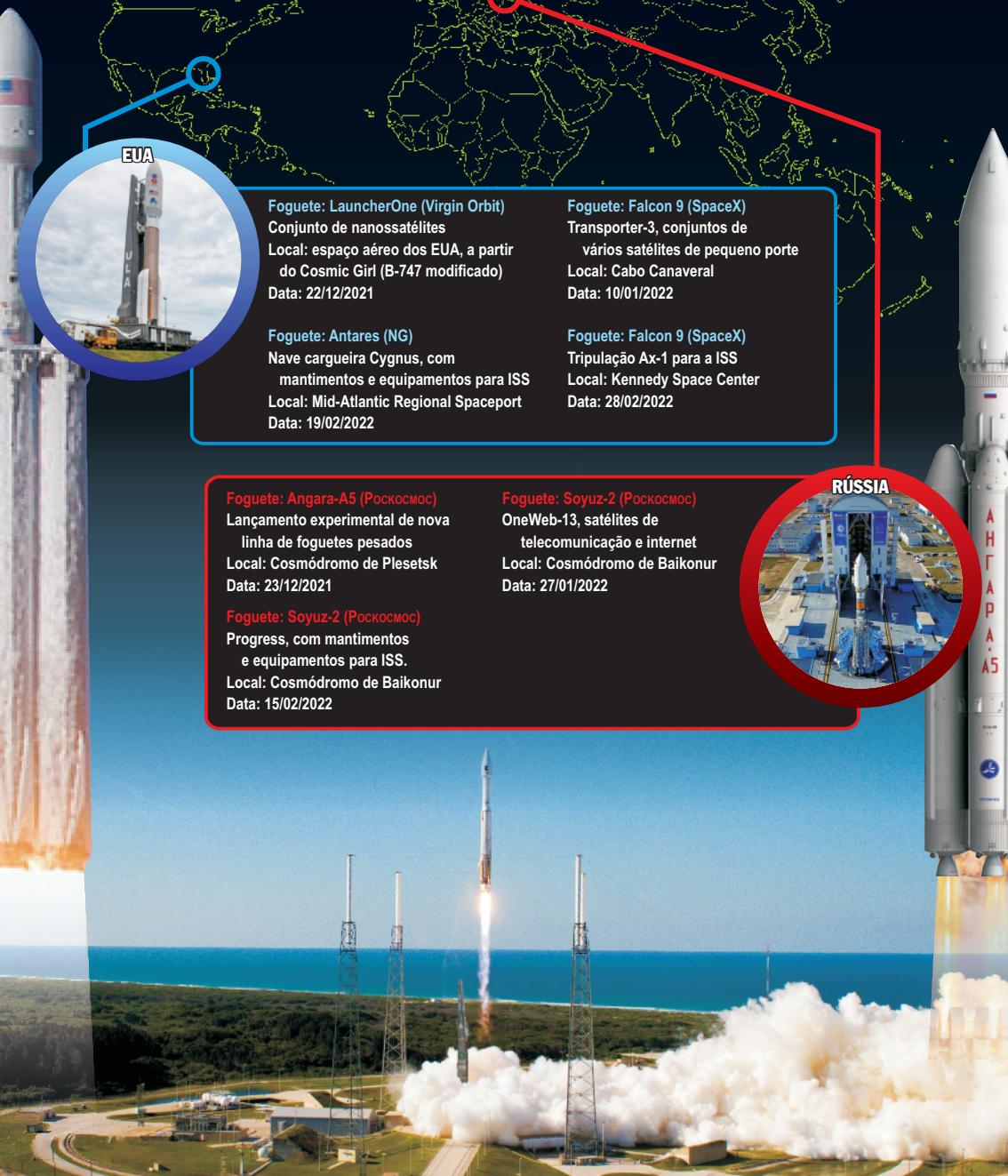
Foguete: Falcon 9 (SpaceX)
Tripulação Ax-1 para a ISS
Local: Kennedy Space Center
Data: 28/02/2022

Foguete: Angara-A5 (Роскосмос)
Lançamento experimental de nova linha de foguetes pesados
Local: Cosmódromo de Plesetsk
Data: 23/12/2021

Foguete: Soyuz-2 (Роскосмос)
Progress, com mantimentos e equipamentos para ISS.
Local: Cosmódromo de Baikonur
Data: 15/02/2022

Foguete: Soyuz-2 (Роскосмос)
OneWeb-13, satélites de telecomunicação e internet
Local: Cosmódromo de Baikonur
Data: 27/01/2022

RÚSSIA



PRINCIPAIS LANÇAMENTOS DO TRIMESTRE

EUROPA



Foguete: Ariane 5 (Ariane Space)
Telescópio Espacial James Webb
Local: espaçoporto de Kourou
Data: 24/12/2021

Foguete: Soyuz-2 (Arianespace)
OneWeb-14, satélites de comunicação
e internet
Local: espaçoporto de Kourou
Data: 22 ou 23/10/2021

ÍNDIA



Foguete: PSLV
Risat-1A, satélite de observação
de recursos da Terra
Local: base de Satish Dhawan
Data: 06/01/2022

Foguete: PSLV
Oceansat-3, satélite de medições
marítimas e oceânicas
Local: base de Satish Dhawan
Data: janeiro/2022

JAPÃO



Foguete: H-2A
Inmarsat 6 F1, satélite de comunicação
Local: centro espacial Tanegashima
Data: 21/12/2021

ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL

Principais atividades - outubro a dezembro/2021

Tripulação atual



Próximas Expedições

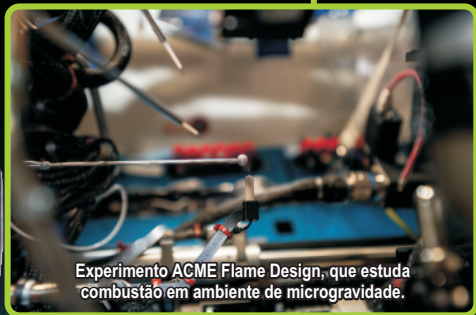
Soyuz MS-21: Roscosmos (18/03/2022)



Ax-1: SpaceX (28/02/2022)



Crew-4: SpaceX (15/04/2022)



Experimento ACME Flame Design, que estuda combustão em ambiente de microgravidade.



Módulo nodal Prichal acoplou-se autonomamente ao laboratório Nauka da ISS.

Estação Espacial Tiangong

Principais atividades - outubro a dezembro/2021

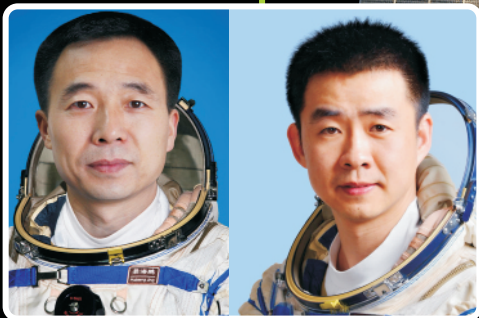
中国载人航天

Tripulação atual



Próximas Expedições

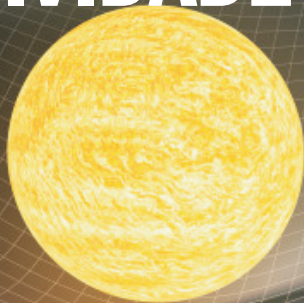
Shenzhou-14: Expedição 03 - 04/2022





Conjunção Lua-Vênus
Astrofotógrafo: Ricardo Francisco Pereira
06/12/2021
Maringá - PR (Brasil)

RELATIVIDADE DE EINSTEIN



BREVES CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS ACERCA DA TEORIA E DE SUAS COMPROVAÇÕES EXPERIMENTAIS

Camila Nascimento Franco
camilafranco@on.br

A teoria da relatividade de Einstein foi uma grande revolução do século XX. Suas previsões vêm sendo confirmadas e validadas a cada novo experimento e descoberta científica, e é inegável que ela possui uma grande importância. Ao apresentar breves descrições históricas relacionadas ao desenvolvimento da teoria e à sua posterior comprovação através de experimentos, este artigo não se propõe a explorar todos os recantos

de tão extraordinário tema, mas aproximá-lo de um leitor não tão profundamente familiarizado com os termos científicos rotineiramente empregados para explicá-lo. Três pontos principais da teoria serão explorados: (i) constância da velocidade da luz, (ii) dilatação temporal e contração espacial e (iii) deformação do espaço-tempo. Uma introdução ao contexto da época será apresentada e algumas simulações serão utilizadas para ilustrar as ideias presentes no texto.

INTRODUÇÃO

A Teoria da Relatividade desenvolvida por Albert Einstein (1879 – 1955) abalou as estruturas da física conhecida até então. A ideia de movimento relativo na mecânica clássica não era algo novo – Galileu Galilei (1564 – 1642) já havia usado esse argumento para refutar as objeções de Ptolomeu acerca do sistema heliocêntrico, mostrando que as mesmas leis são válidas para corpos em repouso ou com velocidade constante (os chamados

referenciais inerciais) [1, 2] –, mas Einstein leva a questão além: seriam as mesmas leis válidas em um sistema eletrodinâmico?

As leis da eletrodinâmica já estavam consolidadas por meio das equações de James Clerk Maxwell (1831 – 1879) desde cerca de 1860. Já se sabia que uma carga em movimento produziria um campo magnético; ao contrário de uma carga em repouso, que apenas produziria um campo elétrico. Mas e se uma espira de fio, estivesse dentro de um vagão com velocidade constante passando através de um ímã gigante? Um observador externo certamente verificaria uma força eletromotriz sendo estabelecida devido à força magnética. Entretanto, um observador que estivesse dentro do vagão não seria capaz de prever essa força magnética, apesar de também obter o mesmo resultado para a força eletromotriz[2, 3].

Coincidência? Einstein diria que não. Em seu artigo publicado em 1905 nos *Annalen der Physik*, o físico afirma que *exemplos de tipo semelhante, e as tentativas falhas de detectar um movimento da Terra relativamente ao 'meio luminoso', levam à conjectura de que não apenas na mecânica,*

mas também na eletrodinâmica, os fenômenos não têm propriedades que correspondam ao conceito de repouso absoluto, mas que em todos os sistemas de coordenadas nos quais as equações da mecânica são válidas, também as mesmas leis da eletrodinâmica e da óptica o são [...]. [4] (tradução nossa)

O 'meio luminoso' a que Einstein se refere é o éter, um meio hipotético, defendido há vários séculos, que permeava todo o espaço. No caso da carga no vagão, segundo essa concepção, apenas o observador externo estaria correto em sua interpretação, já que o movimento da carga deveria ser medido em relação a esse meio privilegiado [2]. Contudo, chega-se a uma inconsistência neste ponto: como assegurar que o observador externo está de fato em repouso em relação ao éter? Em outras palavras, como medir a velocidade da Terra em relação ao éter?

Partindo desses pontos iniciais, o objetivo deste trabalho não é esgotar todos os assuntos associados à teoria da relatividade de Einstein, mas discutir alguns aspectos do tema e torná-los assimiláveis. Por esse motivo, optou-se pela utilização de simulações disponíveis online que reproduzam alguns dos experimentos discutidos e as

ideias expostas. Em adição, o processo histórico é apresentado em seus marcos mais importantes para que o contexto da época seja compreendido.

ÉTER: TER OU NÃO TER? EIS A QUESTÃO

Através das equações de Maxwell, pôde-se determinar a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas viajando no vácuo. Sendo a luz um tipo de onda eletromagnética, a detecção dos 'ventos etéreos' poderia ser realizada através de medidas da velocidade da luz em diferentes direções [2, 3, 5].

Desde a Idade Média, buscava-se provar a existência do éter através de experimentos e, em 1851, Jean Bernard Leon Foucault (1819-1869) e Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819 – 1896) testam a teoria formulada por Augustin Jean Fresnel (1788 – 1827) de que o éter está em repouso nas regiões por ele preenchidas e de que não seria movido pelos corpos que passam através dele (com corpos transparentes moventes, por outro lado, algum arrasto seria sofrido)[6, 7]. Fizeau prossegue com suas pesquisas, dessa vez tentando medir o movimento relativo da

Terra, até que Maxwell dá uma nova pista de como determinar essa velocidade, em 1878, através da obtenção do tempo necessário para que a luz completasse um caminho de ida e volta entre dois pontos, alinhados paralela ou perpendicularmente ao movimento orbital da Terra [6]. Neste cenário, Albert Abraham Michelson (1852 – 1931) começa a aprofundar seus estudos em óptica e a desenvolver um interferômetro capaz de determinar a velocidade da luz em diferentes direções.

Interferômetro de Michelson-Morley

O interferômetro de Michelson-Morley é composto por dois espelhos totalmente refletores (E1 e E2), um espelho parcialmente refletor (E) e uma fonte de luz monocromática, como representado na figura 1.

