

Introdução a Física Nuclear (4300406)



Prof. Valdir Guimarães

Instituto de Física

Aula 1 - Introdução

Dias de aula

Site do curso: <https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=111623>

Período: 8 de Agosto a 5 de Dezembro de 2023

Terça-feira 21:00 as 23:00 hs.

Quinta-feira 19:00 as 21:00 hs.

Sala: 2061

Aulas formais

Aulas de exercícios

Cronograma: no site do curso.

Avaliação

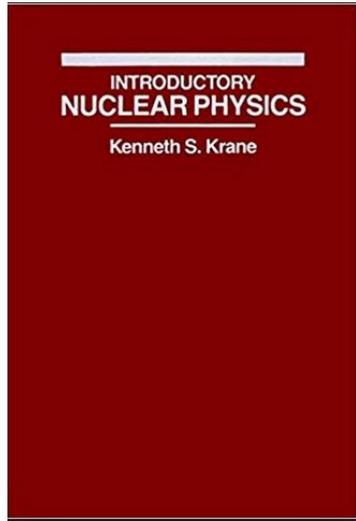
$$M=(3 \times P1 + 3 \times P2 + 3 \times \text{Listas} + 1 \times \text{Participação})/10$$

Tópicos a serem abordados no curso

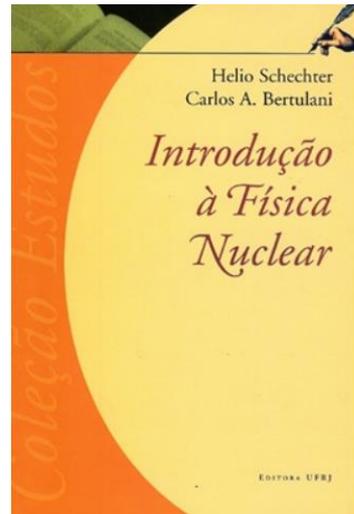
- Propriedades dos núcleos: Raio, Massa, Momento magnético e elétrico.
- Revisão quântica (potenciais)
- Excitação nuclear e decaimento gama (radiação multipolar)
- Estrutura nuclear: sistema de muitos corpos – modelo de camadas - modelos coletivos
- Lei de decaimento
- Decaimento beta e alfa
- Reações nucleares: Espalhamento elástico – modelo ótico
- Cálculos de seção de choque
- Reações nucleares – formação de núcleo composto (fusão e fissão)
- Reações nucleares – reações diretas
- Núcleos em condições extremas
- Física nuclear na astrofísica

Bibliografia

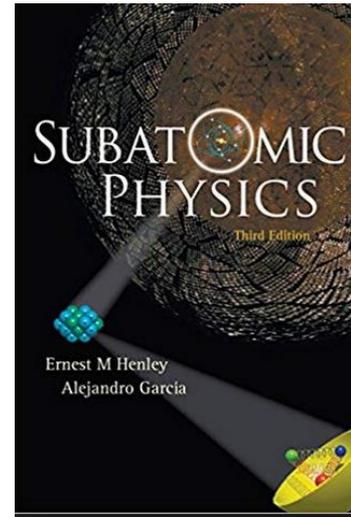
O conteúdo das aulas serão obtidos de diferentes fontes.



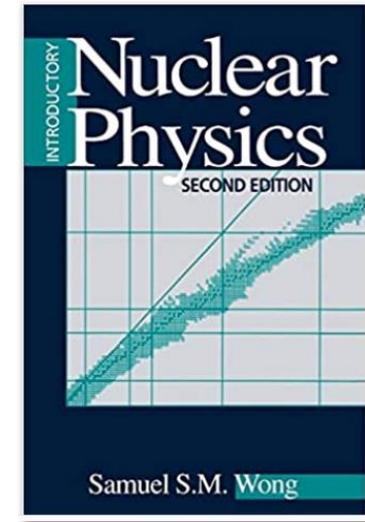
K. Krane



Carlos Bertulani



Alejandro Garcia

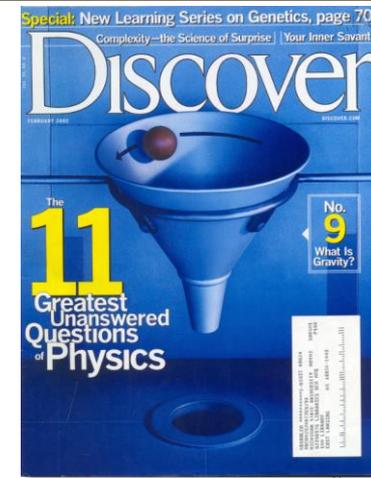


Samuel Wong

Perguntas mais importante na Física

Based on National Academy of Science Report
[Committee for the Physics of the Universe (CPU)]

- 1) O que é Matéria escura ? ←
- 2) O que é Energia escura ?
- 3) **Como são sintetizados os elementos mais pesados que o Ferro?** ←
- 4) **Neutrinos tem massa ?** ←
- 5) Da onde as partículas ultra-energéticas vieram ?
- 6) Precisamos da nova teoria de luz e matéria para explicar o que acontece em altíssimas energias e temperaturas ?
- 7) Existe algum estado novo da matéria em altíssimas energias e temperaturas ?
- 8) **Os protons são instáveis ?** ←
- 9) O que é gravidade ?
- 10) Existem outras dimensões ?
- 11) Como realmente o universo começou ?



