

Matéria Escura e Energia Escura

Lavínia Aparecida Arantes dos Santos

Mariana Oliveira da Rosa Juzinskas



Projeto Desmistificando a Astronomia

Orientador: *Prof. Dr. Sebastião Mauro Filho*



INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Minas Gerais

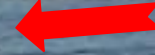
Do que o universo é feito?



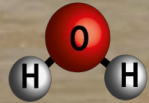
6
C
CARBONO
12,011



7
N
Nitrogênio
14,007



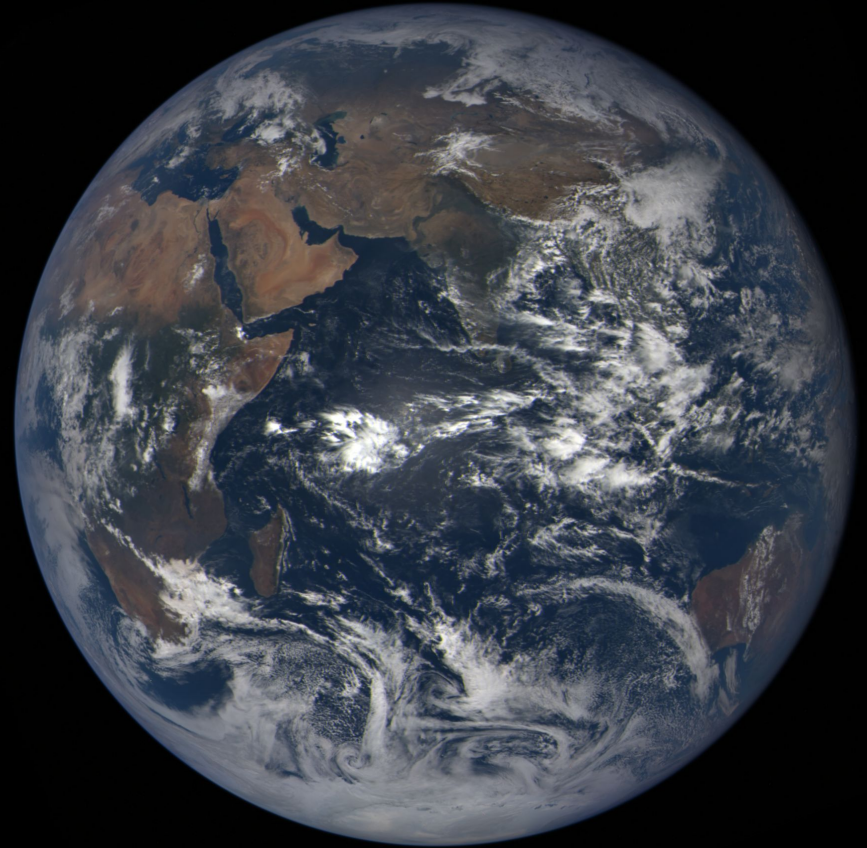
Aluminium
13
Al
26,982



Abundância dos elementos químicos na Terra

Ferro	34,6%
Oxigênio	29,5%
Silício	15,2%
Magnésio	12,7%
Níquel	2,4%
Enxofre	1,9%

Fonte: A.M.A. Morais (2009) e A.F. Soto (2016).



Crédito: EPIC/Nasa.

Periodic Table of the Elements

1 IA										2 IIA										13 IIIA										14 IVA										15 VA										16 VIA										17 VIIA										18 VIIIA																																																																																																													
1 H Hydrogen 1.008																																																																						2 He Helium 4.002602																																																																																																													
3 Li Lithium 6.94										4 Be Beryllium 9.0121831																																																																																																																																																																									
11 Na Sodium 22.98976928										12 Mg Magnesium 24.305																																																																																																																																																																									
19 K Potassium 39.0983										20 Ca Calcium 40.078										3 IIB										4 IVB										5 VB										6 VIB										7 VIIB										8 VIIIB										9 VIIIB										10 VIIIB										11 IB										12 IIB										5 B Boron 10.81										6 C Carbon 12.011										7 N Nitrogen 14.007										8 O Oxygen 15.999										9 F Fluorine 18.998403163										10 Ne Neon 20.1797									
24 Cr Chromium 51.9961										25 Mn Manganese 54.938044										26 Fe Iron 55.845										27 Co Cobalt 58.933194										28 Ni Nickel 58.6934										29 Cu Copper 63.546										30 Zn Zinc 65.38										31 Ga Gallium 69.723										32 Ge Germanium 72.630										33 As Arsenic 74.921595										34 Se Selenium 78.971										35 Br Bromine 79.904										36 Kr Krypton 83.798																																																											
37 Rb Rubidium 85.4678										38 Sr Strontium 87.62										39 Y Yttrium 88.90584										40 Zr Zirconium 91.224										41 Nb Niobium 92.90637										42 Mo Molybdenum 95.95										43 Tc Technetium (98)										44 Ru Ruthenium 101.07										45 Rh Rhodium 102.90550										46 Pd Palladium 106.42										47 Ag Silver 107.8682										48 Cd Cadmium 112.414										49 In Indium 114.818										50 Sn Tin 118.710										51 Sb Antimony 121.750										52 Te Tellurium 127.60										53 I Iodine 126.90447										54 Xe Xenon 131.293									
55 Cs Caesium 132.90545196										56 Ba Barium 137.327										57 - 71 Lanthanoids										72 Hf Hafnium 178.49										73 Ta Tantalum 180.94788										74 W Tungsten 183.84										75 Re Rhenium 186.207										76 Os Osmium 190.23										77 Ir Iridium 192.227										78 Pt Platinum 195.084										79 Au Gold 196.966569										80 Hg Mercury 200.592										81 Tl Thallium 204.38										82 Pb Lead 207.2										83 Bi Bismuth 208.98040										84 Po Polonium (209)										85 At Astatine (213)										86 Rn Radon (222)									
87 Fr Francium (223)										88 Ra Radium (226)										89 - 103 Actinoids										104 Rf Rutherfordium (261)										105 Db Dubnium (268)										106 Sg Seaborgium (269)										107 Bh Bohrium (270)										108 Hs Hassium (289)										109 Mt Meitnerium (278)										110 Ds Darmstadtium (281)										111 Rg Roentgenium (282)										112 Cn Copernicium (285)										113 Nh Nihonium (286)										114 Fl Flerovium (289)										115 Mc Moscovium (289)										116 Lv Livermorium (293)										117 Ts Tennessine (294)										118 Og Oganesson (294)									



State of matter (color of name)
GAS **LIQUID** **SOLID** **UNKNOWN**

Subcategory in the metal-metalloid-nonmetal trend (color of symbol)
■ Alkali metal ■ Alkaline earth metal ■ Metalloid
■ Transition metal ■ Post-transition metal ■ Polyatomic nonmetal
■ Lanthanide ■ Actinide ■ Diatomic nonmetal ■ Noble gas ■ Unknown chemical properties

57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93033	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93422	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.9668
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (281)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)

E do que são feitos os corpos celestes?

celestes?