Ao atingir a lâmina, parte do feixe de luz é refletido em direção ao espelho E1, enquanto outra parte é transmitida ao espelho E2. Os feixes, então, são refletidos e retornam pelo mesmo caminho, passando novamente pela lâmina, chegando ao plano de observação (O). A intenção dessa montagem era

verificar se havia alguma diferença na rapidez ao longo dos caminhos quando o interferômetro era posicionado paralela ou perpendicularmente ao movimento da Terra – a ideia era que a luz teria uma velocidade máxima quando estivesse na mesma direção e sentido do éter, e uma velocidade mínima caso contrário [2, 5, 8].

Usando uma simulação [9], é possível observar o que acontece quando a fonte de luz é ativada. Considerando a existência do éter, o resultado esperado por Michelson e Edward Morley (1838 – 1923) apresentava uma diferença de tempo no percurso, como pode ser observado na figura 2.

Quando as ondas que vêm do espelho A (cor azul) e do espelho B (cor vermelha) se

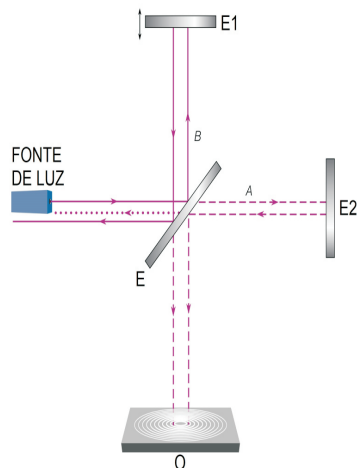


Figura 1 Interferômetro de Michelson-Morley
Fonte: Encyclopaedia Britannica (adaptado)

recombinam no plano de observação, a expectativa era de que houvesse uma defasagem entre elas (inclusive, a montagem experimental podia medir diferenças menores que o esperado). Porém, após várias tentativas, a dupla constatou que não havia

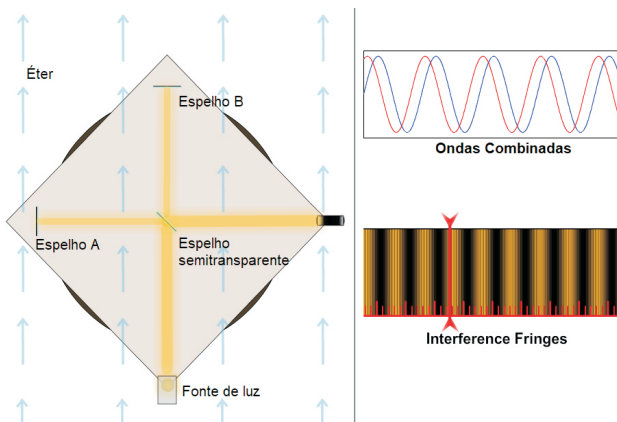


Figura 2 Resultado esperado com rotação de 0° em relação ao éter.
Fonte: King's Center for Visualization in Science (adaptado)

nenhuma diferença nos tempos de percurso da luz e, consequentemente, a velocidade da luz é constante [2, 5].

Em 1889, George Francis FitzGerald (1851 – 1901), propôs que ocorria um encurtamento no aparelho na direção do movimento e que tal encurtamento provocava o resultado nulo do experimento; em 1892, Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928) calcula esse fator, porém, nenhum dos dois cientistas possuía uma teoria capaz de explicá-lo [5]. Einstein chega a esse mesmo fator de encurtamento em seus postulados da teoria especial da relatividade, desconsiderando a existência de um meio privilegiado.

ESPAÇO E TEMPO SÃO RELATIVOS

Para Einstein, a existência de um éter era algo desnecessário; todo movimento é relativo e não há por que adotar um sistema de referência absoluto. A implicação direta disto era uma

modificação nas transformações de Galileu, começando pelo tempo.

Galileu considerou que os tempos medidos entre dois eventos por observadores em sistemas de referência distintos, que se movem uniformemente um relativamente ao outro, seriam iguais. Einstein diz que não. Para ele, dois eventos em posições distintas são simultâneos se sinais luminosos emitidos em um tempo t (em um ponto x) e em um tempo t' (em um ponto x') atingirem simultaneamente o ponto médio entre as duas posições [5, 8, 10, 11]. Dessa forma, dois eventos que são simultâneos em um referencial podem não ser em outro e os observadores em referenciais diferentes podem discordar sobre qual evento ocorreu primeiro; apesar disso, ambos serão capazes de chegar a um mesmo valor para a velocidade da luz [10, 11].

Dilatação temporal e contração espacial

Considere um observador

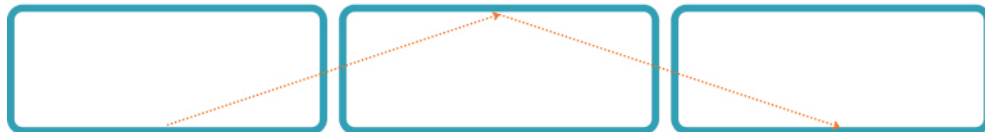
dentro de um vagão que se movimenta uniformemente observando um feixe de luz que é refletido entre dois espelhos (um no teto e outro no chão); um segundo observador está em repouso do lado de fora. Se lhes fosse pedido que determinassem o tempo que o feixe levou para percorrer todo o caminho de ida e volta entre os espelhos, surpreendentemente, as respostas seriam diferentes!

Para o observador dentro do vagão (A), o feixe se movimenta apenas verticalmente. Sendo l a distância entre os espelhos, o tempo necessário seria $t_A = 2l/c$ [2, 10]. Para o observador externo (B), o feixe além de se mover verticalmente, também está se movendo na horizontal, conforme mostra o esquema da figura 3.

Portanto, também usando considerações geométricas, o tempo será [2, 10]

$$t_A = \frac{t_B}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

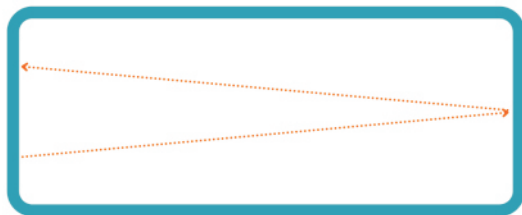
Figura 3 Observador em um referencial em movimento relativo ao feixe de luz (elaborado pela autora).



onde v é a velocidade relativa entre os dois observadores. Daí, para o observador B o tempo entre os dois eventos é maior que para o observador A. O tempo t_A é chamado de tempo próprio e esse efeito é dilatação temporal. Se os tempos não são iguais, o que se pode dizer das distâncias percorridas? Analisando uma situação similar, imagine que os observadores carregam consigo réguas idênticas e que o feixe passa a ser emitido de uma das extremidades do vagão de comprimento L , até um espelho na outra extremidade.

Para o observador A, a distância percorrida pelo feixe será $L_A = ct_A/2$. O observador B verá algo ligeiramente distinto, dado por [2, 10]

$$L_B = \frac{ct_B}{2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (2)$$



Observador A

Figura 4 Distância percorrida por um feixe de luz para o observador A (elaborado pela autora).

Logo, o observador B medirá um vagão com comprimento menor que o medido pelo observador A. Note que isso acontece pelo movimento: enquanto o feixe está percorrendo a distância até o espelho e sendo refletindo, a extremidade do vagão está se aproximando dele, resultando em uma contração espacial verificada por B. Visualmente, objetos sujeitos à contração espacial não parecerão deformados ou achatados, ao contrário do que é mostrado em algumas ilustrações. ‘Ver’ e ‘observar’, aqui, têm o sentido de ‘medir’.

Velocidade é definida como uma razão entre uma distância percorrida e o tempo necessário para percorrê-la. Por isso, por maior que seja o tempo medido por um observador em um referencial, ainda assim ele encontrará o mesmo valor para a velocidade da luz encontrado por um outro

observador em um referencial diferente, porque a distância percorrida pelo feixe entre os dois pontos também foi maior.

Dcaimento de múons

Múons são partículas instáveis que decaem em elétrons, pósitrons e neutrinos e se originam dos raios cósmicos que colidem com as partículas existentes na atmosfera externa terrestre, produzindo um chuveiro de partículas subatômicas secundárias [12–14]. O tempo de meia-vida deles é de $2,2 \times 10^{-6}$ s aproximadamente. Suponha que um número N de múons, a uma velocidade v , é detectado no topo de uma montanha com uma altura h (em relação ao nível do mar) durante um período de tempo t . Em seguida, uma nova contagem é feita na base dessa montanha, no mesmo intervalo de tempo t . Múons obedecem à lei do decaimento, então um número menor deles seria esperado. De fato, isso ocorre, mas não como previsto pela teoria [12, 15].

O decaimento de múons é uma comprovação fascinante da dilatação temporal prevista por Einstein. Para essas partículas, o intervalo de tempo entre o topo e a base

da montanha é menor que o medido por um observador fixo no solo, e isso é devido ao fato de que eles se deslocam a uma velocidade muito próxima à da luz (cerca de 0,998c). O resultado dessa diferença é que mais múons são detectados na segunda contagem, simplesmente porque no ‘relógio’ deles se passou um tempo menor e, por isso, eles puderam percorrer uma maior distância antes de decair [12, 13].

Um múon com velocidade $v=0,1c$ (10% da velocidade da luz), tem um tempo de vida $t=2,2 \times 10^{-6}s$; quando a velocidade é cerca de 99% da velocidade da luz, o tempo

passa a ser $t=15,6 \times 10^{-6}s$, cerca de sete vezes maior, como pode ser visto com o auxílio de uma simulação de um acelerador de partículas [16]. Logo, o tempo de vida do múon aumenta com a sua velocidade.

Em 2021, uma nova descoberta surpreendeu cientistas ao redor do mundo. Durante um experimento do *Fermi National Accelerator Laboratory* (Fermilab) com o objetivo de testar as previsões do Modelo Cosmológico Padrão através da análise da precessão de múons submetidos a um campo magnético, foram encontrados indícios de que ocorrem mais interações entre os múons e as partículas decorrentes da flutuação do vácuo do que se previa inicialmente, indicando que ainda não se sabe completamente como as interações entre estes entes altamente energéticos acontecem [17].

DEFORMAÇÃO DO ESPAÇO-TEMPO

Imagine uma pessoa com uma lanterna em uma caixa em queda livre em um campo gravitacional constante. Por algum estranho motivo, essa pessoa resolve acender uma

lanterna durante a queda e observar o que acontece. Como esperado, ela vê a luz seguindo uma trajetória retilínea de um ponto ao outro. Agora, suponha que há uma outra pessoa no solo observando a queda da caixa. Quando a lanterna é acesa, o que ela enxerga não é uma linha reta, mas uma parábola. O que causou isso? O campo gravitacional! [8, 15]

Quando Einstein apresenta a teoria geral da relatividade, a relação entre espaço, tempo e massa toma um novo rumo: espaço e tempo deixam de ser completamente independentes e passam a constituir o espaço-tempo, que é afetado pela matéria [13]. O que diferencia as teorias da relatividade especial e geral é a introdução da aceleração nesta última, tornando-a aplicável a casos em que não é possível desprezar os campos gravitacionais [18]. Em contraste com a gravitação newtoniana, o espaço deixa de ser rígido e descrito pela geometria de Euclides e passa a ser distorcido de acordo com a intensidade do campo gravitacional [8, 18]. É essa deformação que causa a aceleração de um corpo próximo, que passa a se movimentar de acordo com

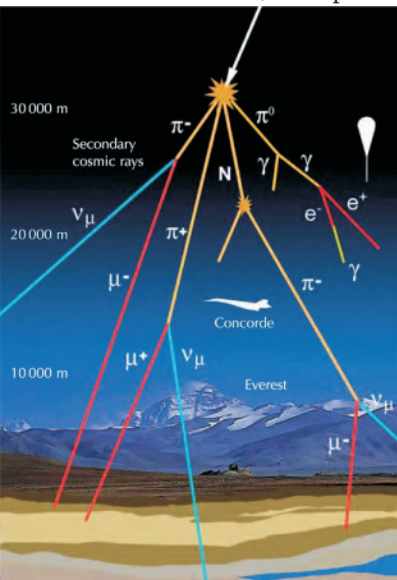


Figura 5 Formação de mésons e múons na atmosfera. Fonte: www.scienceinschool.org



Figura 6 População reunida para presenciar o eclipse de 1919 em Sobral.

Fonte: Fapesp - <https://revistapesquisa.fapesp.br/quando-a-luz-se-curvou/>

a curvatura do espaço-tempo onde ele está inserido. Um exemplo é a deformação espaço-temporal causada pela Terra, que faz com que a Lua se mantenha orbitando à sua volta [19].

Um eclipse ocorrido no ano de 1919 em Sobral, cidade do interior cearense, comprovou que a teoria de Einstein estava correta. Os resultados da expedição realizada na cidade comprovaram as previsões do físico através da observação do desvio sofrido pela luz ao passar por um corpo massivo [15, 18, 20].

Ondas gravitacionais

Com grandes campos gravitacionais, vêm grandes encurvamentos; e, no limite,

existem os buracos negros, estruturas tão densas e que provocam uma deformação tão grande no espaço-tempo, que a luz que os alcança não consegue escapar[21]. Foi graças a um par deles que em 2016 as ondas gravitacionais foram detectadas diretamente pela primeira vez [22]. Essas ondas são consequência dos reajustes feitos no espaço-tempo para acomodar uma massa que se movimenta sobre ele [8].