Composição do Universo

Antes de tentar responder a qualquer uma dessas perguntas precisamos saber o que tem no universo.



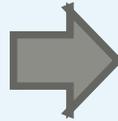
R: Não sabemos ao certo

68.3% Energia Escura (mas não sabemos direito o que é isso)

26.8% Matéria escura fria (mas não sabemos direito o que é isso)

4.9% matéria (núcleos e elétrons)

0.5% visto como estrelas.

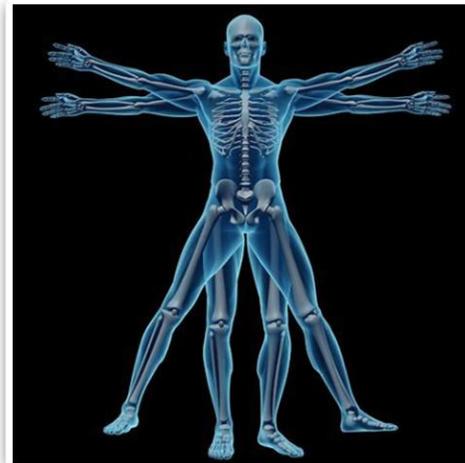


Foco dos nossos estudos em Física Nuclear

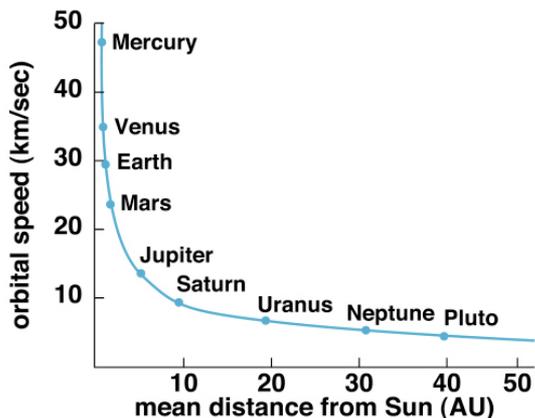
Porque se preocupar com os 5% ????



Porque somos feitos desse material

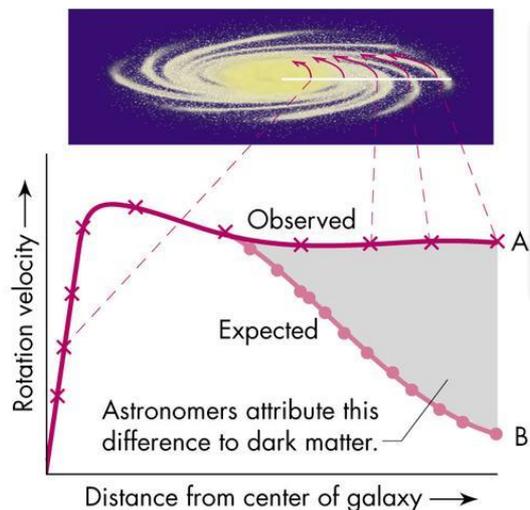


Matéria escura

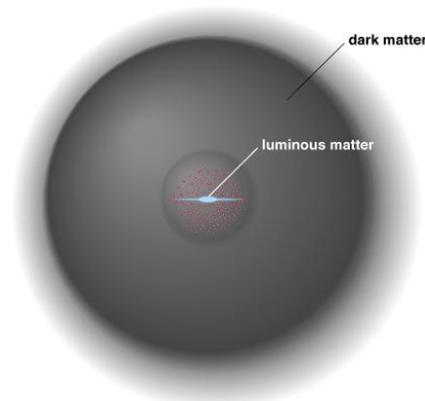


- ❑ Curva de rotação. Velocidade de rotação em função da distância ao centro. Essa curva é usada para medir a massa do centro.
- ❑ Na curva ao lado o que importa é a massa do Sol, já que a massa dos planetas é muito pequena comparada ao do Sol.
- ❑ Quanto mais longe do Sol mais lento o planeta rotaciona.