Ferro	?
Oxigênio	?
Silício	?
Magnésio	?
Níquel	?
Enxofre	?

Ou por algum elemento desconhecido?

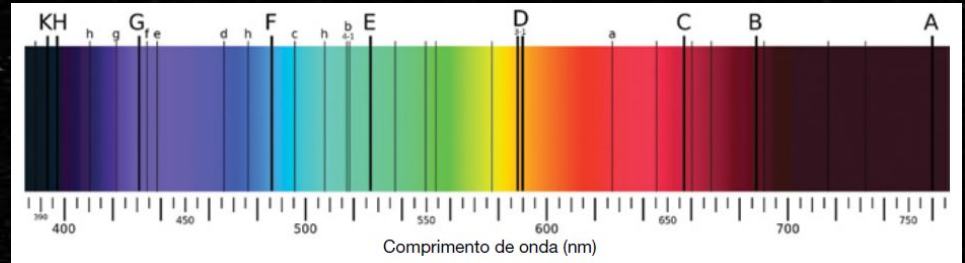


Pilares da Criação - Nebulosa da Águia

Crédito: Hubble, Nasa and ESA.

Espectroscopia

A luz de estrelas e galáxias que chega à Terra nos revela do que os corpos celestes são feitos.



2000/05/19 01:18

Espectro do Sol

Fonte: Perimeter - Institute for Theoretical Physics.


Os elementos químicos mais abundantes no universo

Hidrogênio	74%
Hélio	24%
Todos os demais	< 2%



Aglomerado de galáxias - ACO S 295

Crédito: Hubble, Nasa and ESA.



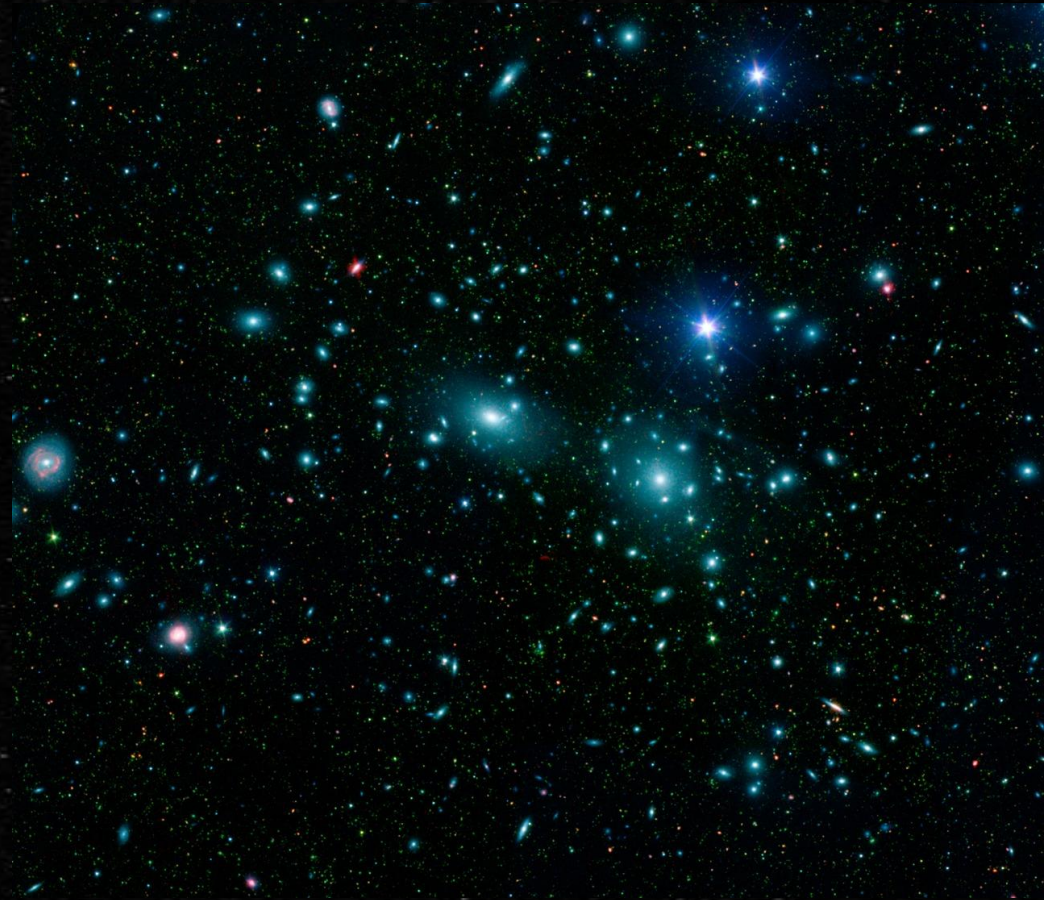
**Mas há algo de errado
com a quantidade de
matéria no universo**

Aglomerado de Coma

- **Mais de 1000 galáxias.**
- **Distância: 321 milhões de anos-luz da Terra.**
- **Duas grandes galáxias elípticas dominam o centro do aglomerado.**
- **O meio intergaláctico é preenchido por gás quente emissor de raios-X.**

Estabilidade gravitacional de Coma

- **Qual a velocidade média das galáxias?**
- **A gravidade gerada pela matéria luminosa é suficiente para manter o aglomerado unido?**