O grande obstáculo enfrentado nas primeiras tentativas de detecção é que essas ondas são muito mais fracas que as eletromagnéticas, e apenas uma evidência indireta da presença delas foi encontrada em 1974, por

meio de um pulsar orbitando uma estrela de nêutrons [23]. Até que, usando um interferômetro de Michelson modificado, cientistas da colaboração LIGO-Virgo conseguiram detectar as fracas oscilações das ondas gravitacionais. A presença dessas ondas foi revelada quando uma variação ínfima no comprimento dos braços provocou uma alteração na diferença de fase entre os feixes de luz dos *lasers* [22, 23]. Essa foi mais uma comprovação de uma previsão da teoria da relatividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ciência é feita de acertos e (muitos) erros – e é isso que a torna bela. Certezas

absolutas não geram reflexões e, como consequência, não geram revoluções. Lorde Kelvin afirmou que a Física estava concluída, restando apenas algumas nuvens no horizonte. Que bom que ele estava errado. Einstein desempenhou um papel de grande relevância na ciência ao trazer novas discussões e suas contribuições impactaram as estruturas rígidas das certezas absolutas, além de trazer novas perguntas (algumas ainda sem resposta).

Seria irresponsabilidade tentar esgotar tão vasto assunto em tão poucas linhas. Todavia, torná-lo mais simples e com linguagem mais acessível aproxima a ciência e a sociedade, evitando que equívocos conceituais se perpetuem e que a visão de uma física inalcançável e hermética prevaleça – afinal de contas, ela está presente em incontáveis fenômenos que ocorrem todos os dias.

Partículas, velocidade da luz e buracos negros parecem tópicos de menor interesse em um cenário ordinário, mas eles compõem algo fundamental: o entendimento de qual posição a humanidade ocupa em um Universo que existe há bilhões de anos e,

indo além, a busca por saber qual posição a humanidade ocupará em um futuro distante (*dependendo do referencial*).

Camila Nascimento Franco é graduada em Física (licenciatura) pelo Instituto Federal Fluminense e mestranda em Astronomia pelo Observatório Nacional.

Referências:

- [1] H. M. Nussenzveig, Curso de Física Básica (Blucher, São Paulo, 2013), v. 1.
- [2] D. J. Griffiths, Eletrodinâmica (Pearson Addison Wesley, São Paulo, 2011).
- [3] P. A. Tipler, R. A. Llewellyn, Física Moderna (LTC, Rio de Janeiro, 2014).
- [4] A. Einstein, Annalen der Physik 17, 891-921 (1905).
- [5] H. M. Nussenzveig, Curso de Física Básica (Blucher, São Paulo, 2014), v. 4.
- [6] R. de A. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física 29, 52-80 (2012).
- [7] J. Stachel, Revista Brasileira de Ensino de Física 27, 5-9 (2004).
- [8] P. G. Hewitt, Física conceitual (Bookman, Porto Alegre, 2015).
- [9] MICHELSON-MORLEY EXPERIMENT. In: King's Center for Visualization in Science. King's University. Disponível em: <http://www.kcvs.ca/details.html?key=michelsonMorley>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- [10] R. Eisberg, R. Resnick, Física quântica (Elsevier, Rio de Janeiro, 1979).
- [11] A. Einstein, Revista Brasileira de Ensino de Física 27, 37-61 (2005).
- [12] S. T. Thornton, J. B. Marion, Dinâmica clássica de partículas e sistemas (Cengage Learning, São Paulo, 2016).
- [13] D. Perlov, A. Vilenkin, Cosmology for the curious (Springer-Verlag, New York, 2017).
- [14] K. R. Lang, Essential Astrophysics (Springer-Verlag, New York, 2013).
- [15] C. Keeton, Principles of Astrophysics (Springer-Verlag, New York, 2014).
- [16] RELATIVISTIC TIME DILATION IN MUON DECAY. In: Wolfram Demonstrations Project. Wolfram Research. Disponível em: <https://demonstrations.wolfram.com/RelativisticTimeDilationInMuonDecay/#popup1>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- [17] B. Abi, T. Albahri, S. Al-Kilani, D. Allspach, L. P. Alonzi, A. Anastasi, A. Anisenkov, F. Azfar, K. Badgley, S. Baeßler et al. Physical Review Letters 126 (2021).
- [18] K. de S. O. Filho, Caderno Brasileiro de Ensino de Física 27, 698-788 (2010).
- [19] SPACETIME CURVATURE DUE TO THE EARTH-MOON SYSTEM. In: Wolfram Demonstrations Project. Wolfram Research. Disponível em: <https://demonstrations.wolfram.com/SpacetimeCurvatureDueToTheEarthMoonSystem/>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- [20] J. C. T. de Oliveira, Mens Agitat 14, 82-86 (2019).
- [21] J. E. Steiner, Caderno Brasileiro de Ensino de Física 27, 723-742 (2010).
- [22] B. P. Abott, R. Abott, T. D. Abott, M. R. Abernathy, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, T. Adams, P. Adesso, R. X. Adhikari et al. Physical Review Letters 116 (2016).
- [23] A. Fraknoi, D. Morrison, S. C. Wolff, Astronomy (OpenStax, [S.I.], 2016).

SERIA A ASTROBIOLOGIA UMA CIÊNCIA EMERGENTE? UMA PERSPECTIVA ATRAVÉS DA FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS

Bruno Nascimento-Dias

bruno.astrobio@gmail.com

A Astrobiologia é definida, conforme Blumberg (2003), como a área que busca por informações que tentam elucidar questões sobre a origem, evolução e distribuição da vida no Universo. Segundo Corrêa et al. (2010), durante muito tempo essas questões não eram consideradas de cunho científico. A Astrobiologia até pouco tempo atrás, de acordo com D'Ischia et al. (2019), transmitia a impressão geral, de não ser inclusive uma área de pesquisa, pois baseava-se em análises teóricas e especulações ao invés de

evidências experimentais sólidas.

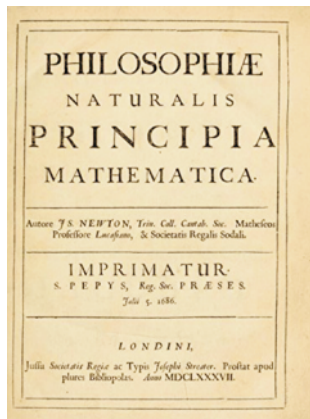
No entanto, apesar da Astrobiologia ser uma área recente, o interesse em haver possivelmente muitos outros planetas com vida não têm sido exclusivo do tempo atual. O cardeal alemão Nicolau de Cusa sugeriu no século XV que existiam outros planetas em torno de outras estrelas além do Sol. Ele escreveu que: “o Sol é uma estrela como outras estrelas, tal como a Terra não é o centro do universo, não está em repouso nem seus pólos são fixos. Os corpos celestes não são estritamente esféricos, nem suas órbitas

circulares”.

Posteriormente, o frade dominicano italiano do século XVI, Giordano Bruno, argumentou que todas as estrelas eram, na verdade, sóis distantes cercados por seus próprios planetas, além de afirmar que o universo é infinito e que não poderia ter um centro (Gustafson, 2020). Em 1685, o autor francês Bernard le Bovier de Fontenelle publicou *Conversations on the Plurality of Worlds*, escrevendo não em latim, que era comum para os estudiosos da época, mas em francês, pois seu objetivo era tornar as ideias acessíveis à cultura popular (Fontenelle

e Glanvill, 1688).

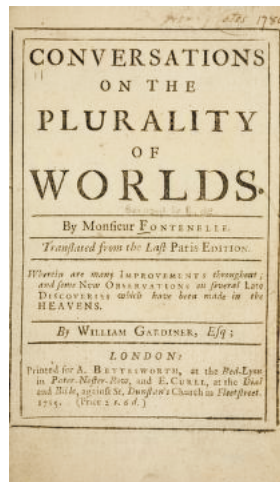
Dessa forma, vale destacar que na Antiguidade, de acordo com D'Ischia et al. (2019), as questões astronômicas da época e os métodos usados para formulá-las e respondê-las estavam claramente dentro do reino da filosofia. No entanto, ainda conforme D'Ischia et al. (2019), isso mudou principalmente no século dezesseis, quando Tycho Brahe transformou a astronomia em uma ciência empírica moderna, formulando - em princípio - hipóteses testáveis, a partir de observações sistemáticas do céu. Outro exemplo, segundo Schwartzman (2001), foi dado pela compreensão harmoniosa de Sir Isaac Newton (1643 - 1727) sobre o Universo a partir da observação



Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, (1687)

empírica e estruturação matemática, posteriormente, expostas em sua obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (5 de julho de 1687) - outras duas edições foram publicadas em 1713 e 1726.

Dessa forma, essas observações eventualmente levaram à visão moderna do sistema solar e, finalmente, à rejeição da visão aristotélica do mundo clássico. A postura aqui chamada de aristotélica parte do pressuposto de que as leis da natureza podem ser conhecidas por uso exclusivo da razão humana. Em oposição a isso, Dingle define essa nova “visão científica” como uma postura que se desenvolve da seguinte forma: “... o primeiro passo no estudo da Natureza deve ser o critério da observação, nenhum princípio geral deve ser aceito o qual não seja derivado desta fonte por indução” (Dingle, 1937, p. 784). Ainda conforme Dingle, no tocante a essa questão “... a base da ciência deve ser observação ou invenção.” (Dingle, 1937, p. 786). De forma ainda mais enfática, segundo Mayr (1982), pesquisas desenvolvidas de maneira descritiva ou apenas através do reconhecimento de



Diálogos sobre a Pluralidade dos Mundos, 1688.

qualidade, não são ou não devem ser consideradas como áreas científicas.

De acordo com Schwartzman (2001), a ciência passou a ser vista como um caminho mais preciso que a filosofia para compreender melhor a relação entre homem e natureza. Ainda segundo Schwartzman (2001), essa nova *Weltanschauung* (“visão científica”), passou a fazer parte da transformação social, econômica e política. Desde então, a exploração do espaço foi localizada claramente no reino das ciências naturais (D'Ischia et al., 2019 e Schwartzman, 2001).

Atualmente, embora a Astrobiologia esteja

consolidada como área de pesquisa, ainda existe um grande questionamento que emerge no tocante de ela pode ser considerada uma ciência (D'Ischia et al., 2019), principalmente, pela falta de definição de seu objeto de estudo (Rodrigues et al., 2016). No entanto, vale destacar que, segundo Thomas Kuhn (1978), de tempos em tempos diversas mudanças e revoluções científicas se desenrolam para que os paradigmas científicos se transformem. De acordo com Koyré (1957), o quadro de referências pode e deve ser substituído do seu pensamento atual quando tais processos acontecem. Destarte, algo considerado como não científico ontem, pode ser uma ciência emergente amanhã.

Assim, diante deste cenário histórico e por meio de uma perspectiva da Filosofia das Ciências, “como” e “quando” surgem uma ciência, quais revoluções científicas e



Nicolau de Cusa, século XV.

filosóficas a tornariam apta a ser aceita como ciência? Como essas mudanças se relacionam com a própria definição do que é Astrobiologia e as questões epistemológicas e metafísicas específicas desta área de conhecimento? Seria correto afirmar que a Astrobiologia poderia ser aceita como Ciência a partir de avanços em sua capacidade para responder questões centrais de sua área de pesquisa, mesmo sem que haja uma definição de seu objeto de estudo “O que é vida”? Houve algum tipo de mudança no objeto de estudo da Astrobiologia e suas questões principais, desde sua origem até os dias atuais?

Essas são análises que precisam ser levantadas e avaliadas com um cuidado minucioso. Por fim, termino não com uma conclusão e tão pouco com uma afirmação, mas com uma pergunta provocativa “Seria possível afirmar que a Astrobiologia é uma ciência emergente?”

Bruno Nascimento-Dias é graduado em Física (Monash University/FTESM), com doutorado em Física (UFJF).

Referências:

D'ISCHIA, Marco et al. Astrochemistry and astrobiology: Materials science in wonderland?. International journal of molecular



Tycho Brahe fez as medidas diretas de posições planetárias mais precisas de sua época.

sciences, v. 20, n. 17, p. 4079, 2019.

DINGLE, H. Modern Aristotelianism. Nature 139, 1937. p. 784. em português: Scientiae Studia 3, 2005. p. 249.