(b)



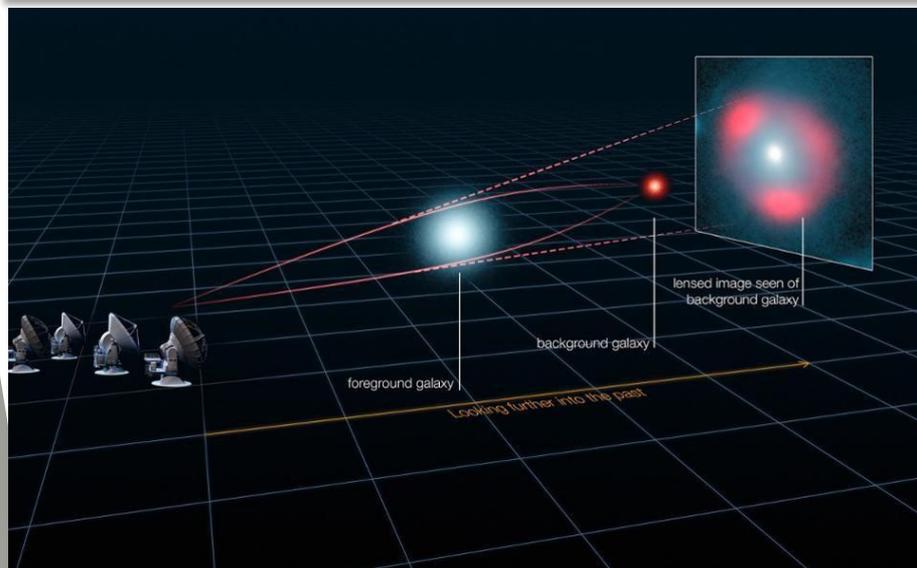
- ❑ Astrônomos descobriram muitas galáxias com uma curva de rotação “flat”, incluindo a Via Láctea.
- ❑ A curva de rotação das galáxias indica que a massa não é concentrada no centro mas distribuída.



90% da massa do universo é matéria escura, não visível.

Matéria escura

- ❑ A luz se curva ao passar por um objeto massivo.
- ❑ Esse efeito é devido a curvatura do espaço explicado na relatividade geral (Lente gravitacional).
- ❑ A imagem da luz de uma estrela fica distorcida em discos ou arco de circunferência (Einstein rings).
- ❑ O quanto a luz é distorcida dá indicação da massa do objeto massivo.



ALMA (ESO/NRAO/NAOJ), L. Calçada (ESO), Y. Hezaveh et al.

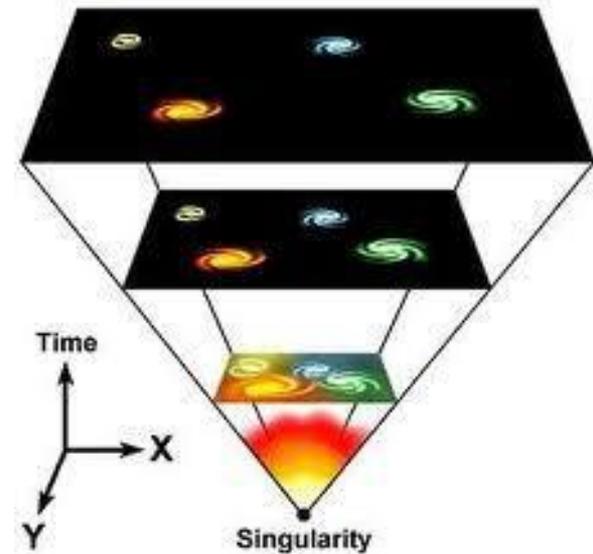
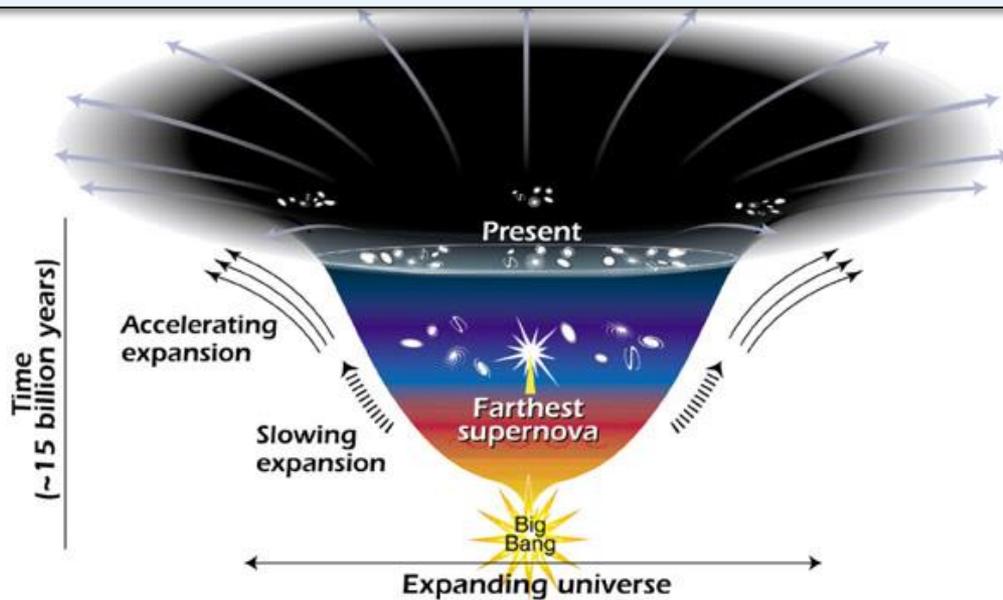


