

# 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

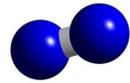
**Do que o universo é feito?**



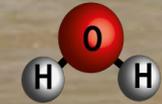
6  
**C**  
CARBONO  
12,011



7  
**N**  
Nitrogênio  
14,007



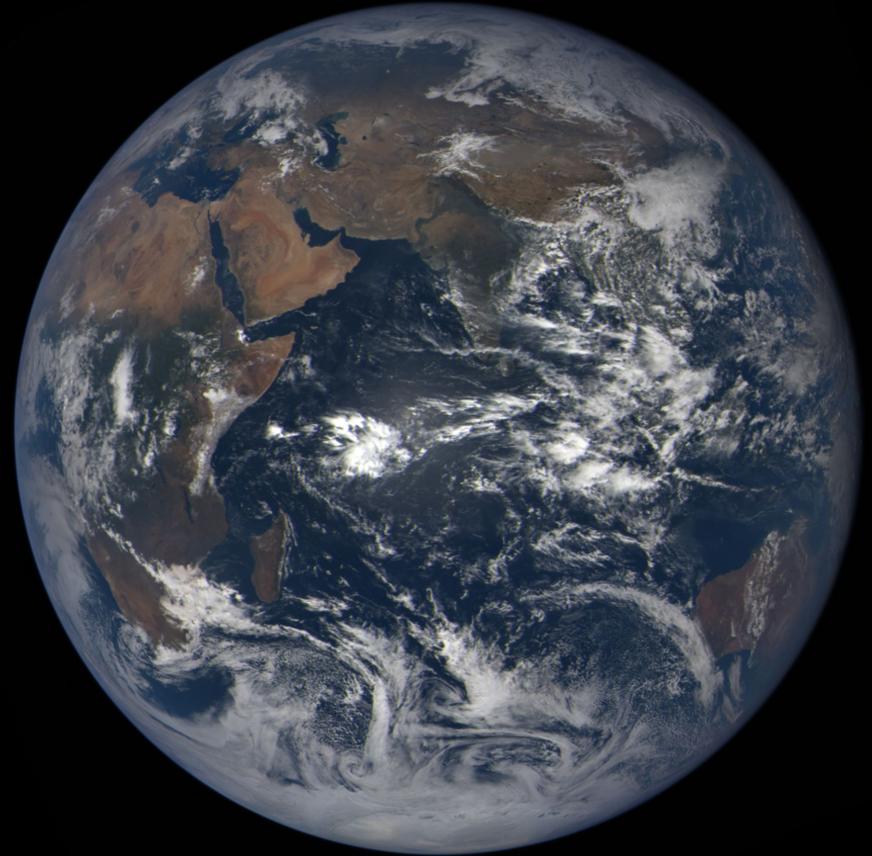
Aluminium  
13  
**Al**  
26,982



# 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

										Atomic Number → 1																															
										Symbol ←																															
										Name →																															
										Atomic Weight ←																															
<p><b>State of matter (color of name)</b>  <span style="color: red;">GAS</span> <span style="color: blue;">LIQUID</span> <span style="color: green;">SOLID</span> <span style="color: purple;">UNKNOWN</span></p> <p><b>Subcategory in the metal-metalloid-nonmetal trend (color of symbol)</b></p> <table border="0"> <tr> <td style="color: red;">■</td><td>Alkali metal</td> <td style="color: orange;">■</td><td>Alkaline earth metal</td> <td style="color: teal;">■</td><td>Metalloid</td> <td style="color: purple;">■</td><td>Noble gas</td> </tr> <tr> <td style="color: green;">■</td><td>Transition metal</td> <td style="color: cyan;">■</td><td>Post-transition metal</td> <td style="color: blue;">■</td><td>Polytomic nonmetal</td> <td style="color: grey;">■</td><td>Unknown chemical properties</td> </tr> <tr> <td style="color: darkgreen;">■</td><td>Lanthanide</td> <td style="color: darkcyan;">■</td><td>Actinide</td> <td style="color: pink;">■</td><td>Diatomic nonmetal</td> <td></td><td></td> </tr> </table>																		■	Alkali metal	■	Alkaline earth metal	■	Metalloid	■	Noble gas	■	Transition metal	■	Post-transition metal	■	Polytomic nonmetal	■	Unknown chemical properties	■	Lanthanide	■	Actinide	■	Diatomic nonmetal		
■	Alkali metal	■	Alkaline earth metal	■	Metalloid	■	Noble gas																																		
■	Transition metal	■	Post-transition metal	■	Polytomic nonmetal	■	Unknown chemical properties																																		
■	Lanthanide	■	Actinide	■	Diatomic nonmetal																																				
1 IA <b>H</b> Hydrogen 1.008	2 IIA <b>He</b> Helium 4.002602																																								
3 <b>Li</b> Lithium 6.94	4 <b>Be</b> Beryllium 9.0121831																																								
11 <b>Na</b> Sodium 22.98976928	12 <b>Mg</b> Magnesium 24.305																																								
			13 IIIA <b>B</b> Boron 10.81	14 IVA <b>C</b> Carbon 12.011	15 VA <b>N</b> Nitrogen 14.007	16 VIA <b>O</b> Oxygen 15.999	17 VIIA <b>F</b> Fluorine 18.998403163	18 VIIIA <b>Ne</b> Neon 20.1797																																	
19 <b>K</b> Potassium 39.0983	20 <b>Ca</b> Calcium 40.078	21 <b>Sc</b> Scandium 44.955908	22 <b>Ti</b> Titanium 47.867	23 <b>V</b> Vanadium 50.9415	24 <b>Cr</b> Chromium 51.9961	25 <b>Mn</b> Manganese 54.938044	26 <b>Fe</b> Iron 55.845	27 <b>Co</b> Cobalt 58.933194	28 <b>Ni</b> Nickel 58.6934	29 <b>Cu</b> Copper 63.546	30 <b>Zn</b> Zinc 65.38	31 <b>Ga</b> Gallium 69.723	32 <b>Ge</b> Germanium 72.630	33 <b>As</b> Arsenic 74.921595	34 <b>Se</b> Selenium 78.971	35 <b>Br</b> Bromine 79.904	36 <b>Kr</b> Krypton 83.798																								
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.4678	38 <b>Sr</b> Strontium 87.62	39 <b>Y</b> Yttrium 88.90584	40 <b>Zr</b> Zirconium 91.224	41 <b>Nb</b> Niobium 92.90637	42 <b>Mo</b> Molybdenum 95.95	43 <b>Tc</b> Technetium (98)	44 <b>Ru</b> Ruthenium 101.07	45 <b>Rh</b> Rhodium 102.90550	46 <b>Pd</b> Palladium 106.42	47 <b>Ag</b> Silver 107.8682	48 <b>Cd</b> Cadmium 112.414	49 <b>In</b> Indium 114.818	50 <b>Sn</b> Tin 118.710	51 <b>Sb</b> Antimony 121.750	52 <b>Te</b> Tellurium 127.60	53 <b>I</b> Iodine 126.90447	54 <b>Xe</b> Xenon 131.293																								
55 <b>Cs</b> Caesium 132.90545196	56 <b>Ba</b> Barium 137.327	57 - 71 Lanthanoids	72 <b>Hf</b> Hafnium 178.49	73 <b>Ta</b> Tantalum 180.94788	74 <b>W</b> Tungsten 183.84	75 <b>Re</b> Rhenium 186.207	76 <b>Os</b> Osmium 190.23	77 <b>Ir</b> Iridium 192.227	78 <b>Pt</b> Platinum 195.084	79 <b>Au</b> Gold 196.966569	80 <b>Hg</b> Mercury 200.592	81 <b>Tl</b> Thallium 204.38	82 <b>Pb</b> Lead 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuth 208.98040	84 <b>Po</b> Polonium (209)	85 <b>At</b> Astatine (213)	86 <b>Rn</b> Radon (222)																								
87 <b>Fr</b> Francium (223)	88 <b>Ra</b> Radium (226)	89 - 103 Actinoids	104 <b>Rf</b> Rutherfordium (261)	105 <b>Db</b> Dubnium (268)	106 <b>Sg</b> Seaborgium (269)	107 <b>Bh</b> Bohrium (270)	108 <b>Hs</b> Hassium (285)	109 <b>Mt</b> Meitnerium (278)	110 <b>Ds</b> Darmstadtium (281)	111 <b>Rg</b> Roentgenium (282)	112 <b>Cn</b> Copernicium (285)	113 <b>Nh</b> Nihonium (286)	114 <b>Fl</b> Flerovium (289)	115 <b>Mc</b> Moscovium (289)	116 <b>Lv</b> Livermorium (293)	117 <b>Ts</b> Tennessine (294)	118 <b>Og</b> Oganesson (294)																								