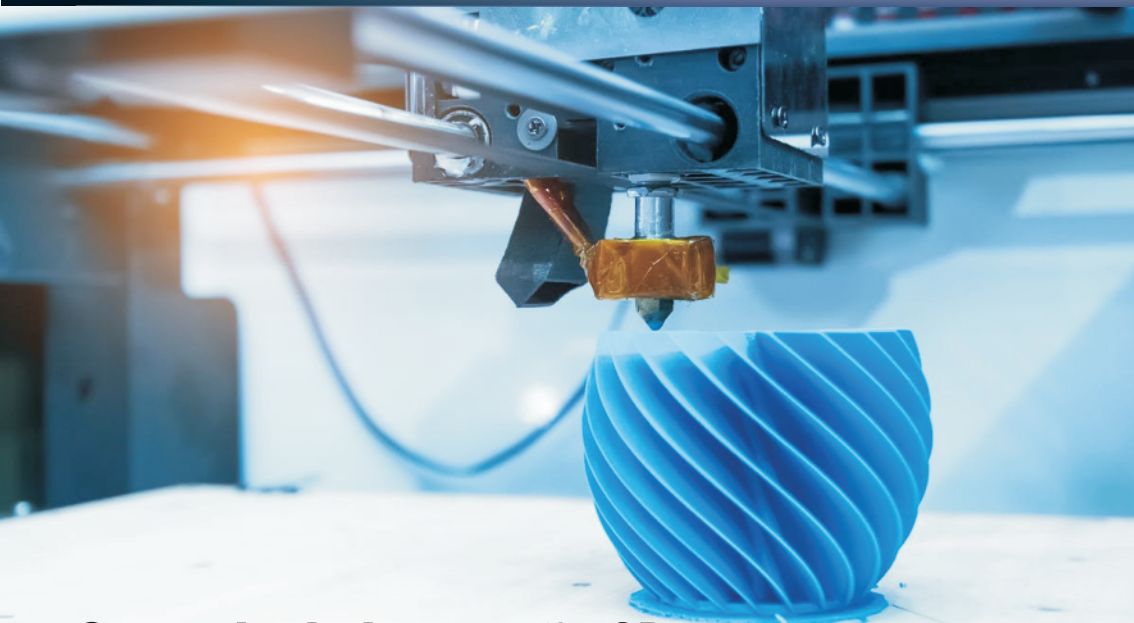
GUSTAFSON, L. SETI e a Grande História: Desafio e Extensão. Tradução de Daniel P. Barreiros. Journal of Big History, IV(2); 32 - 45. 2020

Plurality of worlds written in French by the author of the Dialogues of the dead; translated into English by Mr. Glanvill. Fontenelle, M. de (Bernard Le Bovier), 1657-1757., Glanvill, John, 1664?-1735. London: Printed for R. Bentley and S. Magnes, 1688. <https://quod.lib.umich.edu/e/eebo/A39871.0001.001?view=toc>, último acesso em, Dezembro 18, 2019

Nicholas of Cusa, Catholic Encyclopedia, <https://www.catholic.org/encyclopedia/view.php?id=8455>, ; Nicholas of Cusa (1401—1464); também é possível encontrar em Internet Encyclopedia of Philosophy (IEP), <https://iep.utm.edu/nicholas/> H4



Nebulosa Roseta
Astrofotógrafo: Bruno Boniconro
03/12/2021
Maringá - PR (Brasil)



O mundo da impressão 3D

IMPRESSORAS 3D E FILAMENTOS

Ricardo Francisco Pereira
ricardo@astronova.com.br

No primeiro texto dessa série “O mundo da impressão 3D: Aplicações” publicado na edição passada da Revista Astronova (Ano 8, Nº 31, Setembro/2021) foi apresentado um pouco das aplicações e tipos diferentes de impressões 3D com o objetivo de fazer os leitores entenderem o potencial que a impressão 3D terá em nossas vidas. O objetivo original era escrever 3 textos, mas devido a quantidade de coisas que eu preciso apresentar para que você leitor consiga entender

o que é a impressão 3D e como fazer as impressões, essa série terá agora 4 textos.

Para começar, é preciso que vocês entendam um pouco sobre o tipo de impressoras 3D que eu trabalho e como é o processo básico da impressão. A partir de agora, sempre que falarmos de impressoras 3D, estamos nos referindo a equipamentos não profissionais ou básicos, ou seja, impressoras que você pode comprar e ter em sua casa a preços razoavelmente acessíveis. Para que esse texto não fique muito chato, com muitas coisas, não entrarei em

detalhes na questão de valores dos diferentes tipos de impressoras, mas só para ter alguma noção, uma boa impressora 3D das mais populares, já pode ser comprada por entre 1.800 e 2.000 reais no Brasil. Quando tem promoções, esses valores chegam a cair para a faixa dos 1.500 e 1.700 reais.

O princípio básico de toda impressão 3D é a ação de transformar um objeto tridimensional digital em um objeto tridimensional real por meio de um processo chamado de Manufatura Aditiva onde o

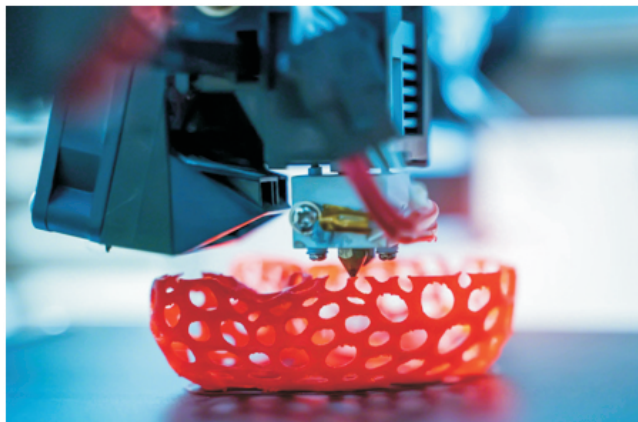


Imagem 1: Peça sendo impressa por meio do processo de Manufatura Aditiva.

objeto vai sendo construído por meio da adição de material por camadas, obviamente, tudo a ser impresso precisa ser modelado em softwares adequados para criar objetos que possam ser impressos e existem muitas formas diferentes de como fazer isso e as aplicações disso são imensas.

Quero destacar algo bem importante e que as vezes as pessoas confundem, a Modelagem 3D e a Impressão 3D são duas coisas completamente diferentes, em parte estão interligadas, mas são diferentes. Você não consegue realizar uma impressão 3D se você não tiver um modelo 3D, mas nem todo modelo 3D é usado em impressão 3D. Para fazer uma impressão, ou você primeiro faz o modelo e depois imprime ou

você precisa achar um modelo para baixar ou comprar na internet e depois imprimi-lo. Eu não sei fazer Modelagem 3D, então tudo que eu imprimo vem de modelos 3D obtidos em portais que disponibilizam, já até comprei alguns poucos, mas a esmagadora maioria que imprimir são modelos gratuitos que eu baixei em portais como o Thingiverse,

Cults 3D e MyMiniFactory.

Os tipos básicos de impressoras que você consegue comprar são impressoras do tipo SLA (Stereolithography Apparatus, na tradução: Aparato de Stereolitografia) ou FDM (FusedDepositionModelin, na tradução: Modelagem de Deposição Fundida).

Começarei com as impressoras do tipo SLA ou popularmente conhecida como impressora de resina, como não tenho esse tipo de impressora, não tenho experiência para dar muitos detalhes sobre esse tipo de impressora.

Essa impressora tem um recipiente onde é depositado uma resina líquida, cujo termo mais técnico é Fotopolímero Curável. Esse líquido, ele cura (endurece) quando é aplicado nele uma luz ultravioleta (luz UV). No fundo do recipiente que fica

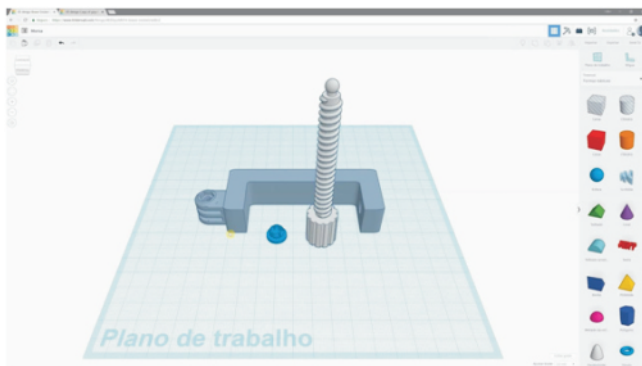


Imagem 2: Modelos digitais sendo criados em plataformas para criação de Modelos 3D.

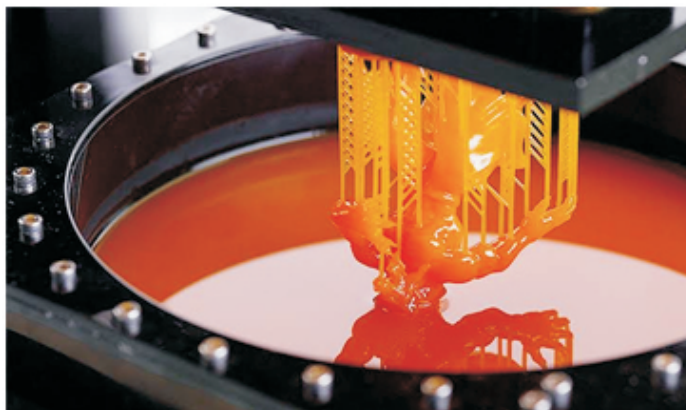


Imagem 3: A esquerda, uma impressora 3D de resina e na direita, uma peça sendo impressa.

o líquido, tem uma tela do mesmo tipo que se tem nos smartphones e tablets, mas essa tela deixa passar só a luz UV, então essa luz cura uma camada inteira da peça, assim, camada por camada a peça vai sendo produzida (ver imagem 3).

As principais características das impressoras de resina é a grande qualidade (resolução) das peças, mas em contrapartida, o volume de impressão (tamanho) da peça, é bem pequeno comparado com as impressoras FDM. O processo do pós-impressão também necessita de bastante cuidados, por exemplo, é necessário uso de luvas e máscara para manusear a resina e depois da peça ter sido impressa, ela precisa ser lavada com álcool isopropílico ou álcool de cereais e receber um novo processo de cura, agora

definitivo, com Luz UV, então é necessário o uso de uma lâmpada de luz UV ou a peça ser deixada um tempo na luz do Sol. A impressora também precisa ser limpa depois de todo o processo e na maioria das resinas, há um “mal cheiro” durante o processo de impressão, tanto que é altamente recomendado que se deixe a impressora em um lugar muito arejado para ela funcionar.

Nas impressoras FDM, que são as que eu trabalho, em essência, um filamento de material plástico (termoplástico) de 1,75 mm de diâmetro é derretido e depositado em camadas para criar o objeto.

Existem vários tipos diferentes de impressoras do tipo FDM, como as impressoras Cartesianas, Delta e CoreXY, com cada tipo tendo suas

características, assim como vantagens e desvantagens.

As impressoras cartesianas básicas são as mais comuns dentre as vendidas e ela tem 3 motores de passo (Um motor de passo é um tipo de motor elétrico usado quando algo tem que ser posicionado muito precisamente ou rodado de um ângulo exato. Fonte Wikipedia), um para cada eixo de movimentação, um para o eixo X, um para o eixo Y e outra para o eixo Z (eixo

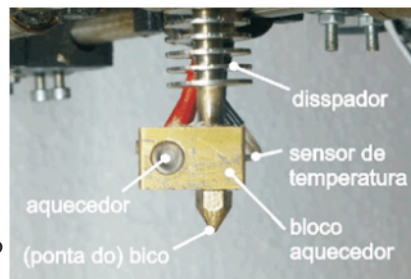


Imagem 4: Estrutura da cabeça de impressão (hot end) de uma impressora do tipo FDM.

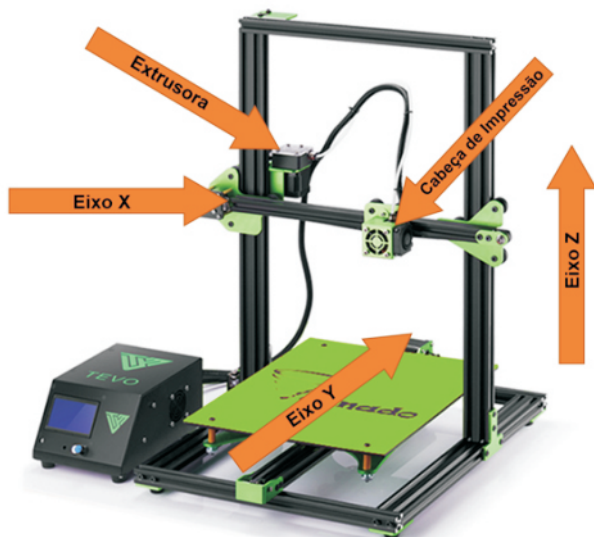


Imagem 5: Impressora Cartesiana. Nessa impressora, a mesa de impressão se movimenta no eixo Y, a cabeça de impressão se movimenta no eixo X e o eixo X inteiro se movimenta no eixo Z.

relacionado a altura) e mais um motor para a extrusão, é esse motor que empurra o filamento para o que chamamos de HotEnd (podemos chamar de cabeça de impressão, onde o filamento é derretido e forçado a passar por um bico com uma abertura bem pequena, normalmente de 0,4 mm, mas há bicos de vários tamanhos, de aberturas menores ou maiores - ver imagem 4). Com isso, a impressora consegue depositar esse material derretido com muita precisão, construindo a peça camada por camada.