(Image credit: ESA/Hubble & NASA; Acknowledgment: Judy Schmidt)

Imagem do telescópio Hubble.
Indicação da presença da matéria escura

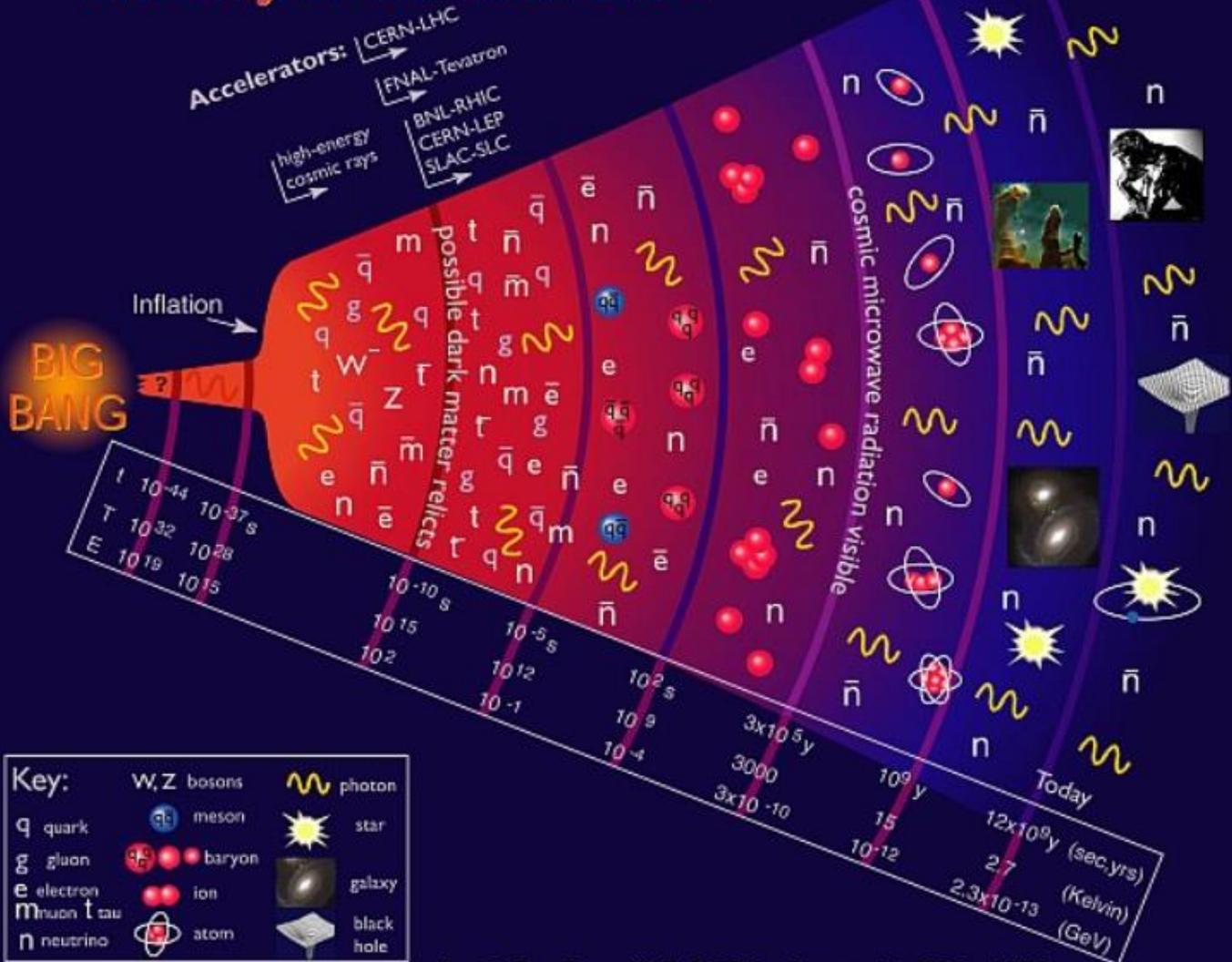
Energia escura

- ❑ Não sabemos ao certo o que é energia escura.
- ❑ Resultado da anisotropia da radiação de fundo (CMB - Cosmic Microwave Background) indica que o universo é plano.
- ❑ Para que o universo seja plano é preciso uma densidade crítica de massa/energia. 68.3% energia escura, 26.8% matéria escura, 5% matéria.