Aglomerado de Coma - Abell 1656

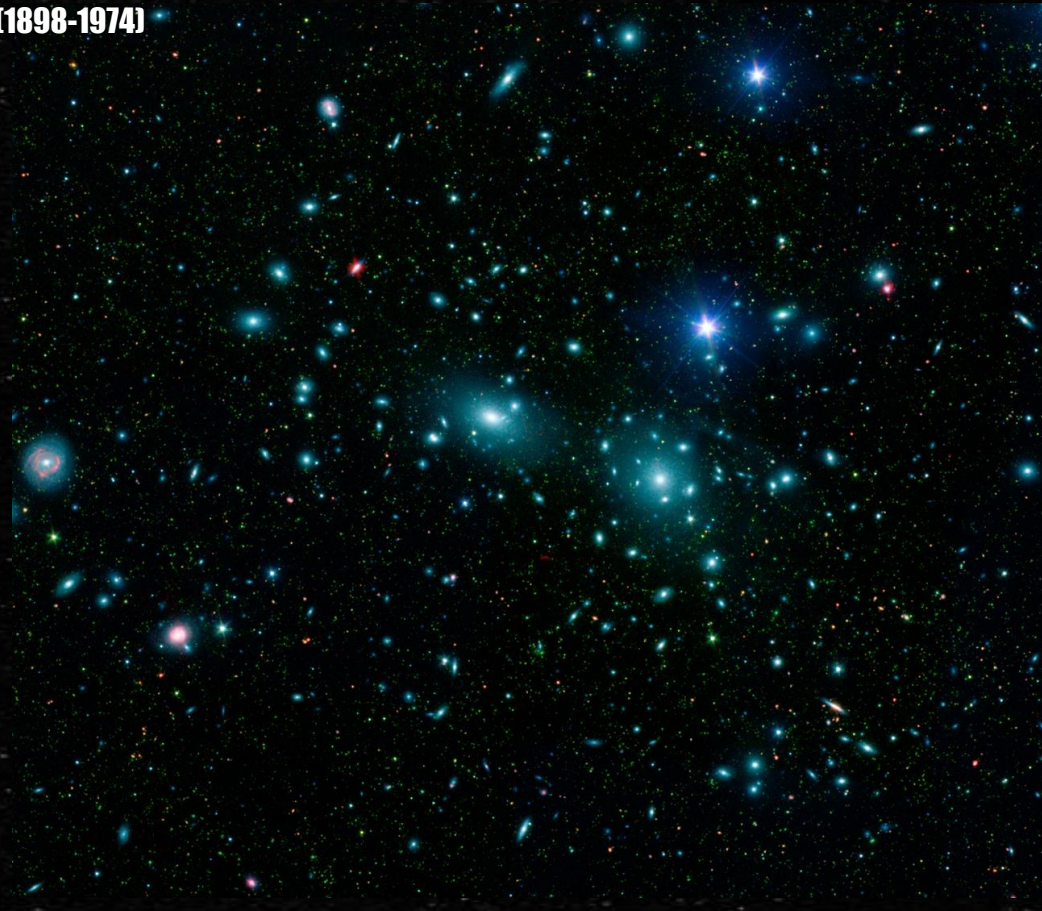
Crédito: Nasa/JPL - Caltech/L. Jenkins.



Fritz Zwicky (1898-1974)

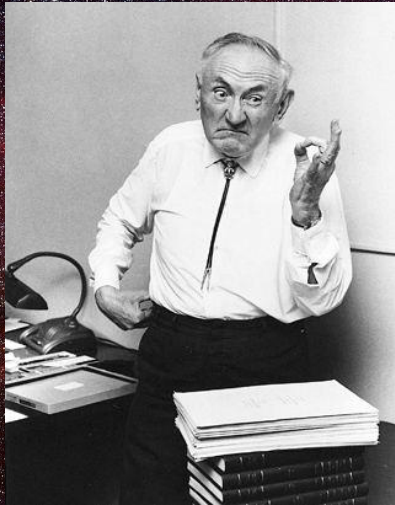
Gravidade x Massa

- Assume-se que o aglomerado está em equilíbrio hidrostático.
- A velocidade de dispersão das galáxias é grande o suficiente para desestabilizar o aglomerado.
- A massa observada ($10^{13} M_{\odot}$) é 10 vezes menor do que a necessária para manter o aglomerado estável.



Aglomerado de Coma - Abell 1656

Crédito: Nasa/JPL - Caltech/L. Jenkins.



Matéria Escura!!!

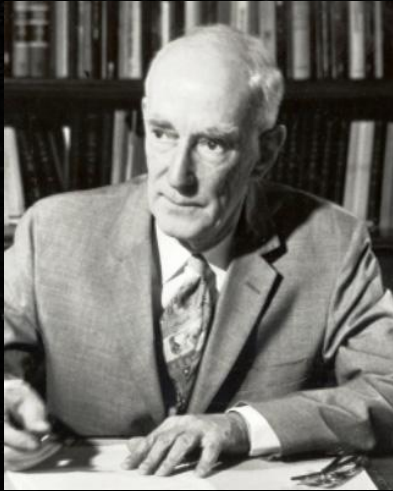
Como explicar a diferença entre as massas observadas no aglomerado de Coma e aquelas previstas para mantê-lo em equilíbrio?

Hipótese 1: Uma nova teoria gravitacional.

Hipótese 2: As velocidades estão sendo estimadas erroneamente.

Hipótese 3: Há um novo tipo de matéria exótica no universo.

Fritz postulou um novo tipo de matéria.



Jan H. Oort (1900-1992)

- Estudou a dinâmica do Aglomerado de Virgem (1932, antes de Fritz).
- Aproximadamente 2500 galáxias.
- A velocidade de dispersão das galáxias é de 750 km/s.
- Oort demonstrou que sua massa é insuficiente para mantê-lo gravitacionalmente unido.



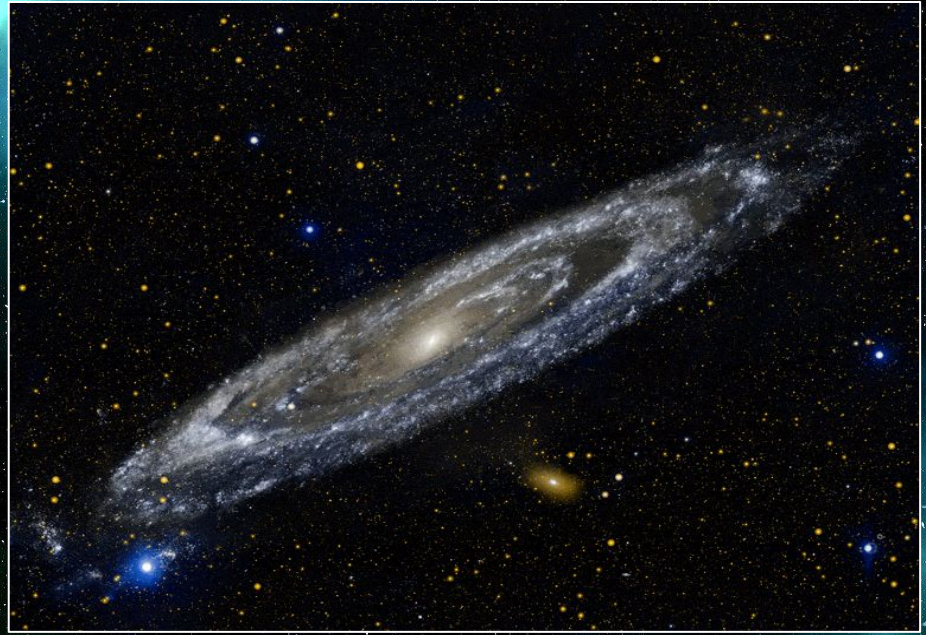
Aglomerado de Virgem

Crédito: F. Pena and Nasa.