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

# E do que são feitos os corpos celestes?

## celestes?

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

**Ou por algum elemento desconhecido?**

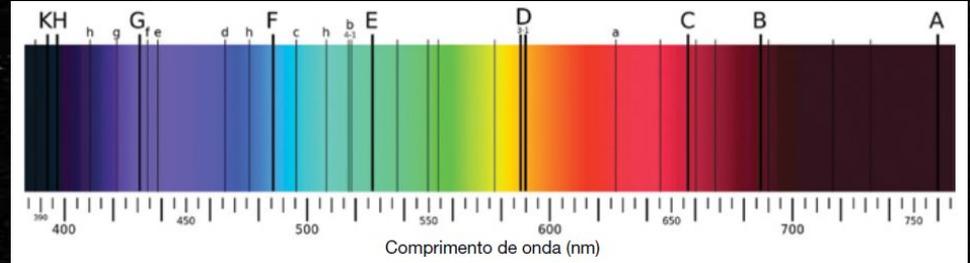


**Pilares da Criação - Nebulosa da Águia**

*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.

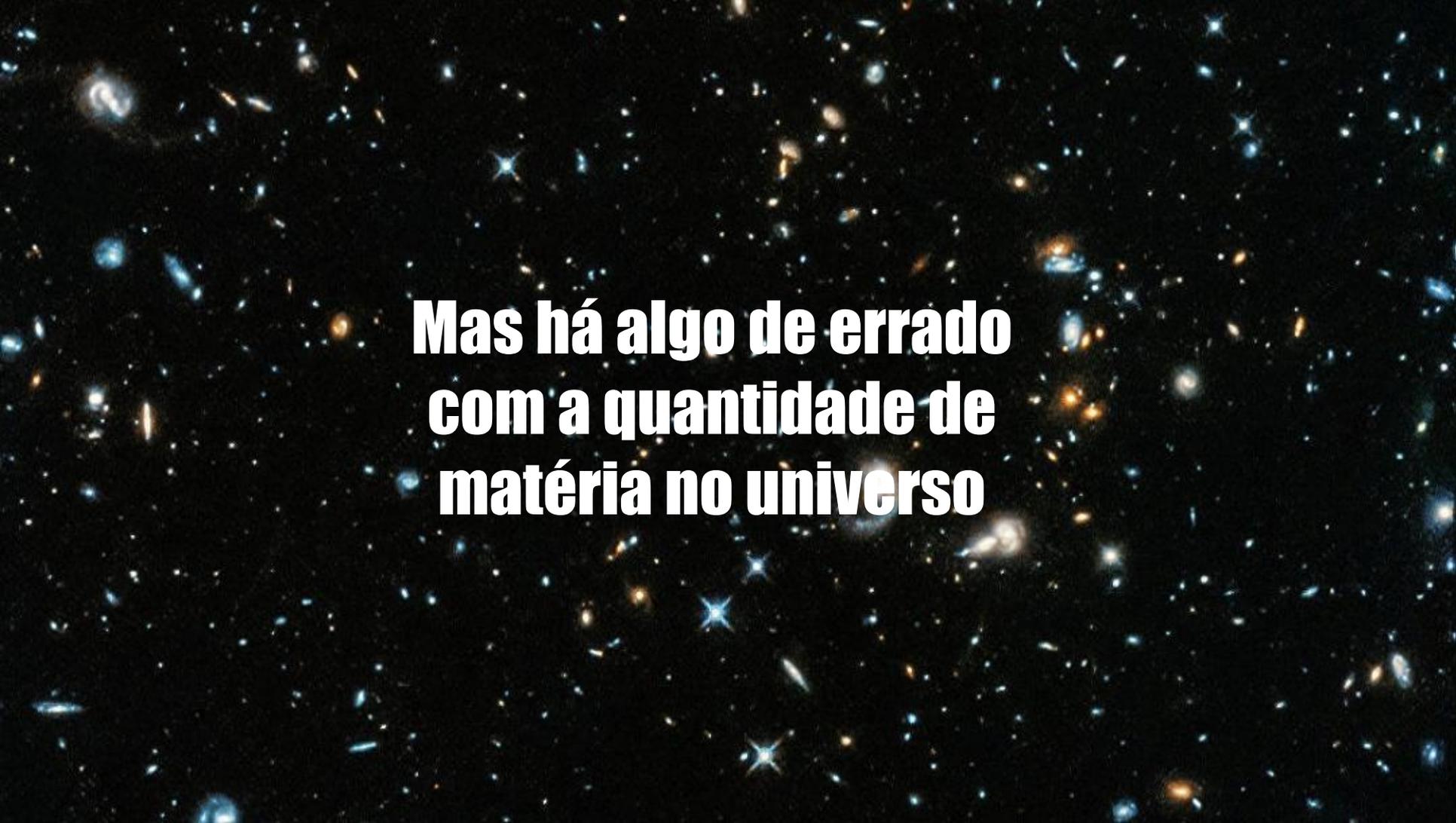
## Os elementos químicos mais abundantes no universo