Destaco que mesmo na categoria de impressoras cartesianas, há impressoras com estruturas que

funcionam diferentes da impressora mostrada na imagem 5.

É importante dizer que por ser de longe o tipo de impressora mais vendido, a comunidade dos usuários é imensa, então há muitos vídeos e páginas na internet e grupos nas redes sociais não só sobre Impressão 3D, mas de cada marca e modelo das impressoras, muitas vezes disponibilizado orientações e modelos prontos para substituir peças ou mesmo fazer updates na impressora para melhorar a impressão ou a confiabilidade delas.

As impressoras do tipo Delta também possui 4 motores de passo, 1 para a extrusora e 3 para as dimensões espaciais

(os eixos X, Y e Z), a diferença é que os 3 motores das dimensões espaciais funcionam ao mesmo tempo, ou seja, qualquer movimentação da cabeça de impressão, movimenta esses 3 motores ao mesmo tempo. Ela tem um conjunto de 3 duplas de braços que, quando movimentados ao mesmo tempo, posicionam a cabeça de impressão em qualquer lugar no volume de impressão (ver imagem 6). Por não usar um sistema de posições cartesianas, ela utiliza um sistema trigonométrico para saber onde está a cabeça de impressão, qual movimento ela precisa fazer e para onde ela deve ir.

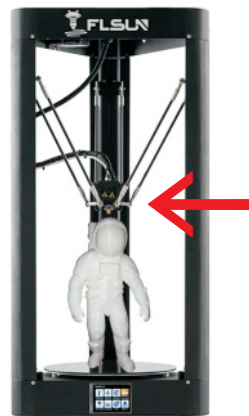


Imagem 6: Impressora 3D do tipo Delta. A cabeça de impressão, destacada pela seta, é suportada por 3 duplas de braços e cada dupla ligada a um eixo vertical que está conectado cada um a um motor de passo por correias.

As principais características desse tipo de impressora são a mesa de impressão

circular, a grande velocidade de impressão, alta confiabilidade, precisão e ampla capacidade de movimento. Como desvantagens, esse tipo de impressora é um pouco difícil de calibrar inicialmente e por ser muito menos comuns que as impressoras cartesianas, a comunidade dos usuários é pequena e tem poucos materiais e guias sobre essas impressoras.

Uma impressora Core XY é uma impressora cartesiana, mas ela tem 1 eixo independente (eixo Z) e 2 eixos acoplados (Eixos X e Y). Nesse sistema de eixos acoplados, os motores dos eixos X e Y funcionam simultaneamente quando a cabeça de impressão se move no plano dos eixos X e Y. Esse sistema é o mesmo de uma máquina CNC. Sua principal característica é a alta velocidade de impressão, mas é o tipo de impressora 3D bem menos comum, ainda menos que as do tipo Delta, então a comunidade de usuários é bem pequena, causando dificuldades caso precise de ajuda.

No processo de imprimir uma peça, outra parte importante é a escolha do filamento a ser utilizado, dependendo das características do modelo e das características que você queira da peça impressa, um

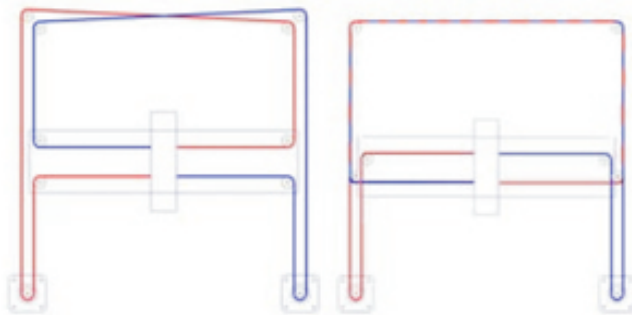


Imagem 7: Na esquerda, a estrutura de um modelo de impressora 3D do tipo Core XY. Na direita, 2 formas de acoplar os motores dos eixos X e Y para que eles funcionem ao mesmo tempo.

determinado tipo de filamento é mais adequado para a impressão, mas entrar em detalhes nesse assunto deixaria esse texto muito chato e complexo de ler, então não entrarei nesse assunto, mas só para não deixar passar a oportunidade, hoje em dia há muitos tipos diferentes de filamentos. Os mais comuns no Brasil são o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), que é derivado do petróleo e o PLA (Ácido

Polilático), que é um polímero biodegradável extraído do milho e da mandioca e é um material que leva o selo Food Safe, ou seja, pode ter contato com comida e bebida. O ABS é o tipo de filamento mais barato para comprar e o PLA é de longe o filamento mais fácil de imprimir (o ABS é tão chato de imprimir que ele ganhou o apelido de Filamento do Demo e não foi a toa). Eu praticamente só uso PLA.

Além desses 2 filamentos, temos o ASA, PETG, filamentos flexíveis, Tritan, HIPS, Nylon, Condutivo (eletricidade), PC (polycarbonato), filamento com Fibra de Carbono, filamento com Madeira, filamento Anti-chamas, filamento Antiviral (desenvolvido muito recentemente para ajudar no combate ao Coronavírus) e ainda deve ter outros que nem consigo lembrar ou mesmo não sei que existam. Cada tipo de filamento tem as suas características próprias, tanto nas configurações para ser

impresso, quanto nas propriedades da peça impressa. Por exemplo, pode-se usar o filamento Antiviral para imprimir maçanetas de portas para minimizar as chances das pessoas se contaminarem com o Coronavírus. As possibilidades são imensas.

Na imagem 8, você pode ver e comparar algumas características para os diferentes tipos de filamentos.

Para quem leu esse texto até aqui, tudo isso foi para mostrar um pouco do que é a impressão 3D básica, os tipos de impressoras e os

tipos de filamentos que podemos usar. Na próxima edição da Revista Astronova, no Equinócio de Outono (em março/2022), apresentarei o terceiro texto da série, onde eu quero mostrar um pouco do que é o processo todo, da escolha de um modelo à impressão finalizada.

Tentarei mostrar o máximo possível para que você leitor possa compreender a essência desse processo.

Espero você na próxima edição.

Ricardo Francisco Pereira é

professor do Departamento de Física da UEM. Graduado em Física, é mestre e doutor em Educação para a Ciência e Matemática. Mantém a página *Recursos de Física*.

Para saber mais:

Qual é melhor? Impressão 3D de Filamento (FDM) ou Resina? - <https://www.youtube.com/watch?v=wzTTL1b9Zo>

PLA ou ABS? Qual é o MELHOR MATERIAL para sua impressão 3D? [3D Iniciante 05] - <https://www.youtube.com/watch?v=8mjoNvkDJ8&t=1s>

5 dicas imperdíveis para começar na impressão 3D - <https://www.youtube.com/watch?v=AXFrptR3ak>

5 dicas essenciais para começar na impressão 3D - <https://www.youtube.com/watch?v=Rvzlyi8tgf0>

Conheça os principais tipos de filamentos para impressão 3D - <https://www.youtube.com/watch?v=QCGJAXS4U0Y>

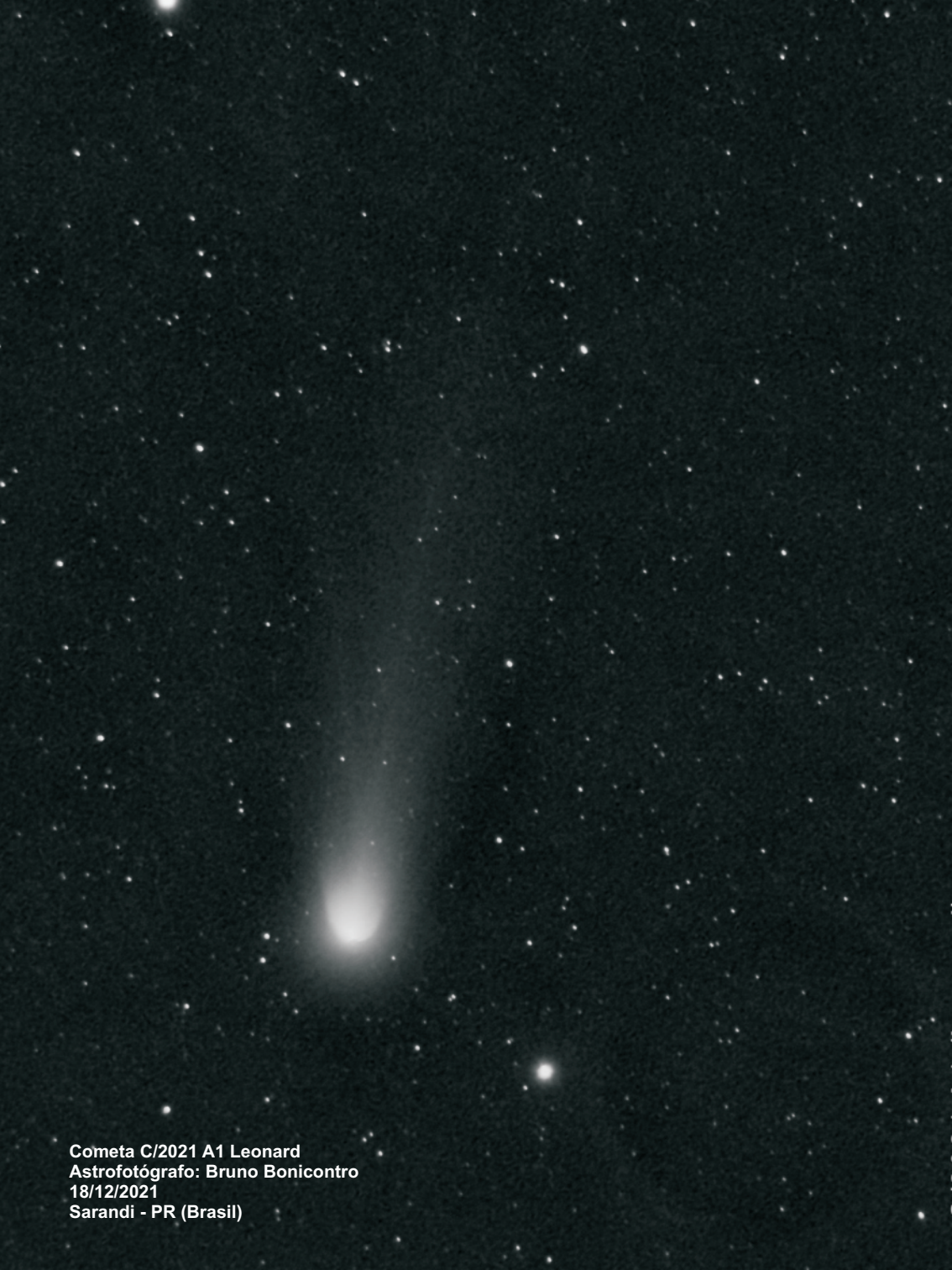
PLA, ABS ou PETG? Qual melhor material para impressão 3D? Testei e mostrei as diferenças na prática - https://www.youtube.com/watch?v=Fi_uWr_cXe4



Imagem 8: Tabela comparando algumas características dos filamentos para impressão 3D.



Super aglomerado de galáxias em Fornalha
Astrofotógrafo: Fernando Oliveira de Menezes
11/07/2021
Jales - SP (Brasil)



Cometa C/2021 A1 Leonard
Astrofotógrafo: Bruno Bonicontro
18/12/2021
Sarandi - PR (Brasil)

A influência ASTRONÔMICA na formação de diferentes CULTURAS

Wilson Guerra

guerra@astronova.com.br

Na antiguidade, o céu era visto como uma forma de comunicação com os deuses. Isso não se limitava a este ou aquele povo. Historiadores e antropólogos mostram que essa era uma prática universal de nossos antepassados.

Muitas histórias e mitos têm origem de fenômenos astronômicos não compreendidos na época. Estas ocorrências facilmente se misturavam às crenças e marcaram muitas tradições em muitas culturas. Sem a Ciência Moderna, fenômenos de causas naturais muitas vezes eram interpretados pelos antigos como sinais, avisos,

mensagens ou presentes divinos.

Hoje, estrelas; antes, fogueiras

O céu, geralmente tranquilo e passivo, por vezes também pode ser palco de poderosas forças da Natureza. Para a humanidade em seu longo estágio primevo, a fúria dos céus podiam ser facilmente interpretadas como a força de poderosos seres celestiais. É quase natural que os grupos de caçadores-coletores que nos antecederam há milhares de anos chegassem a essas conclusões ao ver raios, fortes tempestades, furacões, tornados...