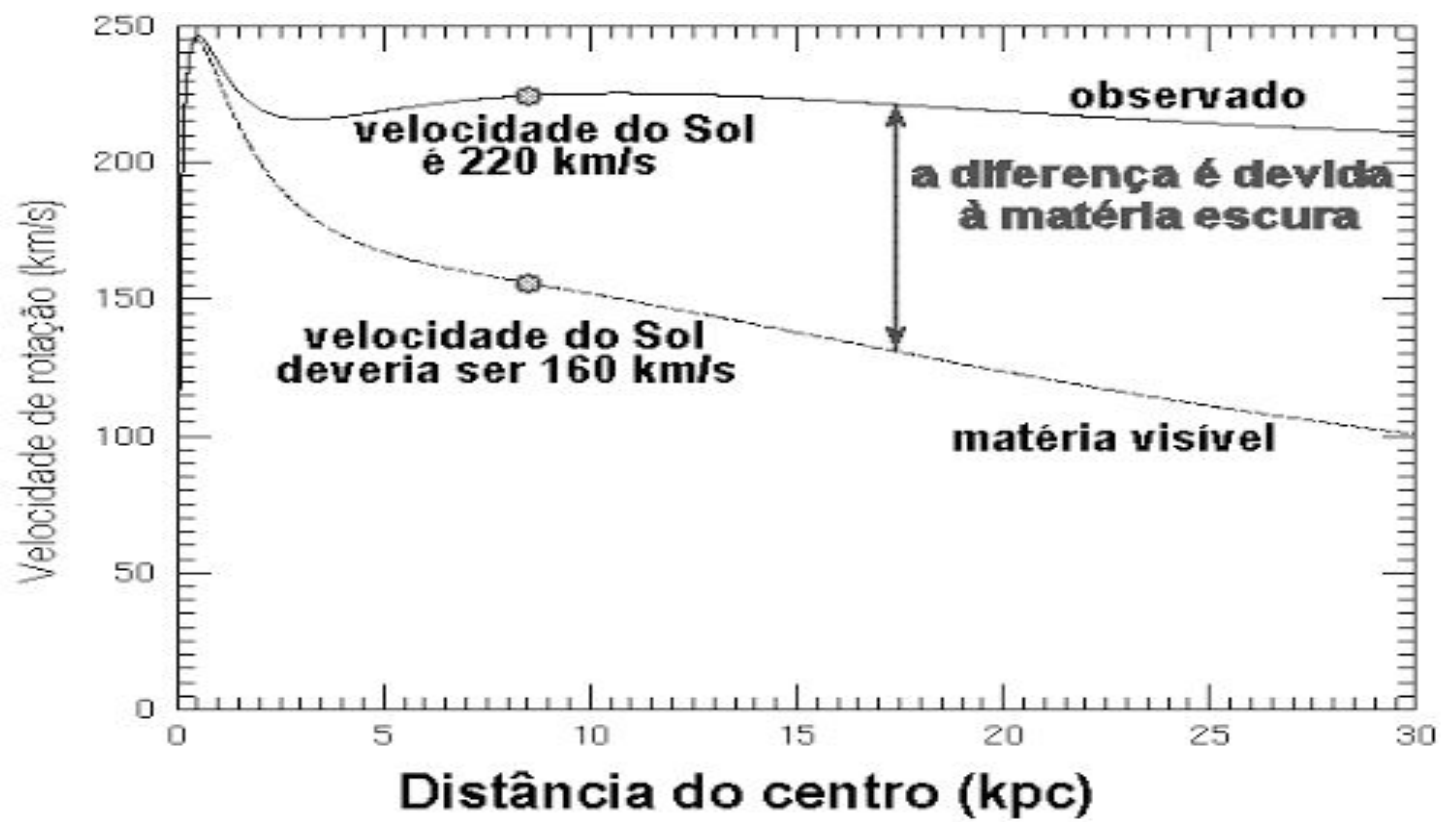
Curvas de rotação de galáxias: Outra evidência



Vera Rubin (1928-2016)



- Estudou a dinâmica de estrelas individuais em M31.
- Estrelas do tipo cefeidas (brilho variável) localizadas fora do disco galáctico e distantes do centro.
- A velocidade orbital deveriam cair com a distância.
- Rubin observou que as velocidades eram maiores do que o esperado.



Fonte: INPE (2018).

Distribuição de matéria escura em torno das galáxias:

Halo de matéria escura.