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**

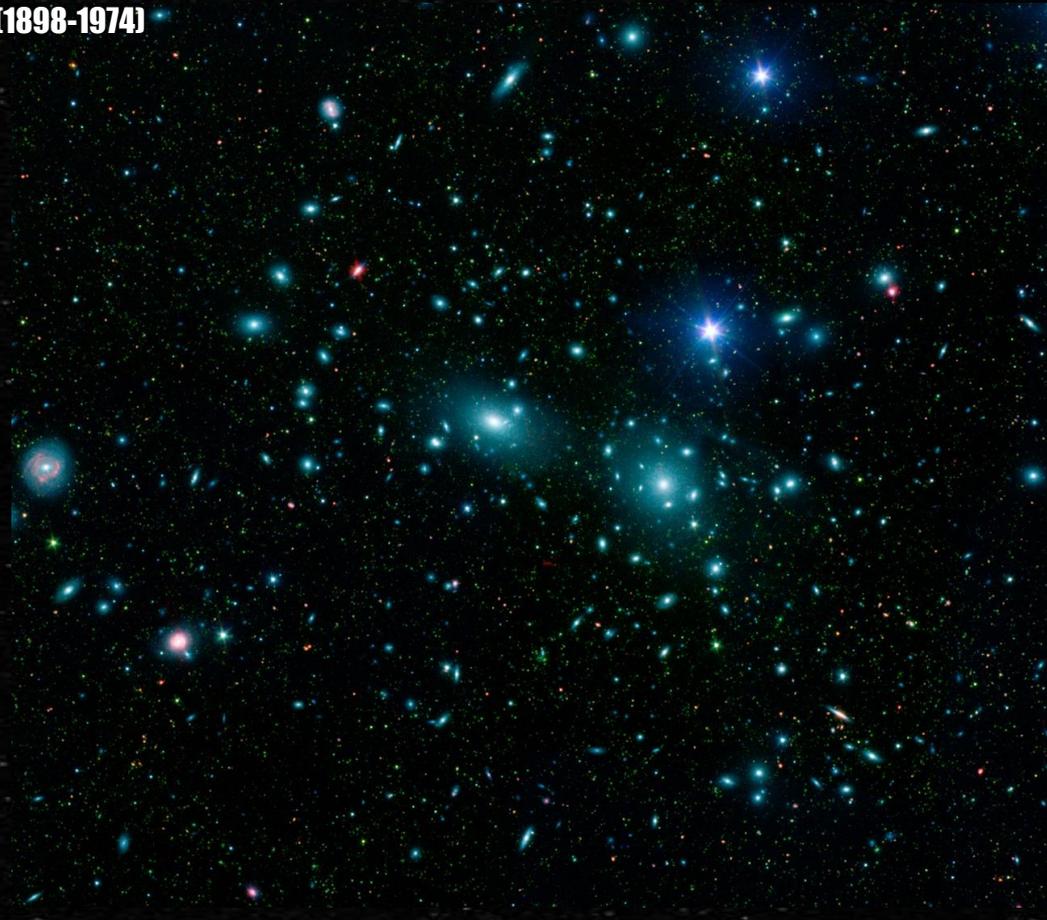
*Crédito: Nasa/JPL - Caltech/L. Jenkins.*



**Fritz Zwicky (1898-1974)**

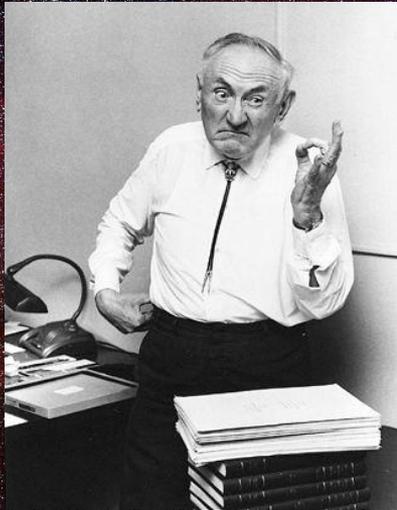
## Gravidade x Massa

- 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!!!**

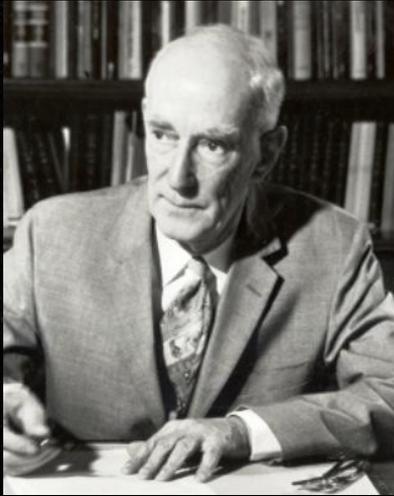
**Como explicar a diferença entre as massas observadas no aglomerado de Coma e aquelas previstas para mantê-lo em equilíbrio?**