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

History of the Universe



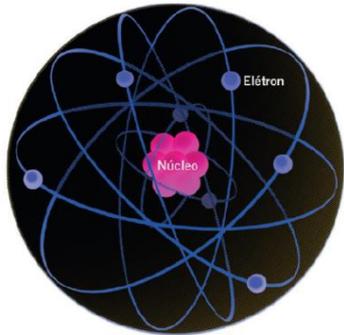
Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF



1911 ano da publicação de Rutherford

Influenciado pelo modelo atômico saturniano de Nagaoka, Rutherford propõe o modelo solar para o átomo.

“The scattering of α and β particles by Matter and the Structure of the Atom.
E. Rutherford
Philosophical Magazine, Series 6, vol. 21 (May 1911), p. 669-688



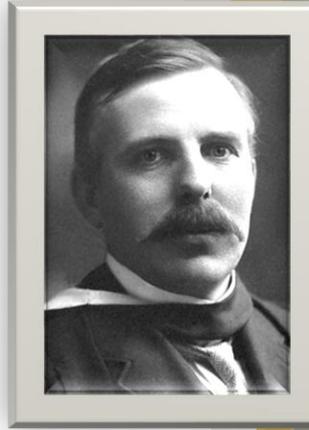
Átomo é um grande vazio, com um centro pequeno e denso

- 10,000 vezes menor que o átomo,
- 99,9% do peso do átomo
- da ordem de femto-metros (fm) = 10^{-15} m.

Rutherford o cientista supremo

Rutherford nasceu em Spring Grove área rural de Nelson no interior da Nova Zelândia em 30 de Agosto de 1871.

Do menino pobre da área rural no interior da Nova Zelândia para ganhador de Prêmio Nobel e um dos maiores cientistas da humanidade. Sua história é fascinante.



Ernest Rutherford
1871 - 1937

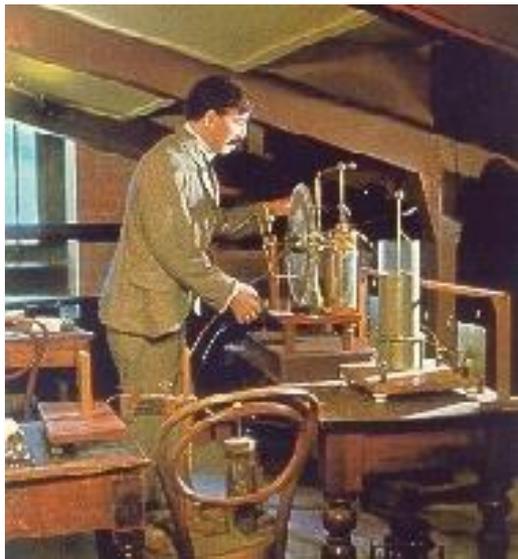


1890-1892 - Se formou bacharel na Canterbury College in Christchurch em Matemática pura, Latin, Matemática aplicada, Inglês, Francês e Física.

1892-1894 – mestrado em matemática, física matemática e ciências físicas. Detector magnético de pulsos de corrente rápidos.

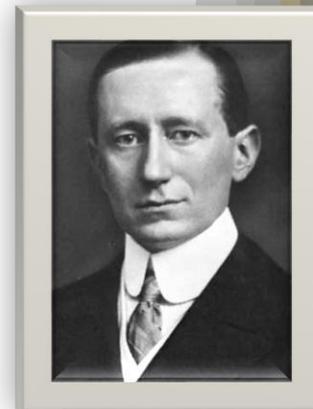
Cavendish Laboratory em Cambridge - Inglaterra

- 1895** Consegue uma bolsa de estudos para ir para Cambridge Inglaterra. Continua com as pesquisas para desenvolver detectores de ondas eletromagnéticas (transmissão sem fio). Vai trabalhar com J. Thompson (o mesmo do elétron) em condução elétricas dos gases e deixa para Marconi desenvolver e comercializar o telégrafo sem fio. Começava a fama de Rutherford de imaginar, projetar e construir artefatos.
- 1896** Roentgen anuncia o descobrimento dos raio-X, que lhe confere um prêmio Nobel. Becquerel anuncia a descoberta da radioatividade, também tem
- 1897** Thompson anuncia descoberta do elétron, primeira partícula mais leve que o átomo.