Extent of Survey
around the Sun

Dark Matter Halo

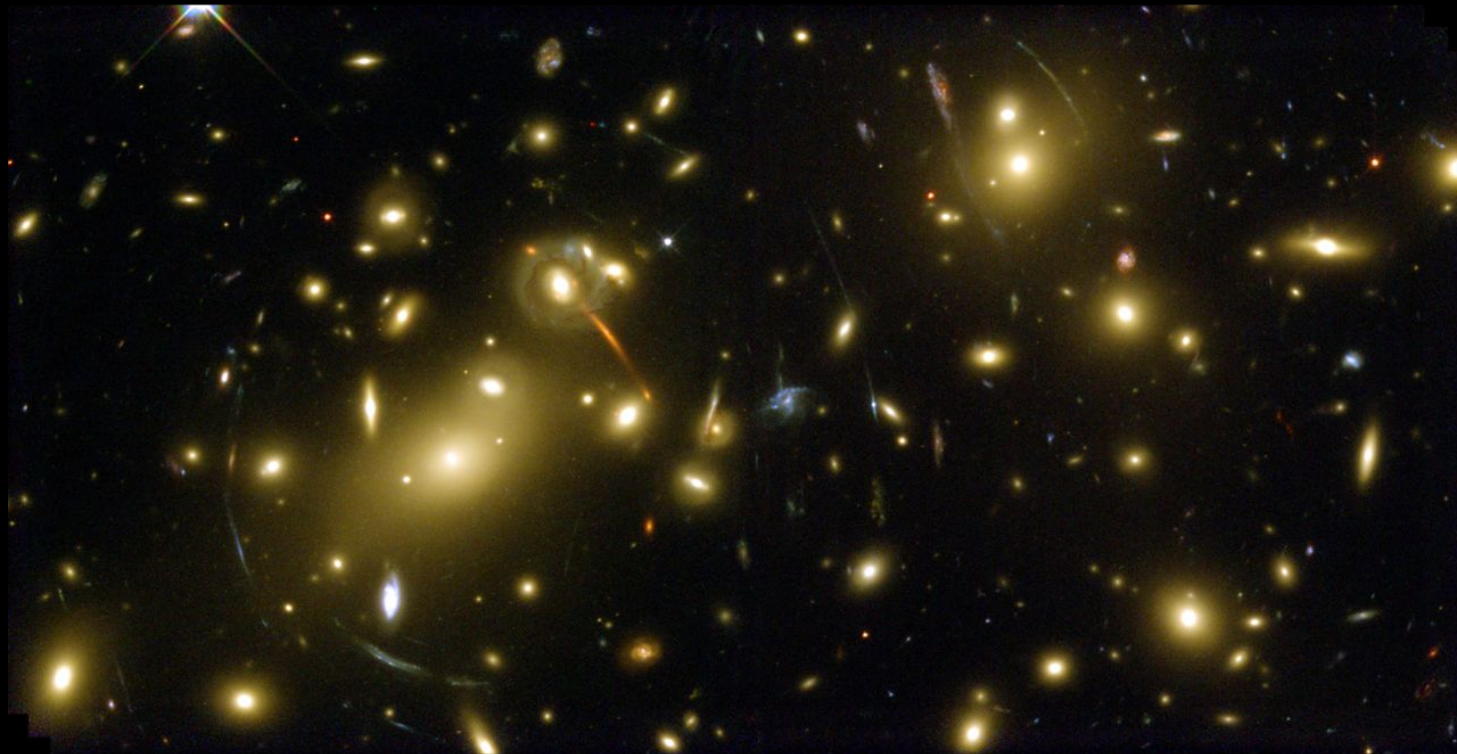
Milky Way

- **As galáxias estão submersas em um grande halo de matéria invisível.**
- **A distribuição desta matéria deve ser esférica.**
- **A densidade deve diminuir a partir do centro.**
- **A quantidade total de matéria escura é de 5 a 10 vezes a quantidade de matéria visível.**

Matéria escura: hipóteses.

- Matéria bariônica “escura”: nêutrons e prótons não condensados em estrelas.
- Estrelas anãs marrons: não possuem massa suficientes para fundir o hidrogênio em hélio.
- Buracos negros compactos e planetas errantes.
- Matéria exótica: não emite qualquer tipo de radiação e estrutura interna desconhecida.

Mas peraí, se a matéria escura permeia tudo, porém não a vemos e nem tocamos, como detectá-la?



Abell 2218 - aglomerado de galáxias

Crédito: Nasa, Andrew Fruchter and ERO team.



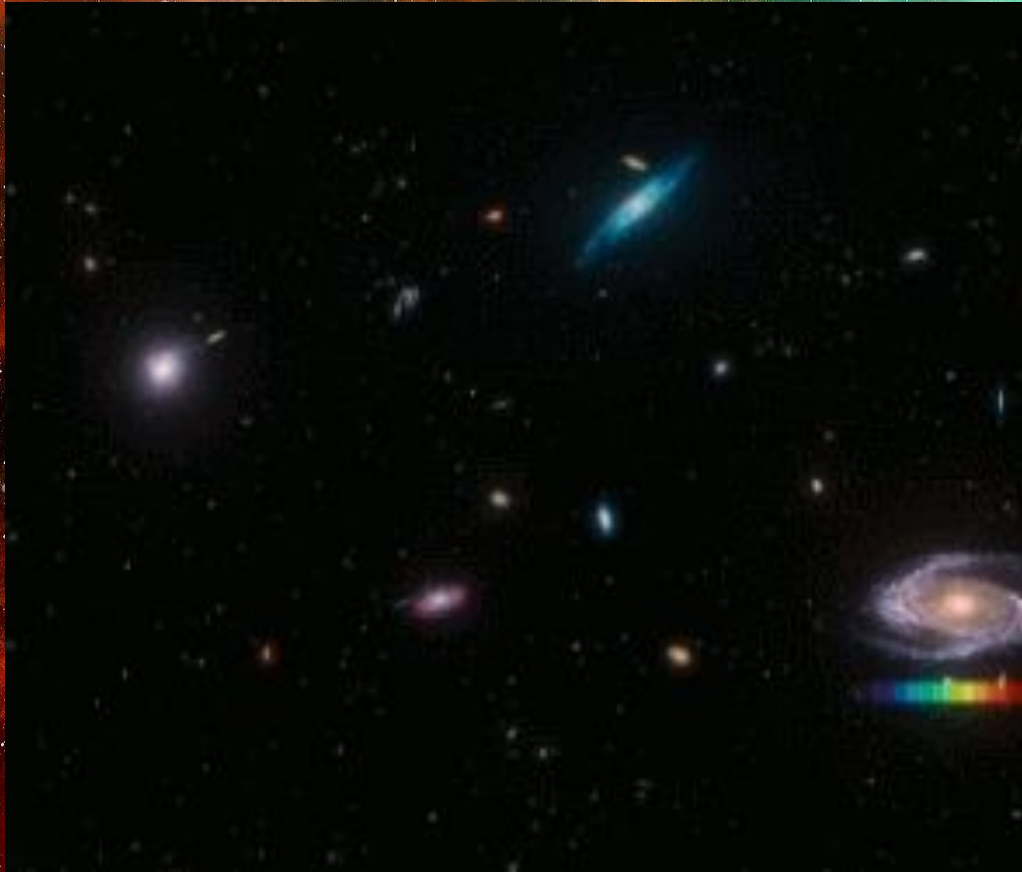
**Há mais um grande
mistério no universo**

O século XX foi extremamente importante para a cosmologia e para Física, pois foi neste século que descobriu-se a existência de galáxias.



E foi também neste século que ocorreu outra importante descoberta:

O universo está em expansão acelerada!!