**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.



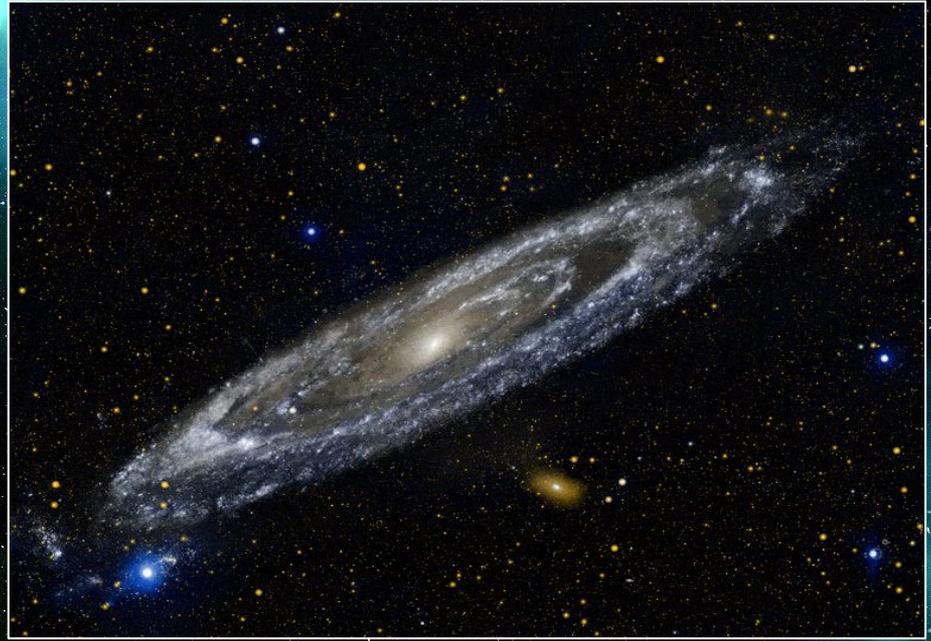
### **Aglomerado de Virgem**

*Crédito: F. Pena and Nasa.*

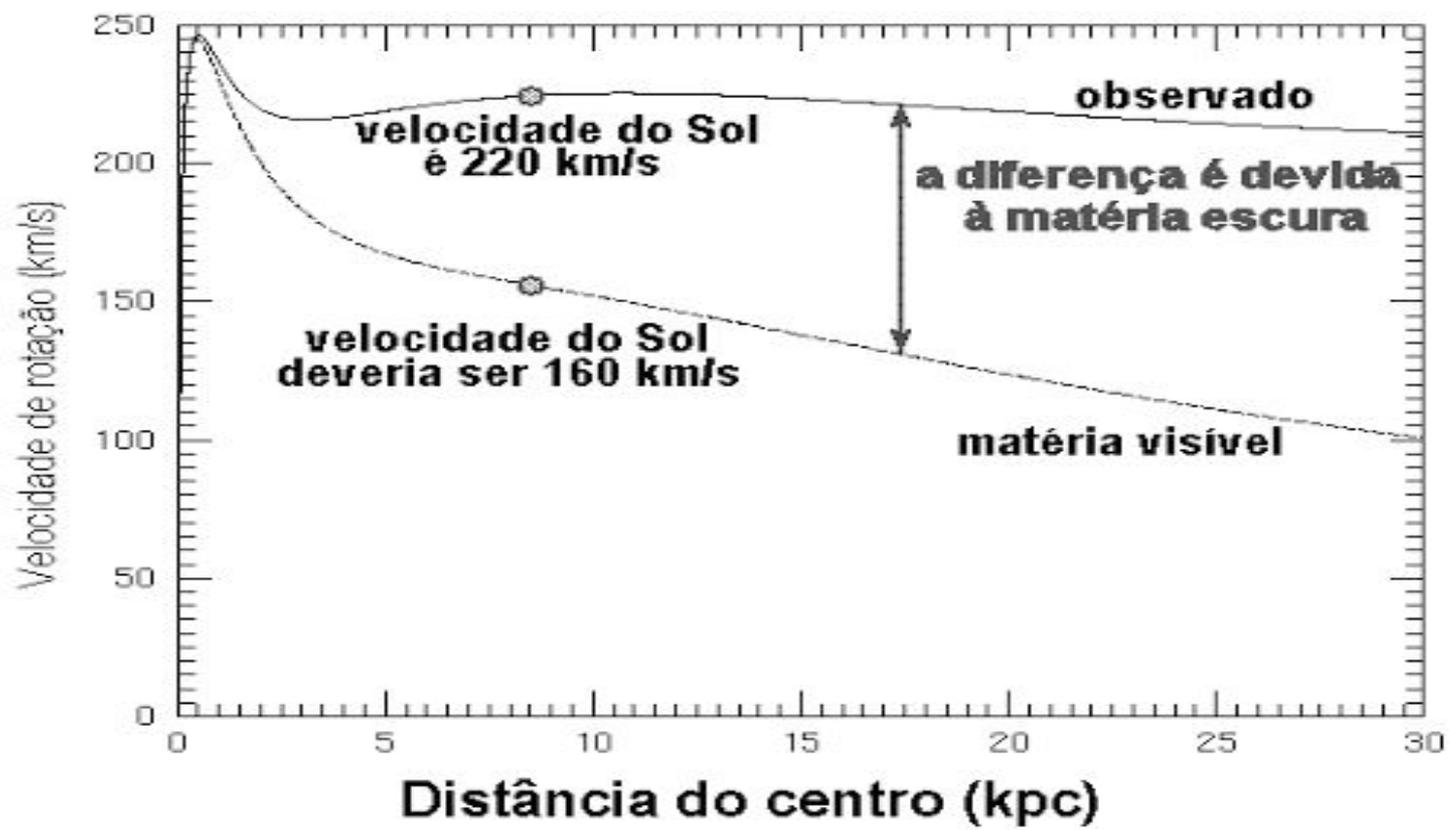
## Curvas de rotação de galáxias: Outra evidência