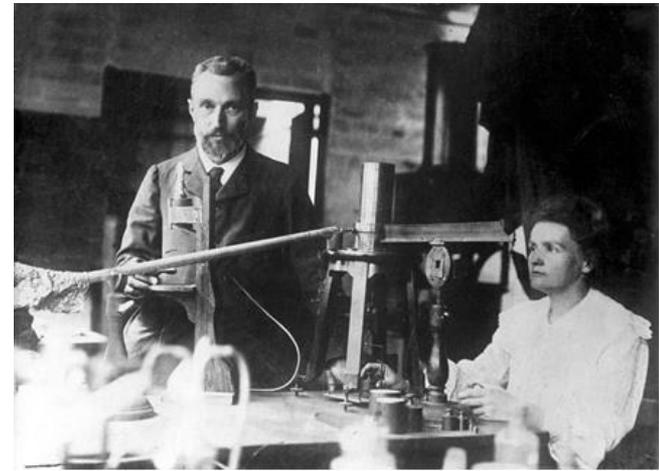
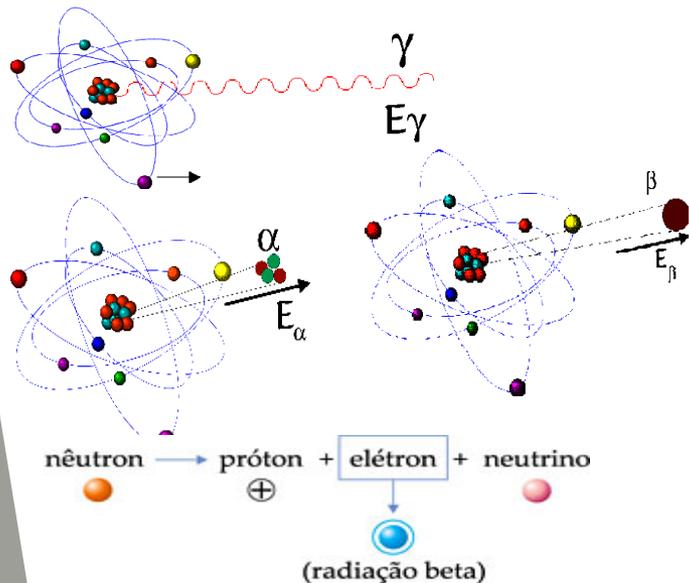
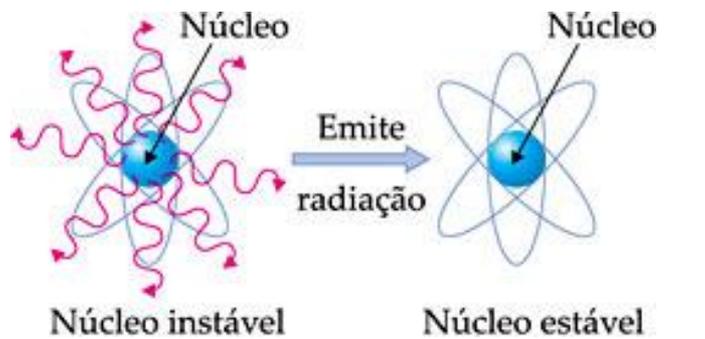
Guglielmo Marconi
1874 - 1937

Marconi desenvolve transmissão de ondas eletromagnética sem fio (com 22 anos). Ganha o prêmio Nobel em 1909 com 35 anos.



Decaimento radioativo alfa e beta

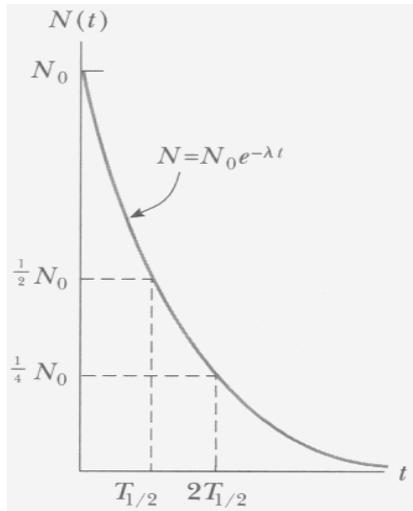
1898 Rutherford descobre que alguns átomos radioativos, como Urânio, emitem dois tipos de radiação. Identifica e dá o nome de alfa e beta para essas radiações e apenas mais tarde verifica que são núcleo de átomos de hélio e elétrons.



O físico francês **Pierre Curie** (1859-1906) e sua mulher, a física e química polonesa **Marie Sklodowska Curie** (1867-1934), descobrem dois novos elementos radioativos, o polônio e o rádio; e Rutherford conclui que as radiações do urânio eram de dois tipos, ambas de natureza corpuscular, nomeando-as raios alfa e beta.

Sr. Radioatividade

1902 Juntamente com Frederick Soddy descobrem a transmutação dos elementos. Ideia de se usar proporções relativas e taxa de decaimento para datação e determinar idade da terra.