Em um didático exercício de antropologia, o astrônomo Carl Sagan especula da seguinte maneira o que se

poderia imaginar de um ancestral nosso ao pensar sobre o céu:

“Nós somos um povo caçador nômade. O fogo nos mantém aquecidos. Sua luz abre ‘buracos’ na escuridão. Ele afasta os animais famintos. Na claridade, podemos ver uns aos outros e conversar. Nós cuidamos da chama. A chama cuida de nós. As estrelas não estão próximas de nós. Quando subimos numa colina ou numa árvore elas não ficam mais próximas. Elas piscam com uma luz estranha, fria, distante. Muitas delas, todas pelo céu. Mas só a noite. Eu fico imaginando o que elas são. Uma vez eu pensei que as estrelas eram chamas. Elas davam pouca luz à noite, como o fogo. Talvez as estrelas são



Na série original de Cosmos, Carl Sagan trata da forma como os povos pré-históricos imaginariam os céus. Em todas as culturas, crenças e religiões foram marcadas por fenômenos astronômicos pouco compreendidos em sua época.

fogueiras que outros nômades acendem a noite. As estrelas dão muito menos luz do que as fogueiras, então devem estar muito distantes. Fico pensando se as nossas fogueiras parecem estrelas para as pessoas no céu. Mas porque aquelas fogueiras e os nômades que as fizeram não caem em nossos pés? Por que tribos estranhas não caem do céu? Aqueles seres do céu devem ser muito poderosos!

Foi de pensamentos parecidos com essa descrição que derivaram as crenças relacionando divindades às estrelas.

Gregos: os deuses desenhando no céu

Ao ver o céu a olho nu em uma noite sem Lua e longe da poluição luminosa, o número de estrelas visível é estonteante. Estima-se que podemos ver em torno de 5 mil estrelas nestas

condições. As mais brilhantes parecem formar conjuntos que lembram figuras. É como nos almanaques de liga-pontos. Estes conjuntos de estrelas que formam figuras são as constelações, e constituem nossos atuais mapas celestes.

Para os gregos clássicos a figuras imaginadas das constelações eram um capricho dos deuses. Cada constelação tinha uma história mitológica. Segundo os historiadores, muitas delas foram incorporadas pelos gregos de culturas ainda mais antigas. Uma das mais conhecidas envolve Órion e o Escorpião, com várias versões. Em uma delas, Órion era um caçador apaixonado por Ártemis. O irmão dela, Apolo, não concordava com esta aproximação e enviou um escorpião gigante para matá-

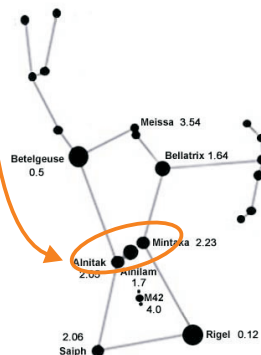


Foto do céu com as estrelas que compõem a constelação de Órion (acima) e sua representação (abaixo). No destaque, o cinturão de Órion ("as 3 Marias").

lo. Órion sempre conseguia fugir. Em uma das fugas pelo mar, Apolo engana Ártemis, exímia atiradora, ao desafiá-la a acertar um ponto distante no oceano. O alvo era Órion. Arrasada ao descobrir que matou seu amor, Ártemis pede a Zeus para colocá-lo no céu, que concede seu desejo. Zeus faz o mesmo com o escorpião, fixando-os em posições opostas. Por isto, quando a constelação do Escorpião surge no horizonte leste,

Órion se põe no oeste.

Hoje sabemos que as estrelas que formam uma constelação não estão ligadas entre si e raramente se encontram próximas umas das outras. Isso não era conhecido na antiguidade. Estrelas de uma constelação que estão muito distantes podem ter uma “vizinha” bem mais próxima de nós. Isto significa que ambas tem anos-luz de distância entre si. A impressão de estarem lado a lado é só um efeito de perspectiva da nossa posição de observação na Galáxia.

A Estrela de Belém: *supernova* ou um cometa

Os adeptos do cristianismo acreditam que no mundo antigo a humanidade testemunhou a presença de um messias: Jesus. Ele veio para salvar-nos do pecado. Seu local de nascimento teria sido indicado por uma estrela repentina e inesperada: a Estrela de Belém. Esta estrela guiou os três Reis Magos, que eram astrônomos de tribos antigas que constituíam o povo meda.

A principal hipótese para a aparição da estrela de Belém é que, na realidade, se tratava de uma *nova* ou uma *supernova*. Uma *nova* é um fenômeno onde uma estrela



Ilustração retrata os três Reis Magos seguindo a “Estrela de Belém”. É provável se tratava de uma explosão estelar do tipo *nova* ocorrida na antiguidade.

passa repentinamente a brilhar milhares de vezes mais que o habitual. Se ela era inobservável a olho nu antes do fenômeno, durante sua ocorrência a estrela pode ser vista. É como se a estrela aparecesse subitamente no céu (mas na realidade estava lá o tempo todo). Já uma *supernova* faz a estrela brilhar milhões de vezes mais. Em ambos os casos o fenômeno pode durar dias ou até semanas. Baseados em registros muito precisos de astrônomos chineses antigos, pesquisadores britânicos afirmam que a Estrela de Belém provavelmente foi uma *nova* que ocorreu na primavera de 5 AEC. A data é compatível com o provável ano de nascimento de Jesus, entre 5 e 7 AEC, segundo especialistas católicos.

Outra hipótese menos provável mas que não deve ser desconsiderada é de que a Estrela de Belém fosse um

cometa. Como as *novas*, os cometas não eram compreendidos na época e por esta razão podiam ser chamados de “estrelas”. Nos presépios, que são representações simbólicas do local humilde onde para os cristãos o Salvador nasceu, é comum ilustrar a Estrela de Belém como um cometa. É difícil que tenha sido o famoso cometa Halley. Mas dois outros cometas estão nos registros chineses: um em março de 5AEC e outro em abril de 4AEC. Mesmo mais afastadas da data da estrela *nova*, é importante lembrar que muitos eventos religiosos são estabelecidos *a posteriori*, muito depois da ocorrência, como lembra o famoso antropólogo e mitologista Joseph Campbell.

Islã: um meteorito em Meca?

Meca é a cidade mais sagrada do mundo para os muçulmanos, adeptos da



Milhares peregrinando em Meca, a cidade sagrada dos muçulmanos. A estrutura cúbica no centro é a Caaba.

religião islâmica. Na antiguidade Meca foi um importante centro comercial. Em torno do ano 600 Maomé, o principal profeta dos muçulmanos e fundador do Islã, teria transformado um templo de deuses antigos em um local de adoração monoteísta, o deus único Allah. Uma estrutura cúbica foi construída no centro do que hoje é a Grande Mesquita, e foi denominada Caaba.

Todos os anos milhões de muçulmanos fazem peregrinação para Meca e tentam se aproximar da Caaba. Em uma de suas arestas há uma rocha especial. Ela é chamada de Pedra Negra. Pela tradição muçulmana a Pedra Negra veio do céu, trazida por um anjo. Eles acreditam que ela era branca mas que se

tornou escura com o tempo como resultado dos pecados humanos.

O que para antigos foi um presente trazido do paraíso, hoje parece-nos muito com um meteorito. Os meteoritos rochas espaciais que entram na atmosfera da Terra em grande velocidade. A maioria se desintegra no processo e são chamados de meteoros. Quando algum fragmento consegue chegar até a solo, recebe o nome de meteorito.

Como os pesquisadores não tem acesso à Pedra Negra, ainda não há como detalhar sua composição e origem.

Festas e calendários

Eventos astronômicos notáveis também definem datas festivas e medem períodos de tempo.



Muçulmanos contemplando a Pedra Negra, que pode ser um meteorito.

O Natal, por exemplo deriva do solstício. Já era comemorado antes do cristianismo, celebrando o início da redução gradativa do inverno (no hemisfério norte), e foi ressignificada, estrategicamente, pela Igreja Católica.

A duração da semana é definida pelos ciclos lunares, assim como é a base do calendário judaico.

De várias formas, herdamos o conhecimento das estrelas.

Wilson Guerra é professor, graduou-se em Física (UEM), tem especialização em Astrobiologia (UEL) e é mestre em Educação Científica (UEM).

Leitura Recomendada:

O Livro de Ouro do Universo
Rogério Mourão; Editora Zahar
Astronomia nos Descobrimentos.
A importância dos árabes e dos judeus nas descobertas
Rogério Mourão, Lacerda Editora

As transformações dos mitos através dos tempos
Joseph Campbell; Editora Cultrix

O tempo que o tempo tem
A. Cherman; F. Vieira; Zahar Editor



O UNIVERSO INVERTIDO DA ANTIMATÉRIA

Rafael Cândido Jr.
rafael@astronova.com.br

Em nosso senso comum, consideramos matéria como tudo aquilo que tem massa e ocupa um lugar no espaço, ou seja, tem volume. Dentro da Física essa definição também é válida e inclui que a matéria é constituída de átomos e estes são constituídos de elétrons, que possuem carga elétrica negativa; prótons, que possuem carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga elétrica.

Mas, será que existem as partículas com o sinal de carga trocado? Ou seja, um elétron positivo? Um próton negativo? E o nêutron? Seria o mesmo? E se estas partículas com sinal trocado existem, como seria a matéria formada por estas partículas? Neste artigo vamos conhecer um pouco

mais e tentar responder algumas destas perguntas.

Primeiras ideias e descobertas

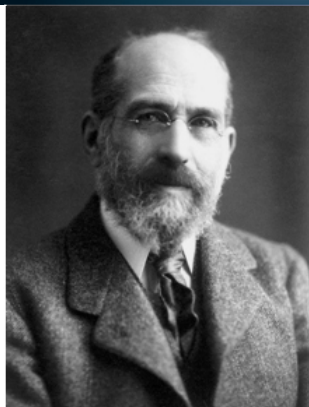
O conceito de uma “matéria ao contrário” foi proposto ao final do século 19 pelo físico alemão Arthur Schuster. Em duas cartas escritas para a revista Nature, Schuster propôs uma hipótese de existência de uma matéria constituída de antiátomos, que poderiam formar uma antimatéria (foi a primeira vez que este termo foi citado) e que esta antimatéria apresentaria uma antigravidade. Porém o assunto não foi levado a frente, foi considerado apenas um exercício de imaginação de Schuster.

Em 1928, o físico inglês Paul Dirac publicou o artigo Teoria quântica do elétron. Neste artigo, Dirac aprimora a Equação de Schrödinger da

Mecânica Quântica conseguindo acoplar nesta equação a componente da Relatividade de Einstein.

Como resultado desta equação, foi definida a massa do elétron e comprovado matematicamente que este tem uma carga elétrica negativa. A outra solução da equação definia uma partícula com a mesma massa do elétron, porém com carga elétrica positiva.

Na época, não se conhecia nenhuma partícula com a mesma massa do elétron e que tivesse a carga oposta, ou seja, positiva. Mesmo assim, essa hipotética partícula foi denominada pósitron e permaneceu como uma hipótese até 1932, quando um experimento realizado pelo físico estadunidense Carl David Anderson descobriu a



Arthur Schuster (1851 – 1934)

partícula com as mesmas propriedades previstas pela equação de Dirac. Por esta realização, Anderson foi laureado com o Nobel de Física de 1936.

Em 1933, durante seu discurso no recebimento do Nobel de Física de 1933, Paul Dirac previu a existência do antipróton, ou seja, uma partícula com a mesma massa do próton, porém com carga elétrica negativa, a qual foi confirmada experimentalmente em 1955 no acelerador de partículas Bevatron da Universidade da Califórnia, Berkeley, pelos cientistas Owen Chamberlain, dos EUA, e Emilio Gino Segre, da Itália. Ambos foram laureados com o Nobel de Física em 1959.

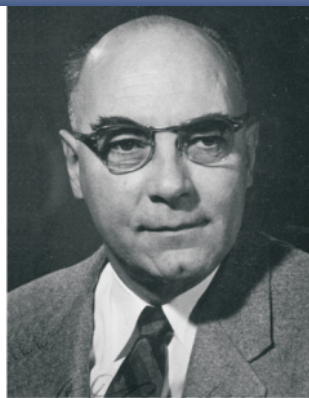
Em 1956, um ano depois da descoberta do antipróton, no mesmo acelerador de partículas, o Bevatron, foi descoberto o antinêutron por uma equipe de cientistas

composta pelos estadunidenses Bruce Cork, Glen Lambertson, William Wenzel e o italiano Oreste Piccioni. Entretanto, esta descoberta não foi laureada com o Nobel.

Cadê a antimatéria que estava aqui?

Com a descoberta destas partículas de antimatéria, surge a seguinte questão: Se no início do Universo, quando este era extremamente quente e denso, houve o processo de bariogênese, ou seja, geração de matéria bariônica, em igual proporção entre matéria e antimatéria temos um paradoxo: ou deveria existir matéria e antimatéria em quantidades iguais no Universo, ou ocorreria a aniquilação de toda a matéria com a antimatéria, formando um Universo apenas com radiação. Porém, nenhum dos dois casos se verifica a partir de dados de observação do Universo.