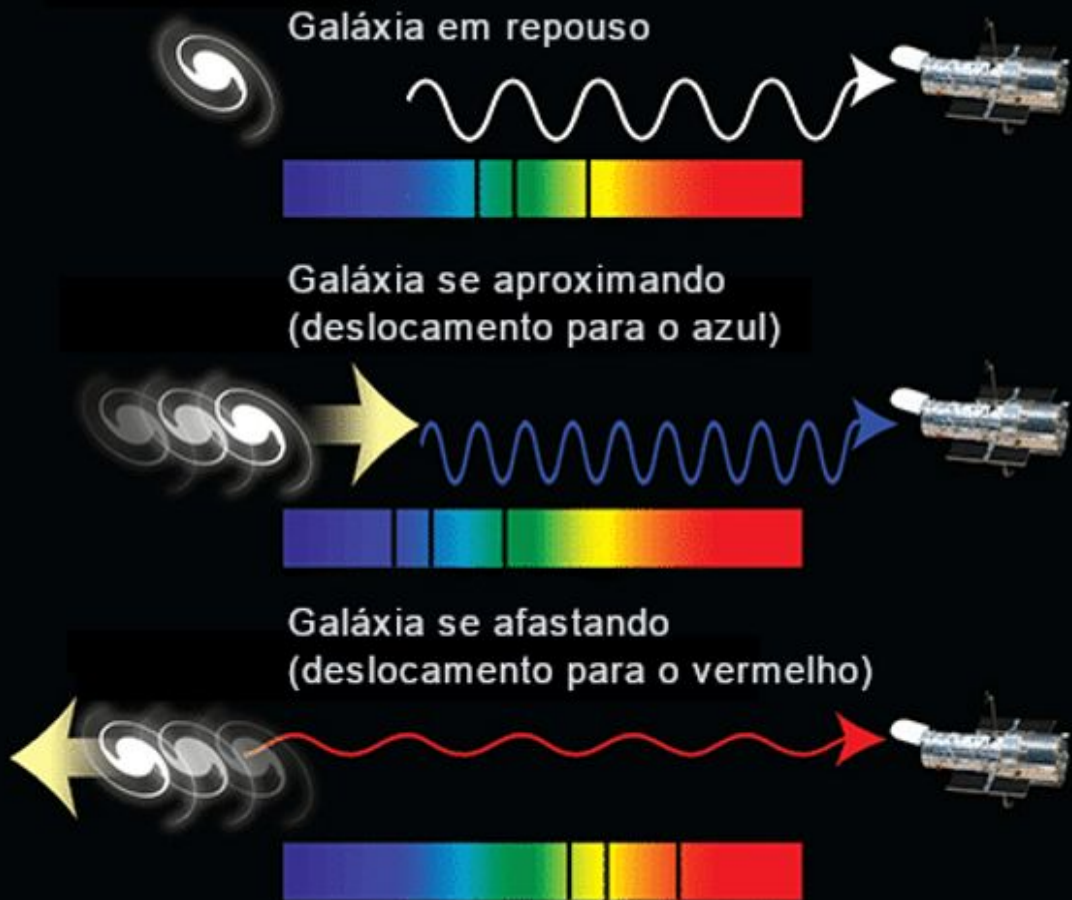


Observações de Hubble

- 1923: Hubble descobre a existência de galáxias.
- Analisa o espectro de diversas galáxias do grupo local.
- Percebe que os espectros apresentam um deslocamento para o vermelho.
- 1929: Conclui que o universo está em expansão.

Efeito Doppler para a Luz

O movimento relativa entre a fonte emissora e o observador altera a frequência da luz ou, equivalentemente, o comprimento de onda.

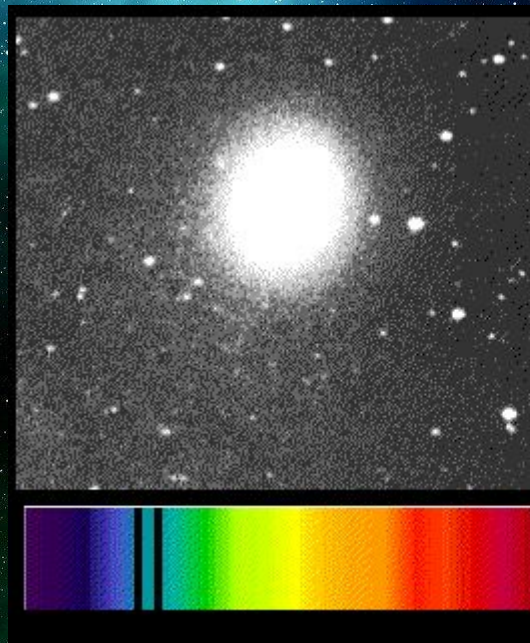


Lei de Hubble

$$V = H_0 \cdot d$$

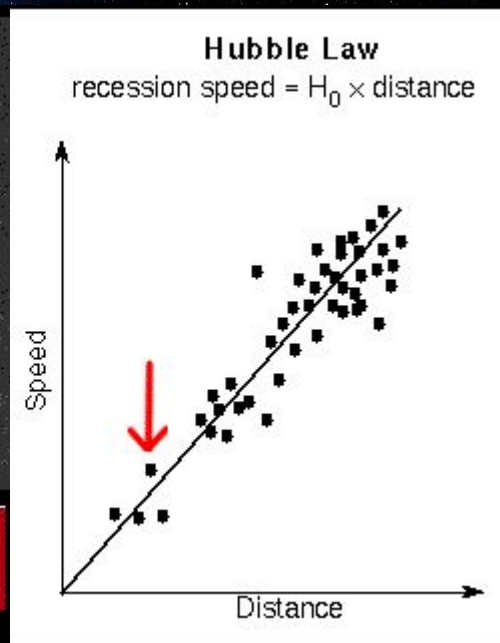
- **V**: velocidade de recessão.
- **H₀**: constante de Hubble.
- **d**: distância entre a galáxia e o observador.

Quanto mais longe a galáxia está da Terra, mais rapidamente ela se afasta de nós.



RedShift

As linhas espectrais se deslocam em direção ao vermelho (grande comprimento).



Dinâmica da expansão: possibilidades.

- i. A expansão possui um ritmo constante no tempo.
- ii. A expansão está em um ritmo cada vez mais lento (desacelerando).
- iii. A expansão está em um ritmo cada vez mais rápido (acelerando).