Elemento	Família do urânio	Família do tório
Urânio	UI, UII	
Tório	UX ₁ , UX ₂ , Io	Th, RdTh
Rádio	Ra	MsTh ₁ , ThX
Radônio	Rn	Tn
Polônio	RaA, RaC', RaF	ThA, ThC'
Bismuto	RaC, RaE	ThC
Chumbo	RaB, RaD, Ra-G (estável)	ThB, ThD (estável)

1904 – Publica o livro Radioatividade e fica mais famoso que Becquerel o descobridor da radioatividade.

1907 - Rutherford é contratado como “Professor” em Manchester (Inglaterra) com um alto financiamento para suas pesquisas.

Em Manchester University, Inglaterra

- ❑ Comprova que partículas alfas são átomos de hélio sem elétrons.
- ❑ Desenvolve juntamente com Geiger um detector a gás para detectar partículas ionizantes. Geiger and Muller aperfeiçoam mais tarde esse detector (contador Geiger).
- ❑ Primeira observação de espalhamento. Percebeu que a marca devido ao feixe era difusa quando a câmara estava em ar. Espalhamento ?

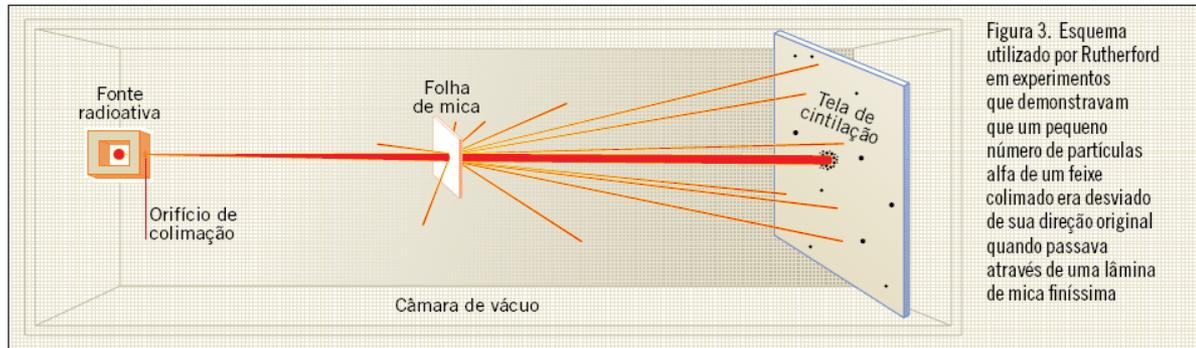
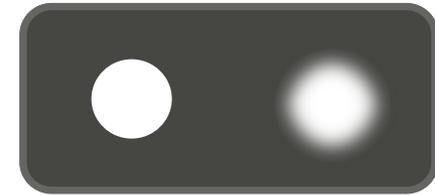
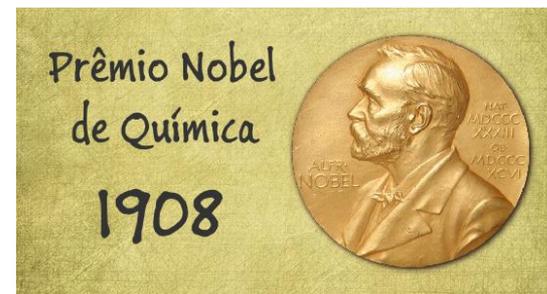


Figura 3. Esquema utilizado por Rutherford em experimentos que demonstravam que um pequeno número de partículas alfa de um feixe colimado era desviado de sua direção original quando passava através de uma lâmina de mica finíssima



1908 – Ganha prêmio Nobel pelo seu trabalho na investigação de desintegração dos elementos e química dos elementos radioativos.

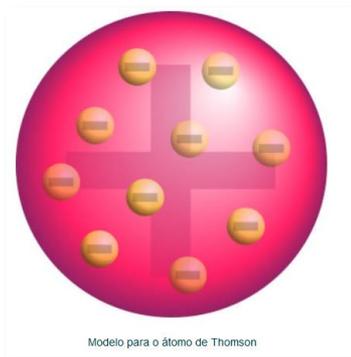
No discurso ele diz que a transformação mais rápida foi a sua de físico para químico.



Modelo de Thompson

O que se sabia sobre o átomo era baseado na ideia de Thompson de 1904.