**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

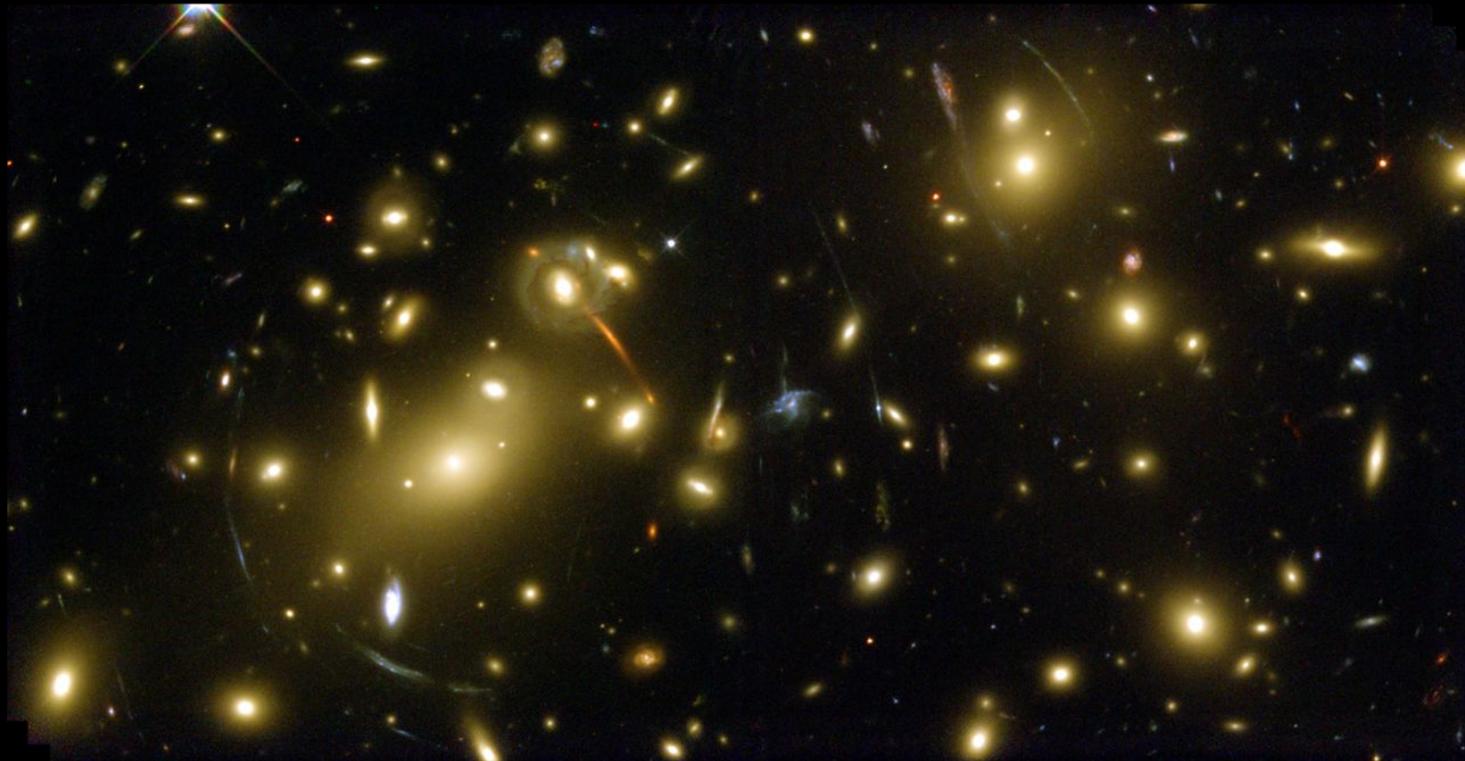
Milky Way

- **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.*



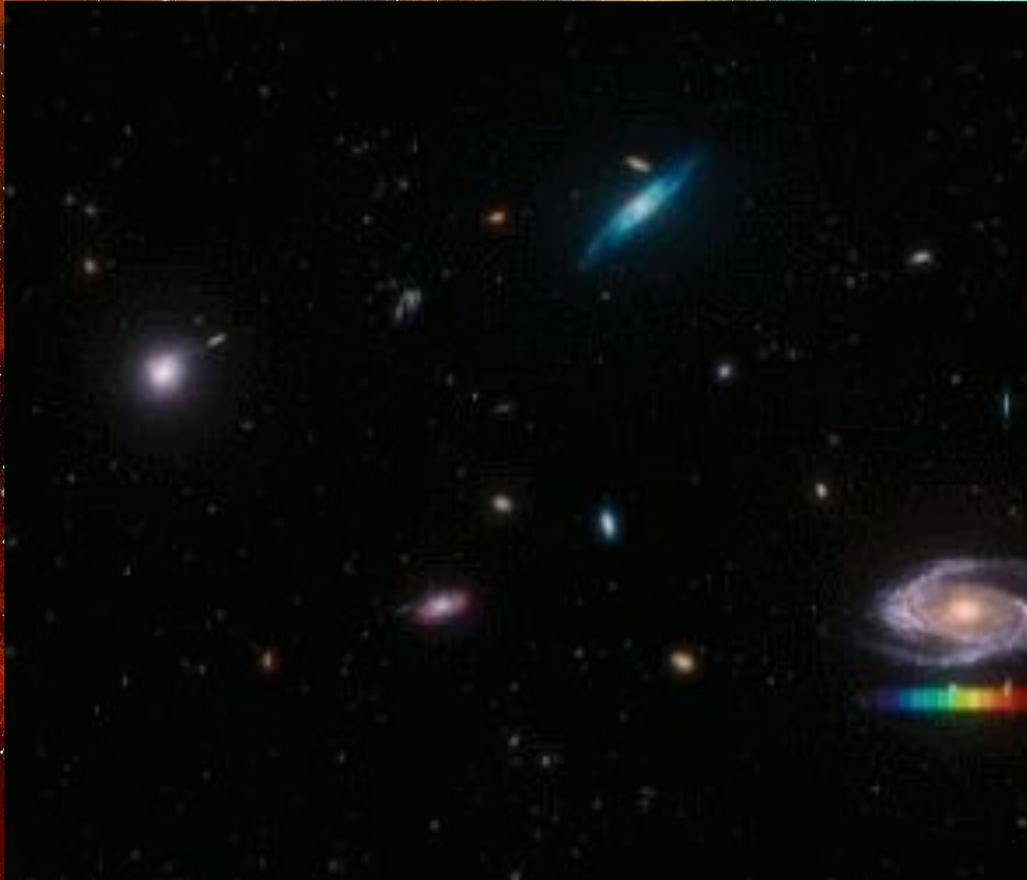
**Há mais um grande  
mistério no universo**