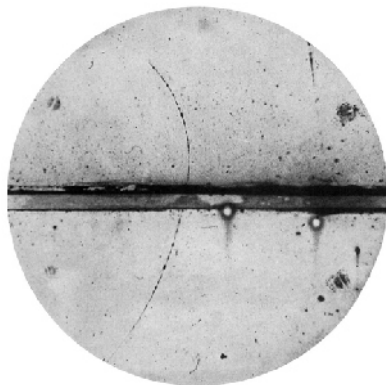
Não seria possível diferenciar uma estrela que fosse constituída de antimatéria de outra constituída de matéria pois ambas respondem da mesma forma à interação gravitacional e à interação eletromagnética. Então, a detecção de antimatéria só é possível quando esta interage com a matéria no



Carl David Anderson (1905 – 1991)

fenômeno da aniquilação. Quando um elétron interage com um pósitron ambas as massas são totalmente aniquiladas e convertidas em fótons de raios gama, ou seja, a matéria é transformada em onda eletromagnética, radiação, conforme a conhecida equação de Einstein: $E = mc^2$.

Portanto, se a proporção de antimatéria em relação à



Primeira fotografia de experimento em câmera de nuvem revelando a trajetória do pósitron (a linha curva fina da parte superior, a linha na parte inferior é a trajetória do elétron).

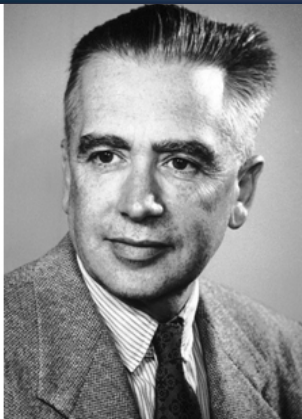


Owen Chamberlain (1920 – 2006)

matéria fosse próxima de 50%, haveria a detecção de maiores intensidades de raios gama por sondas espaciais. Porém isso não se verifica nas observações, o que mostra que há muito mais matéria do que antimatéria. Esta assimetria na proporção entre matéria e antimatéria é denominada assimetria bariônica e, até o momento, não há uma explicação para este fato ter ocorrido durante a evolução do Universo.

Antimatéria natural e artificial

Provavelmente, toda a antimatéria gerada durante a bariogênese foi aniquilada; de modo que a antimatéria existente hoje é resultante de processos naturais. As partículas de antimatéria formadas naturalmente mais próximas de nós são resultantes do decaimento beta (mais detalhes no artigo As Forças Fundamentais do Universo, edição 30 da



Emilio Gino Segre (1905 – 1989)

Revista Astronova) e na interação dos raios cósmicos com a atmosfera e com o campo magnético da Terra, resultando em sua presença no cinturão de Van Allen.

Em 15 de junho de 2006 foi lançado do Cosmódromo de Baikonur o satélite russo Resurs-DK1 com o módulo PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics). Desenvolvido em conjunto pela Rússia, Itália, Alemanha e Suécia, este módulo foi projetado para durar 3 anos e analisar fluxos de prótons, antiprótons, elétrons, pósitrons, núcleos leves e antinúcleos presentes nos cinturões de Van Allen.

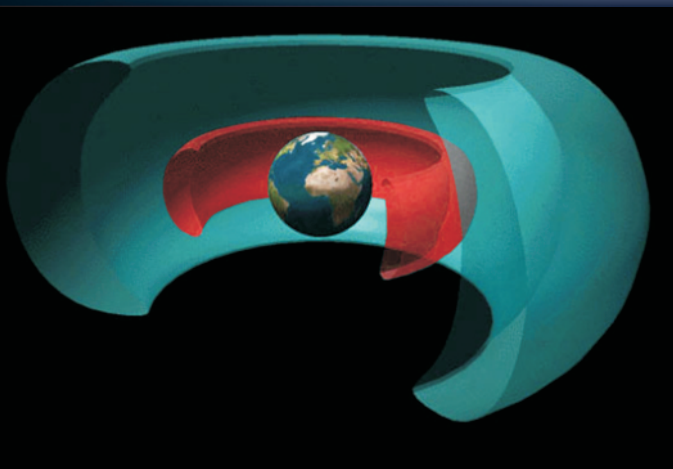
As descobertas mostraram que o cinturão interno apresenta um fluxo significativo de antiprótons que são produzidos pela interação de raios cósmicos com átomos na atmosfera

superior da Terra, criando antinêutrons que decaem para antiprótons. Desse modo, quando um antipróton interage com um próton, possivelmente proveniente do vento solar, ocorre aniquilação e a emissão de fótons de raios gama. Os dados obtidos pelo módulo PAMELA mostram que a aniquilação de antimatéria ao redor da Terra é muito comum.

A produção artificial de antimatéria depende do tipo de partícula a ser obtida. No Laboratório Nacional Lawrence Livermore nos EUA, pósitrons são obtidos através do uso de lasers em uma folha muito fina de ouro, de modo que os elétrons decaem a pósitrons.

Antiprótons e antinêutrons necessitam de muito mais energia para serem obtidos, de modo que estas partículas são produzidas apenas em aceleradores de partículas mais potentes. Antinúcleos são constituídos de mais de um antipróton e mais de um antinêutron e a energia para produzi-los é ainda mais alta.

O átomo de antihélio-3, no qual o núcleo é constituído de 2 antiprótons e 1 antinêutron, foi obtido durante os anos 70 durante os experimentos de colisões de prótons e núcleos realizados no Instituto de Física de Altas Energias em Protvino, na época ainda era



Representação artística dos cinturões de Van Allen. O interno (em vermelho) tem predominância de prótons e antiprótons, o externo (em ciano) tem predominância de elétrons e pósitrons.

União Soviética. Somente no ano de 2011 que foi reportada a observação do núcleo antihélio-4, também denominado de partícula anti-alfa. Durante este ano de 2021, até o momento (dezembro de 2021), o Espectrômetro Magnético Alfa instalado na Estação Espacial Internacional detectou no espaço a partícula de antihélio-3 em 8 eventos.

Cargas elétricas e... cores inversas!

Como citado anteriormente nos artigos nas edições 30 e 31 da Revista Astronova, o elétron é uma partícula indivisível do grupo dos léptons e tem massa de $0,511 \text{ MeV}/c^2$, número de spin $\frac{1}{2}$ (relacionado ao “giro” do elétron) e carga elétrica -1. O pósitron tem a mesma

massa e o mesmo número de spin, porém com carga +1, e assim como o elétron, é também uma partícula indivisível.

Ao se comparar o próton e o antipróton, ambos têm a mesma massa ($938,3 \text{ MeV}/c^2$), o mesmo número de spin (igual ao do elétron,

$\frac{1}{2}$), mas as cargas são contrárias, sendo o próton com carga +1 e o antipróton com carga -1. Porém, o próton não é indivisível. Como visto anteriormente, o próton é formado por três quarks, que se caracterizam por ter cores e sabores. Assim, o próton é constituído por um quark up azul, um quark up vermelho e um quark down verde. Como estes quarks tem cargas fracionárias, a soma destas é +1. Mas, e para o antipróton? Os quarks que formam são os mesmos do próton? Ou existem antiquarks?

Os antiprótons são constituídos por antiquarks e estes também têm sabores e cores. O próton é constituído por quarks de sabores up e down, no caso do antipróton, são dois antiquarks up e um antiquark down, que são representados pelas letras u



As cores primárias (vermelho, verde e azul) estão relacionadas aos quarks. As cores secundárias (ciano, magenta e amarelo) estão relacionadas aos antiquarks.



Representação esquemática dos quarks e antiquarks que constituem o próton, o antipróton, o nêutron e o antinêutron.

e d com uma barra acima.

Em relação às cores, para entender as cores inversas dos antiquarks, temos que relembrar o conceito de cores primárias e secundárias. As cores primárias são o vermelho (red), o verde (green) e o azul (blue); o que dá origem ao sistema RGB comum em muitos softwares gráficos e as cores secundárias são as cores geradas pela combinação de duas das cores primárias. Foi com esse sistema que o físico Murray Gell-Mann construiu o conceito de carga de cor para quarks.

Para os antiquarks, foram propostas as anti-cores. Porém, o que seria uma cor anti-azul? E uma cor anti-verde? Ou a cor anti-vermelho? Baseando-se no sistema RGB, uma cor anti-vermelha seria uma cor composta apenas pelas cores verde e azul, ou seja, o ciano. Da mesma forma, uma cor anti-verde é composta pelas cores vermelha e azul, que gera a cor magenta. E a cor anti-azul é composta pelas cores vermelha e verde, gerando a cor amarela.

Então, o antipróton é constituído por um

antiquark up de cor amarela, um antiquarkup de cor ciano e um antiquark down de cor magenta. Como a carga do antiquark up é $2/3$ e do antiquark down é $+1/3$, então a carga total do antipróton é $2 \cdot (-2/3) + (+1/3) = -1$.

Isso explica a formação de antinêutron. Se considerarmos apenas a troca de sinal de carga elétrica, o antinêutron não faria sentido porque sendo a carga do nêutron nula não haveria carga contrária. Mas, ao avaliar que o nêutron não é uma partícula fundamental, mas sim constituído de quarks; então o antinêutron, embora seja de carga nula, é uma antipartícula constituída de antiquarks.

Sendo o nêutron constituído de um quark up azul, um quark down verde e um quark down vermelho; o antinêutron é constituído de um antiquarkup amarelo, um antiquark down magenta e um antiquark down ciano. Somando as cargas destes antiquarks tem-se a seguinte carga resultante:

$$2 \cdot (+1/3) + (-2/3) = 0$$

Isso explica a formação de antinêutron. Se considerarmos apenas a troca de sinal de carga elétrica, o antinêutron não faria sentido porque sendo a carga do nêutron nula não haveria carga contrária. Mas,

ao avaliar que o nêutron não é uma partícula fundamental, mas sim constituído de quarks; então o antinêutron, embora seja de carga nula, é uma antipartícula constituída de antiquarks.

A antimatéria próxima de nós

A princípio, a antimatéria parece algo restrito aos institutos científicos e com aplicações apenas em pesquisas de Física de partículas, mas ela está muito próxima de nós e tem muita aplicação no cotidiano. Existe um exame denominado tomografia por emissão de pósitrons (em inglês, PET) que utiliza radionuclídeos emissores de pósitrons, os quais, na sua desintegração, emite raios gama que são detectados por sensores e formam as imagens do exame.

Este exame tem diferentes aplicações e para cada uma há utiliza-se um isótopo diferente para a emissão de pósitrons e um transportador diferente destes isótopos. Em um exame PET oncológico, ou seja, voltado à detecção de tumores, é injetada na corrente sanguínea um análogo da glicose contendo núcleos do isótopo flúor-18 (^{18}F), que sofre decaimento beta e tem meia-vida de 2 horas. Assim, tecidos que apresentem algum tumor benigno ou maligno consumirão muito mais

glicose que um tecido sem tumor. A aniquilação pósitron-elétron emite raios gama que são captados por sensores e estes sinais são levados a um computador para processamento, de modo que pode ser determinado o tipo do tumor e construída sua imagem tridimensional.

O cérebro é o órgão que mais consome oxigênio em nosso organismo, portanto, no PET cerebral é utilizado o isótopo oxigênio-15 (^{15}O) associado ao análogo da glicose. Este exame permite a avaliação da atividade cerebral em casos de isquemia, mal de Alzheimer e mal de Parkinson. Atualmente se estuda o uso do isótopo flúor-18 associado a um precursor da dopamina para avaliação de probabilidade de desenvolvimento do mal de Parkinson.

Atualmente há outros estudos relativos a outras aplicações da antimatéria em exames médicos e avaliações farmacológicas. É importante lembrar que estes estudos são interdisciplinares pois envolvem pesquisadores em Estatística, Computação, Química, Física, Biologia, Engenharias e outros assuntos correlatos.

Antimatéria para o bem... e para o mal.

Há uma proposta para a



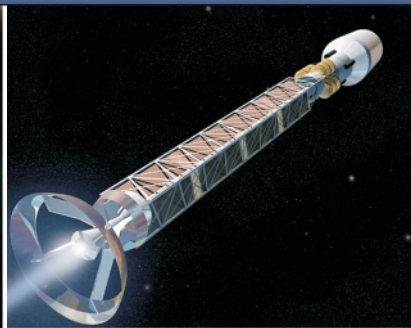
Tomógrafo PET, também denominado PET scanner.

construção de futuras naves interplanetárias e interestelares de utilização de motores de pulso nuclear que utilize a antimatéria como fonte de energia para o voo espacial. A energia liberada com o uso de antimatéria seria aproximadamente 100 vezes maior que a energia obtida em uma possível propulsão nuclear baseada em fusão nuclear, 1000 vezes maior que em uma propulsão nuclear baseada em fissão nuclear e cerca de 10 bilhões de vezes maior que a energia liberada em um motor foguete químico convencional. Porém, estes tipos de motor foguete utilizando a antimatéria só poderiam ser utilizados no espaço, devido à emissão de raios gama. Atualmente este tipo de motor foguete está no campo da pesquisa teórica, dada a dificuldade de obtenção, manipulação e armazenamento da antimatéria.

Uma aplicação muito controversa que foi considerada principalmente



Representação artística de uma armadilha de Penning e da antimatéria no filme Anjos e Demônios.