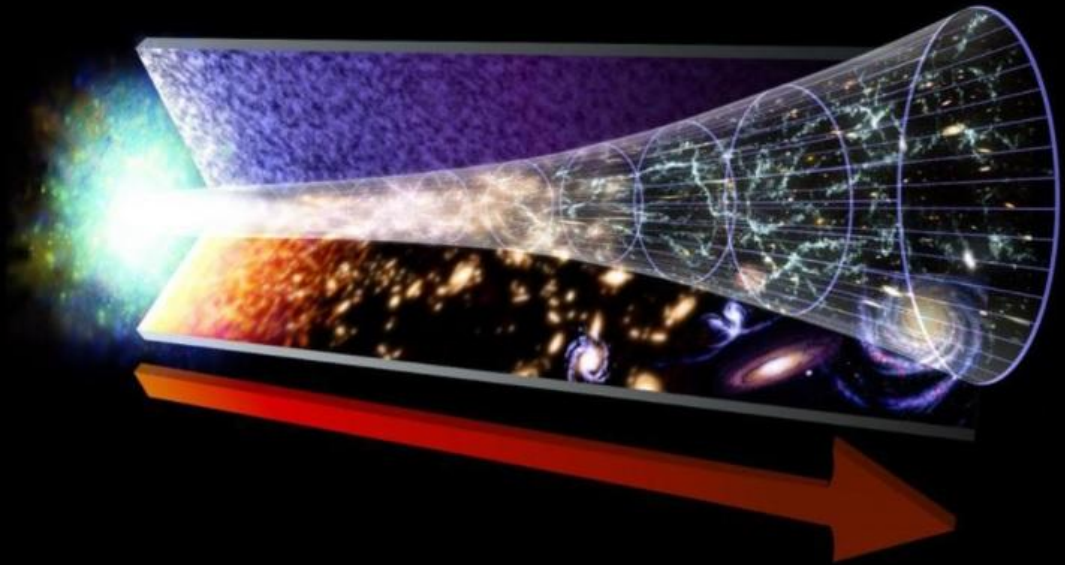
Analogia entre a expansão do Universo e um balão inflando

Crédito: Nature and TAKE 27 LTD/SPL.

Expansão Acelerada

1998: A partir do estudo das supernovas do tipo Ia (velas-padrão), foi possível verificar que a expansão do universo está cada vez mais rápida.

Mas qual é a causa desta aceleração?

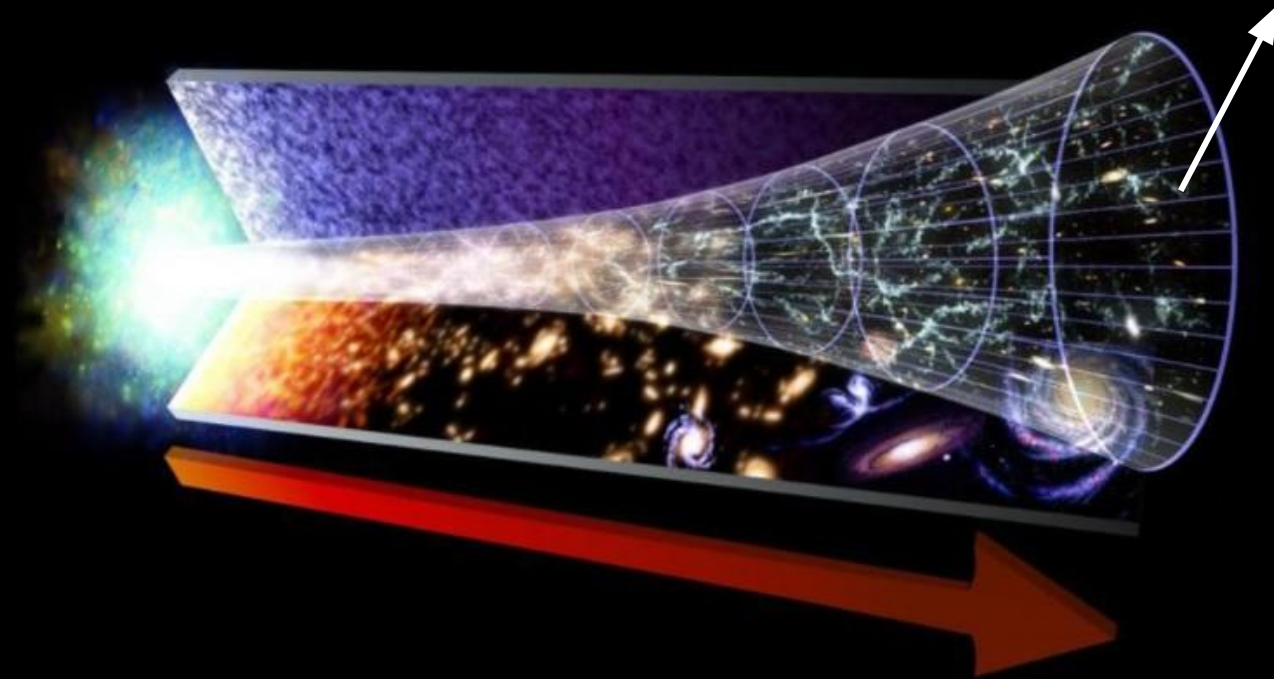


Universo em expansão acelerada

Crédito: NASA / GSFC.

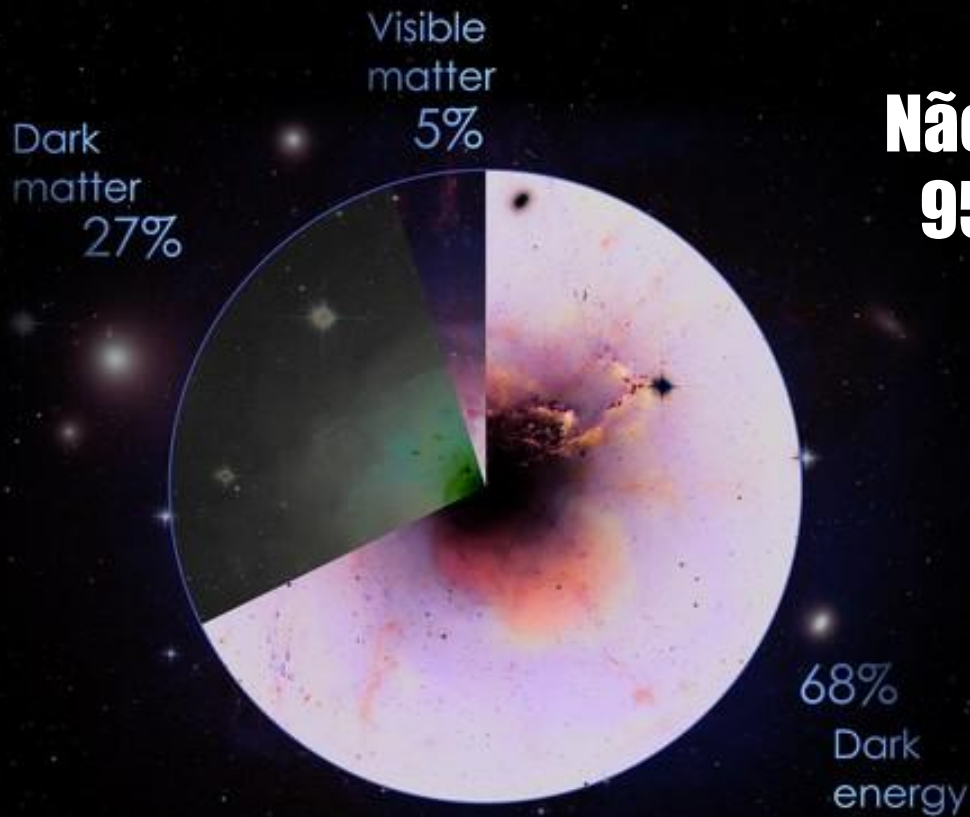
Energia Escura:

ela é o motor propulsor (a causa da aceleração) da expansão do universo.



Energia escura

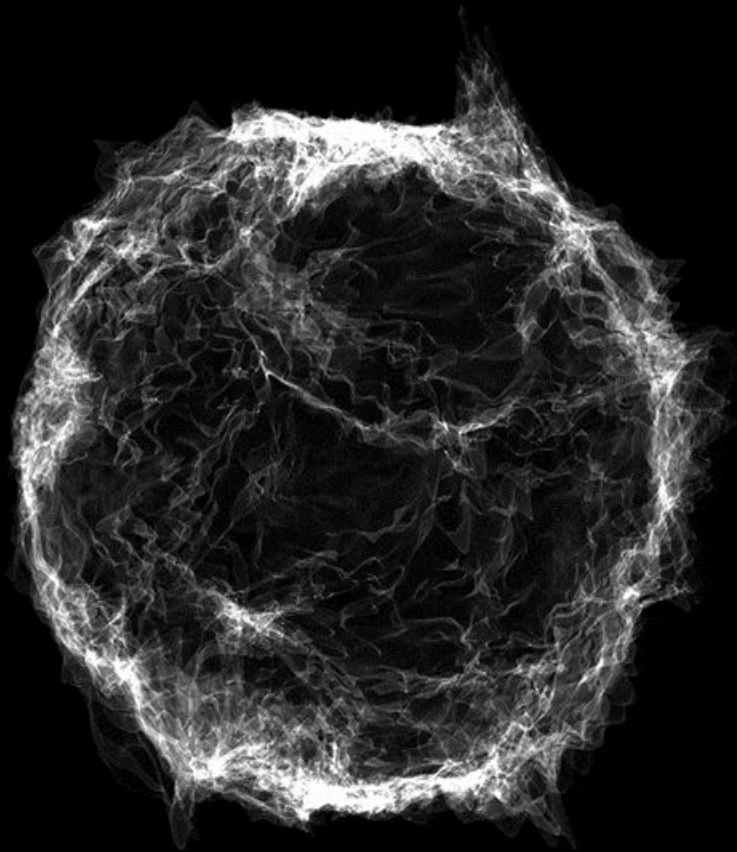
- Recebe este nome devido ao fato de que não conhecemos a sua natureza.
- Acelera a expansão do universo.
- Pode ser uma propriedade intrínseca da própria estrutura do espaço-tempo.
- Também pode ser um fluido exótico que preenche todo o universo mas com a propriedade de gerar pressão negativa (“anti-gravidade”).



**Não sabemos do que
95% do universo é
feito.**

The background of the image is a deep space scene filled with a vast field of stars. The stars vary in color, including bright yellow, orange, and blue, and many exhibit prominent diffraction spikes. In the distance, several galaxies are visible, including a prominent spiral galaxy on the right side and various other galaxy clusters and structures scattered across the field.

**Qual a diferença entre matéria e energia
escura?**



"How stars move tell us that most matter in the universe is dark. When we see stars in the sky, we're only seeing five or 10 percent of the matter that there is in the universe."

Vera Rubin

Obrigada!!!

Referências

A. C. Milone, et al, *Introdução à Astronomia e Astrofísica*, INPE, São José dos Campos, 2018.

A.M.A. Morais, *A origem dos elementos químicos*, Livraria da Física, 2008.

A.F. Soto, *Depois do Big Bang*, Descobrir a Ciência, 2016.

Massa do Aglomerado de Coma: <https://sites.astro.caltech.edu/~george/ay21/ea/ea-comacluster.pdf>

F. Zwicky, *The redshift of extragalactic nebulae*, *General Relativity and Gravitation*, **41**, 207-224, (2009).

J. H. Oort, Dark Matter, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1932BAN....6..249O/abstract>

Documentário Universo na History Channel- Dark Matter de Erik Thompson

Palestra: O Universo Desconhecido e a matéria escura de Ivone Freire Mota Albuquerque pelo Instituto de Física

Imagens

Terra:

https://epic.gsfc.nasa.gov/galleries/2020/lunar_occultation

Pilares da Criação:

<https://www.nasa.gov/content/goddard/hubble-goes-high-definition-to-revisit-iconic-pillars-of-creation>

Aglomerado de Galáxias - ACO S 295

<https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2021/hubble-gazes-at-a-galactic-menagerie>

Aglomerado de Coma:

<https://www.spitzer.caltech.edu/image/ssc2007-10a1-dwarf-galaxies-in-the-coma-cluster>

Aglomerado de Virgem:

<https://apod.nasa.gov/apod/ap201010.html>

Analogia entre a expansão do Universo e um balão inflando

<https://www.nature.com/articles/nature.2013.13379>

Imagens

Imagem da Via Láctea:

<https://tenor.com/view/via-lactea-milky-way-spin-galaxy-space-gif-17478040>

Supernova do Tipo Ia (G299):

https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/exploded-star-blooms-like-flower-photo.html

Universo em expansão acelerada:

<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2021/01/05/how-is-the-universe-accelerating-if-the-expansion-rate-is-dropping/?sh=33b5b0ba4093>

Abell 2218 - aglomerado de galáxias

<https://hubblesite.org/contents/media/images/2000/07/942-Image.html>