**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!!**

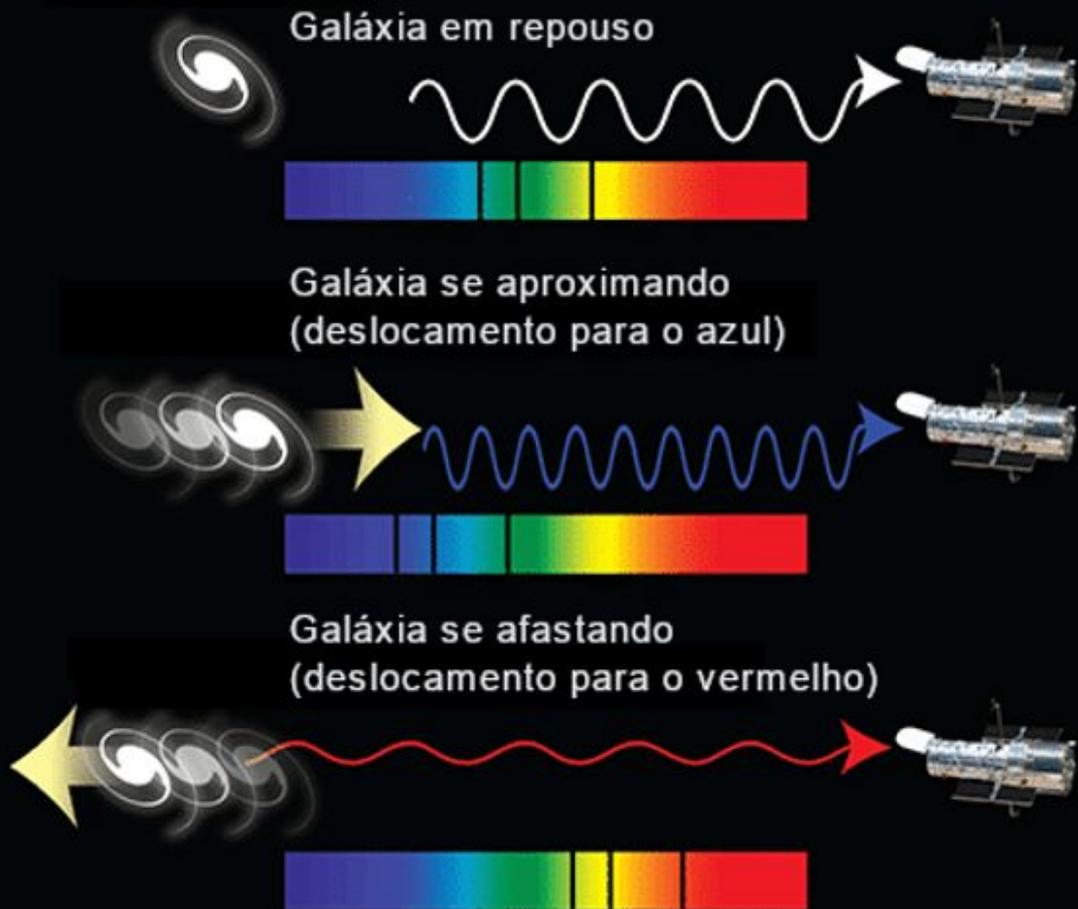


## Observações de Hubble

- 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.*

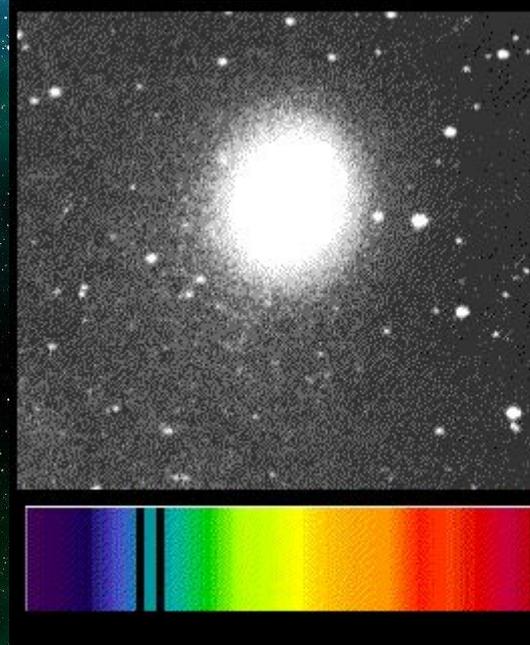


# Lei de Hubble

$$V = H_0 \cdot d$$

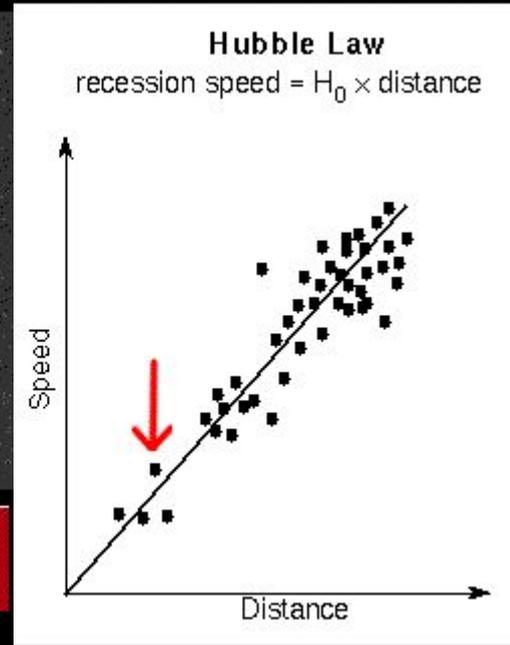
- **V**: velocidade de recessão.
- **H<sub>0</sub>**: constante de Hubble.
- **d**: distância entre a galáxia e o observador.

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



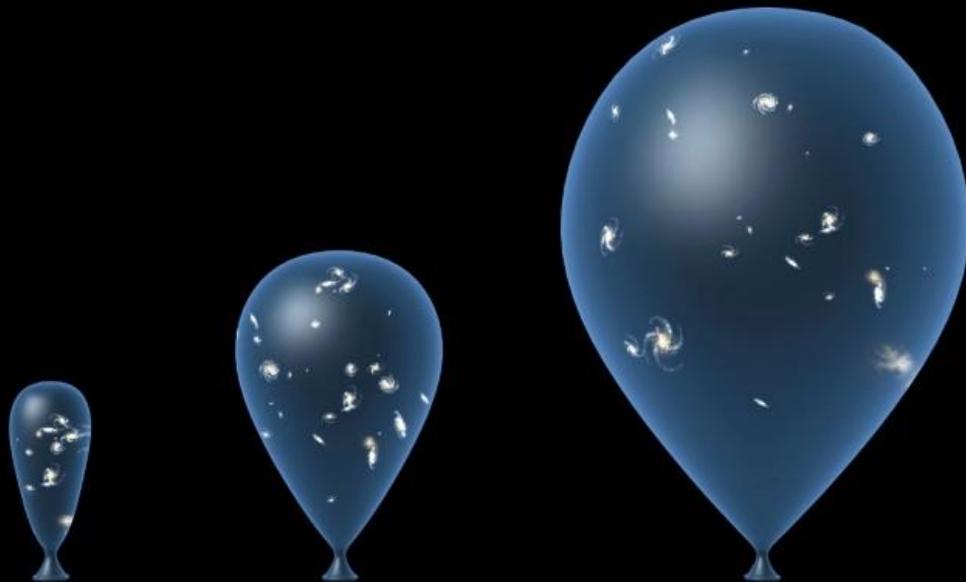
## RedShift

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).