Representação artística de um foguete movido a antimatéria.

pela Força Aérea dos EUA, é o uso da antimatéria como gatilho de armas atômicas ou como arma de destruição em massa. No caso de uso como arma, a liberação de raios gama devido à aniquilação seria suficiente para acabar com seres vivos em uma determinada área sem deixar resíduos radioativos como em uma arma nuclear comum. Porém a dificuldade encontrada é a mesma dos motores foguetes, não é fácil “segurar” a antimatéria por muito tempo, o que inviabilizou o projeto das armas de destruição em massa (Ufa!!! Ainda bem!).

Antimatéria na ficção

Como todo assunto científico, a antimatéria já esteve presente em trabalhos de ficção científica como contos, séries e filmes. A primeira referência a antimatéria foi em um conto do escritor Jack Williamson (1908 – 2006) no qual astronautas de um

futuro distante se arriscavam na exploração de asteroides constituídos de antimatéria. Este conto intitulado Collision Orbit foi publicado pela revista Astounding em 1942 e nele, o protagonista é um engenheiro da missão que usa um sistema de ímãs para capturar a antimatéria sem encostar em nada, o que causaria uma explosão. Interessante que este é o princípio de funcionamento da armadilha de Penning, que é utilizada para a contenção de antipartículas.

A armadilha de Penning também está presente no livro e no filme Anjos e Demônios. No enredo, uma pequena massa de antimatéria armazenada em um bastão é roubada e como a armadilha é mantida funcionando com uma bateria, após um determinado tempo, a bateria irá acabar e a antimatéria entraria em contato com a matéria de

modo que 1 grama de antimatéria liberaria energia suficiente para vaporizar a cidade de Roma.

E não podemos esquecer de dois clássicos; um é o livro Eu, Robô de Isaac Asimov no qual os robôs apresentavam um cérebro positrônico, ou seja, a corrente elétrica nos cérebros destes robôs era resultante de um fluxo de pósitrons. O outro clássico é a série Star Trek, no qual a nave Enterprise era movida a propulsores de antimatéria.

Rafael Cândido Jr. é graduado e mestre em Engenharia Química (USP) e doutorando em Engenharia Aeroespacial. Integra o grupo de astronomia Arcturus, da UFABC.

Para conhecer mais:

O enigma da antimatéria:

<https://youtu.be/LJML4ff4iQ>

Conseguiram manipular a antimatéria:

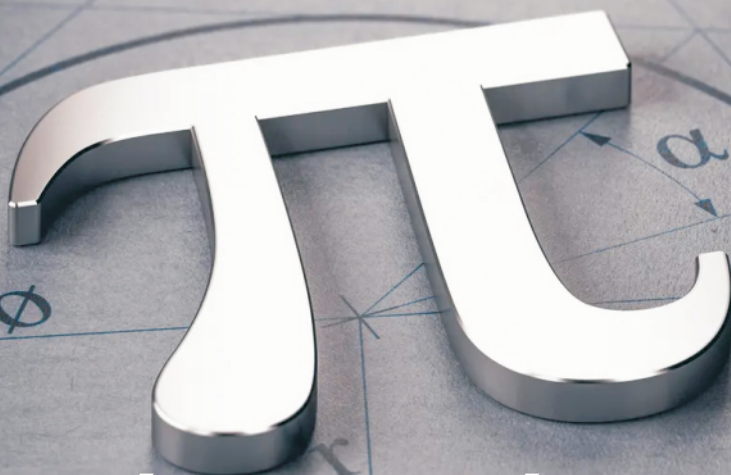
<https://youtu.be/5JHUtXbd5fY>

Antimatéria e a assimetria do Universo (e Big Bang!):

<https://youtu.be/pLlrF2GcXDE>



Cometa C/2021 A1 Leonard
Astrofotógrafo: Maico Zorzan
18/12/2021
Sarandi - PR (Brasil)



A HISTÓRIA DO NÚMERO π

Um pequeno tratado sobre os números, onde não adianta ficar π da vida com seu professor de matemática.

Maico Zorzan

zorzan@astronova.com.br

Tido como irracional, infinito, muito popular em todas as ciências exatas, e até “pirigoso” se me permitem o trocadilho, esse número representado por uma simples letra grega, a décima letra do alfabeto grego, e que expressa a razão entre uma circunferência e seu diâmetro (C/D ; onde C é a medida da circunferência do objeto e D o seu diâmetro), é talvez o número não natural mais popular que existe, e presente na vida de todo estudante, não importa em que nível esteja. Um número fascinante, é a mais antiga constante

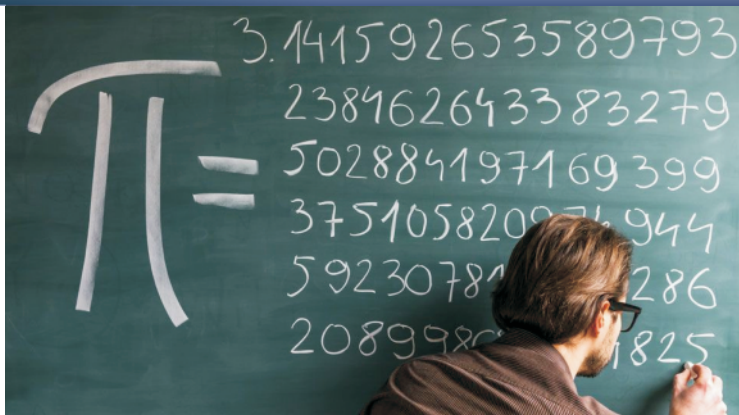
matemática que se conhece. E também um dos poucos objetos matemáticos que, ao ser mencionado, produz reconhecimento e até mesmo interesse em praticamente qualquer indivíduo tenha sido alfabetizado.

O Pi (π) está em todos os lugares onde pudermos imaginar, desde o rolar das ondas numa praia deserta ao trajeto aparente diário das estrelas no céu, o esparramar de uma colônia de cogumelos em uma floresta úmida, o movimento das engrenagens e rolamentos no motor do seu carro, a propagação dos

campos eletromagnéticos do Wi-fi de sua internet e todo um leque de fenômenos e objetos, do mundo natural, da física, engenharia, astronomia, biologia, tecnologia e da Matemática, estão associados às ideias de simetria circular e esférica. Afinal círculos e esferas, como formas arredondadas, são formas comuns na natureza, e muito copiadas por nossa espécie, e que de um modo quase que inexorável, acaba produzindo o π . Daí a popularidade e importância canônica desse número. Ele é uma das constantes universais da Matemática. É importante salientarmos

para o fato que também são frequentes as ocorrências do π em estudos onde aparentemente, principalmente para uma pessoa de pouca formação matemática, não estariam envolvidas simetrias e estudos circulares, como na normalização da distribuição normal de probabilidades, na distribuição assintótica dos números primos, na construção de números primos próximos a inteiros dados, na chamada constante de Ramanujan, e mil e uma outras situações do meio matemático.

O número π tem uma história fascinante, que começou acerca de 4000 anos atrás. Onde um dos passos fundamentais da civilização grega da época, consistiu em adquirir consciência da constância da razão entre o perímetro e o diâmetro de qualquer círculo, pois sem esta consciência nunca se teria concebido o π . Inúmeros povos andaram à sua procura mesmo antes que chegassem a ter consciência matemática. No velho testamento bíblico, por exemplo, temos citações ao rei Salomão fazendo um lago de dez cúbitos, de margem a margem, circular, com cinco cúbitos de fundo, e trinta cúbitos ao redor, como uma lista de especificações para o grande



templo de Salomão, construído cerca de 950 a.C. A circunferência era, pois, três vezes o diâmetro. Isto significa que os antigos Hebreus se contentavam em atribuir a π o valor 3, que é um arredondamento para baixo muito próximo do valor que conhecemos hoje. Este valor foi muito possivelmente encontrado por medições e cálculos Matemáticos de várias épocas e povos tentaram buscar uma racionalidade para o π . No entanto, chegaram a uma incrível descoberta para a época: a existência de números irracionais, aqueles que numa explicação grosseira para os leigos, são indivisíveis em porções iguais, sempre sobrando restos, ou tendo dízimas periódicas. No entanto, a prova de que π é um número irracional só foi feita na modernidade, por Johann Lambert, em 1761, e

Legendre, em 1794. E além de irracional, π é um número transcendente, o que foi provado por Ferdinand Lindemann em 1882, o que significa que não existe um polinômio com coeficientes inteiros ou racionais do qual π seja uma raiz. Não é lindo isso? É muito difícil de calculá-lo porque sendo um número irracional, sua representação decimal não apresenta nenhuma previsibilidade. Um dos problemas mais intrigantes na antiguidade, era a chamada quadratura do círculo. O que seria a mesma coisa que dizer que eu poderia construir usando apenas uma régua não graduada e compasso, um quadrado de área igual à área de um círculo dado. A primeira menção deste fato é feita por volta do ano 2000 a.C. E sabemos disso graças ao que nos revela o o papiro Rhind, um documento egípcio descoberto em 1855.

Muitos nomes da história da matemática dedicaram parte de suas vidas ao estudo dessa tão importante constante matemática, desde os gregos clássicos como Hippocrates de Chios, Arquimedes, Euclides, Aristóteles, até aos mais proeminentes nomes da matemática moderna, como Euler, Gauss, Galois, e até mesmo os pais do cálculo, Leibniz e Newton debruçaram-se sobre papéis em sob o cheiro das lamparinas para estudar o impacto de 3,14 possibilidades sobre as coisas. Até o primeiro computador moderno construído pelo homem, o ENIAC entrou na brincadeira, e foi usado para calcular casas decimais do π .

O Renascimento Europeu trouxe uma nova concepção da matemática, preocupada em provar as afirmações já feitas, com uma matemática mais estruturada. Houve a necessidade de calcular o número π de demonstrar a sua irracionalidade. Descobriu-se então a definição não geométrica de π e do papel "não geométrico". Assim se chegou à descoberta das representações de ppor séries infinitas. Um dos primeiros foi Wallis com a

$$\pi = 2 \left(\frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{6}{7} \cdots \right).$$

Equação 1

$$\pi = 4 \operatorname{arctg}(1) = 4 \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \cdots \right) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 4}{2n+1}, \text{ Equação 3}$$

$$\pi = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{16^n} \left(\frac{4}{8n+1} - \frac{2}{8n+4} - \frac{1}{8n+5} - \frac{1}{8n+6} \right), \text{ Equação 4}$$

série da equação 1.

Depois Newton com a série de potências da função arco seno, que é uma série de convergência muito boa, com 50 termos da série obtém-se 30 dígitos exatos de π (equação 2).

Conhecida como fórmula de Gregory-Leibniz, surge em 1670 sua série (equação 3).

Mas que tem contra ela o fato de ser muito trabalhosa e lenta para se conseguir avançar nas casas decimais.

E assim vamos passando, geração após geração, até chegarmos ao conhecimento que temos hoje sobre o assunto, onde em 1997, David Bailey, Peter Borwein e Simon Plouffe contabilizaram 10 bilhões de casas decimais para π , usando a fórmula da equação 4. Esta fórmula permite calcular em base 16 (e consequentemente em base 2) qualquer um dos dígitos decimais de π sem precisar calcular os dígitos precedentes. Que junto com a tecnologia dos nossos computadores modernos,

podem nos dar milhares de casas decimais do π em poucos dias.

Então toda vez que ver um pilar de ponte, uma caixa d'água, um prédio, ou tantas outras coisas onde o é aplicado. Ou quando se questionar onde irá usar isso em sua vida, lembre-se que muitas das mentes mais importantes que nosso planeta já presenciou, dedicaram parte de sua existência ao estudo e compreensão dessa bela constante matemática tão presente em sua vida, e que graças a eles, temos o que temos, desfrutamos do que desfrutamos, aproveitamos de tecnologias e ferramentas, otimizadas por uma das formas mais comuns da natureza, graças ao entendimento de homens capazes de enxergar além do invisível e compreender além do racional. A compreensão está em entender a importância para nossa espécie, nunca para um único indivíduo.

Maico Zoran é matemático, astrônomo amador e membro fundador do Clube de Astronomia Edmond Halley

Para saber mais:

Uma breve História do π
José Carlos S. Oliveira Santos;
Faculdade de Ciências do Porto

Equação 2

$$\pi = 6 \operatorname{arcsen} \left(\frac{1}{2} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n)!}{2^{4n} (n!)^2} \frac{3}{2n+1},$$



REVISTA DE DIVULGAÇÃO DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS DA NATUREZA

AstroNova é uma colaboração de entusiastas, estudantes, professores, astrônomos amadores e profissionais para a divulgação de Astronomia e Ciências da Natureza. É trimestral, com divulgação gratuita. É permitida sua reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.

Disponível em:
www.astronova.com.br

Nos acompanhe nas redes sociais:

 **[/revistaastronova](https://www.youtube.com/revistaastronova)**

 **[/AstroNovaBrasil](https://www.facebook.com/AstroNovaBrasil)**

 **[/rev_astronova](https://twitter.com/rev_astronova)**

 **[/revistaastronova](https://www.instagram.com/revistaastronova)**

 **[/astronova](https://www.soundcloud.com/astronova)**