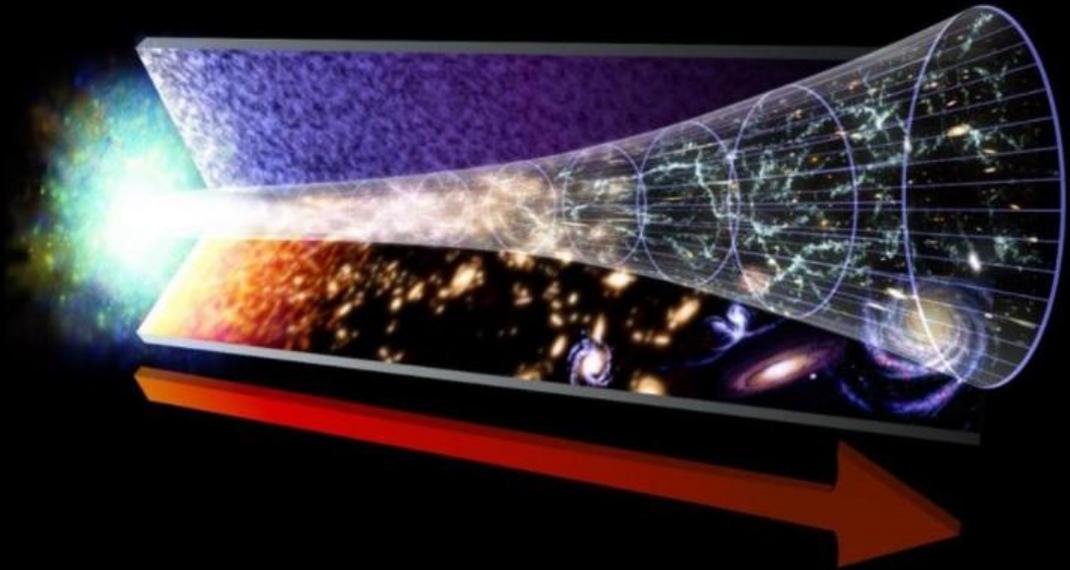
**Analogia entre a expansão do Universo e um balão inflando**

*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?

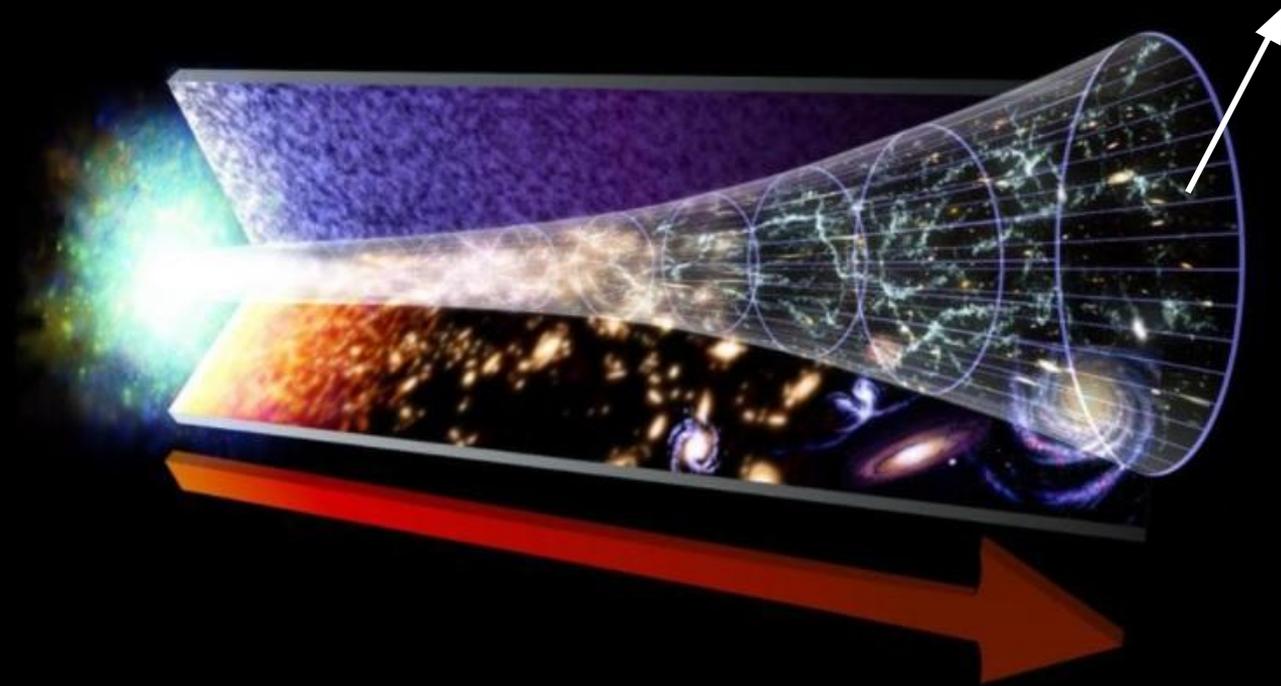


**Universo em expansão acelerada**

*Crédito: NASA / GSFC.*

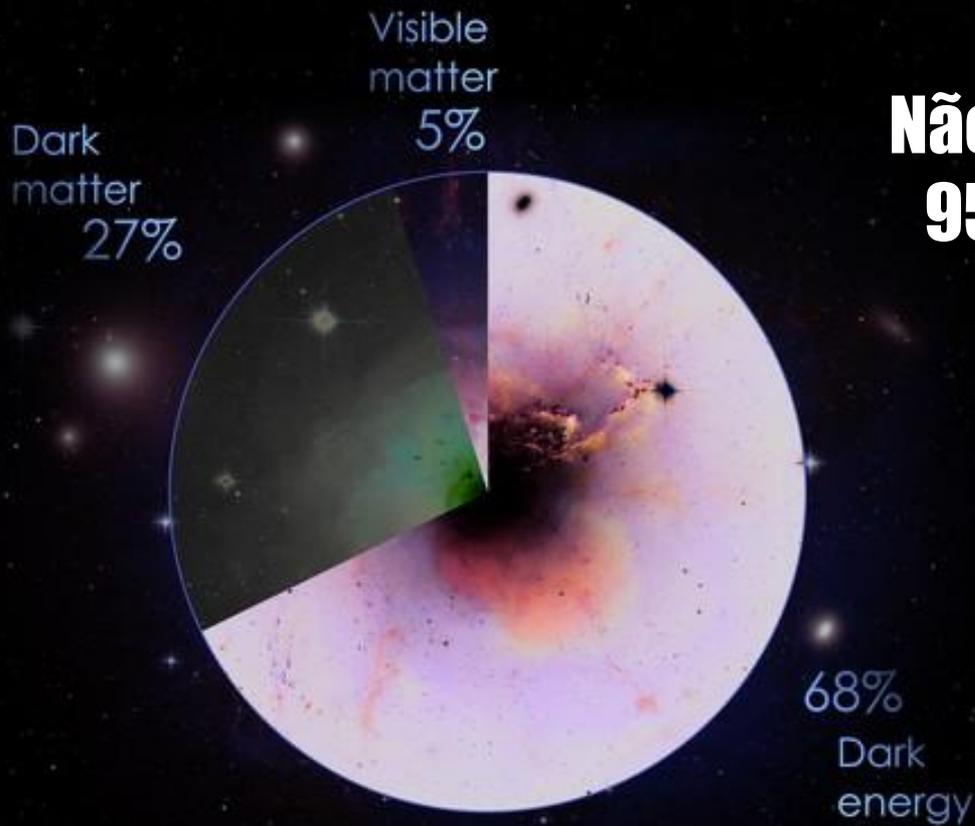
# Energia Escura:

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

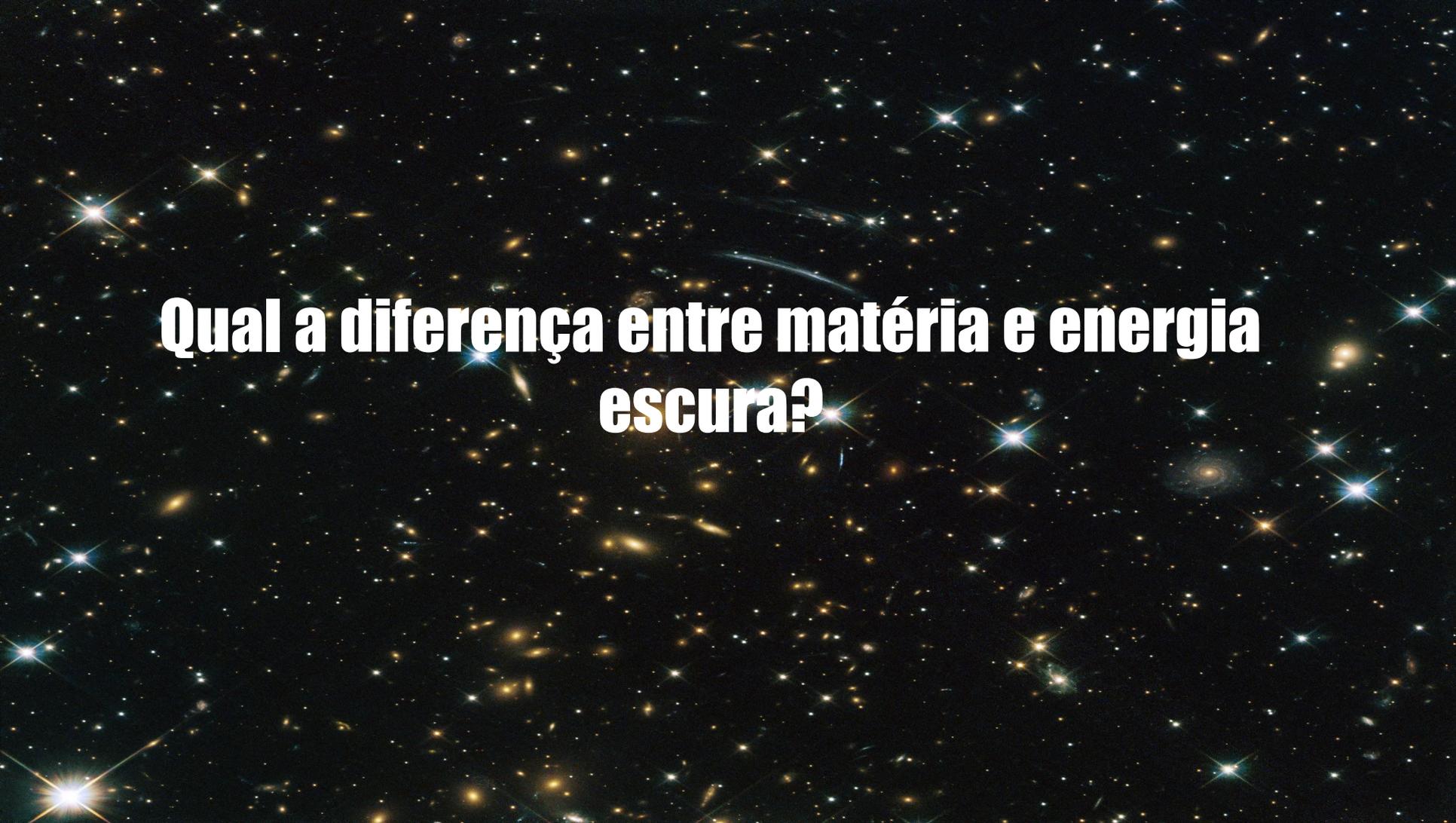


# Energia escura

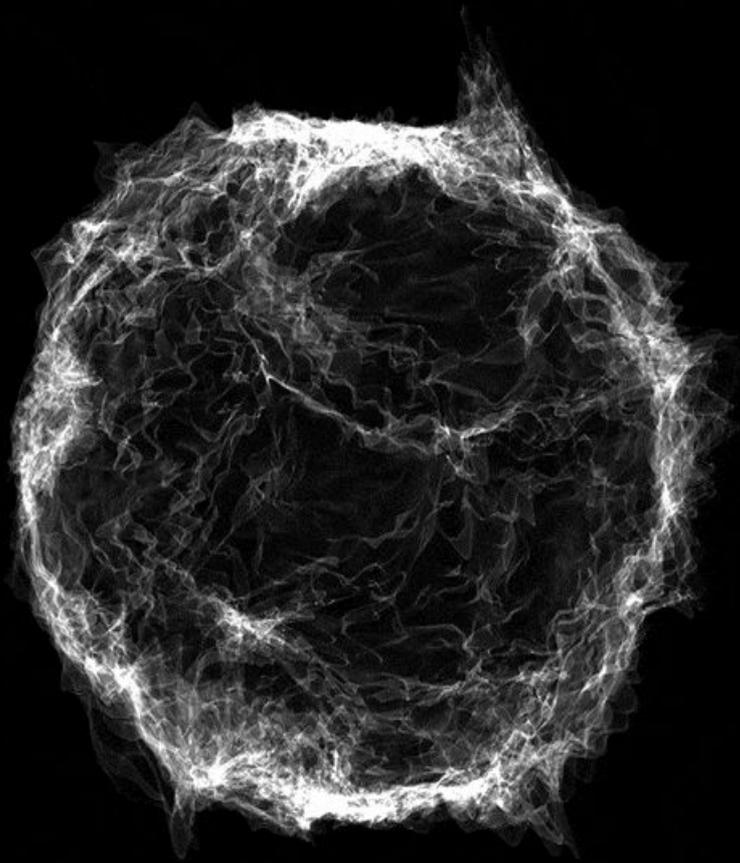
- Recebe este nome devido ao fato de que não conhecemos a sua natureza.
- Acelera a expansão do universo.
- Pode ser uma propriedade intrínseca da própria estrutura do espaço-tempo.
- Também pode ser um fluido exótico que preenche todo o universo mas com a propriedade de gerar pressão negativa (“anti-gravidade”).



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



**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](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](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>