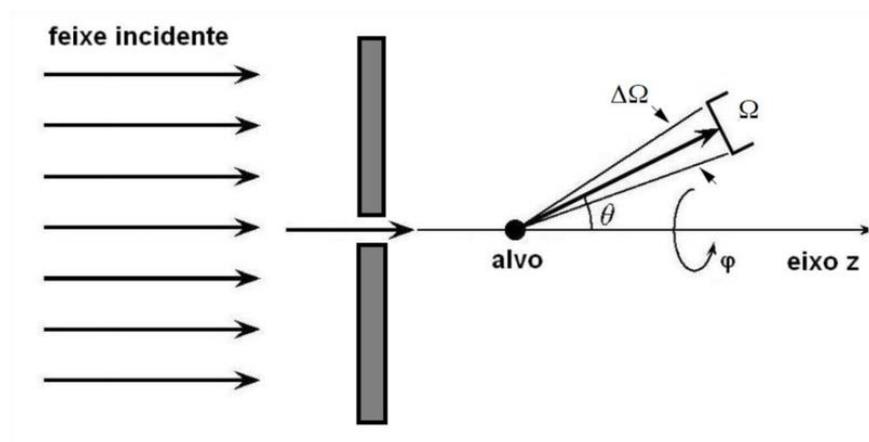
Modelo de pudim de passas



Joseph John Thompson
1856 - 1940

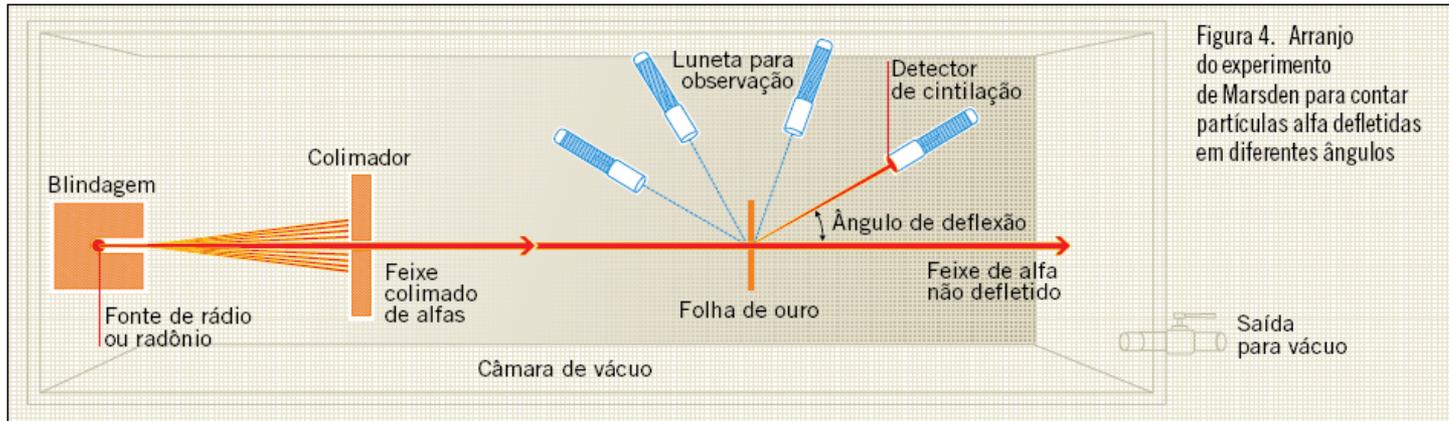


Rutherford teve a ideia de jogar um feixe de partículas alfas para estudar estrutura do alvo

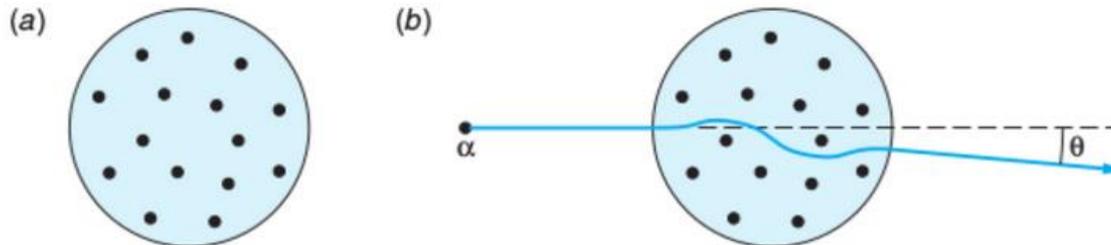


O espalhamento de Rutherford

Experiência de espalhamento de partículas alfa por alvo de Ouro

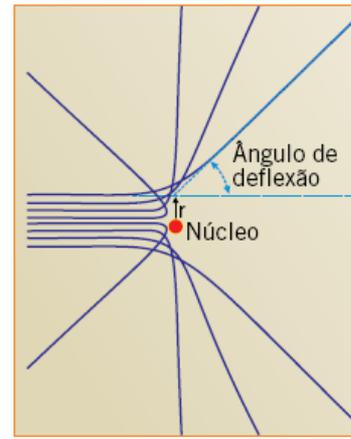
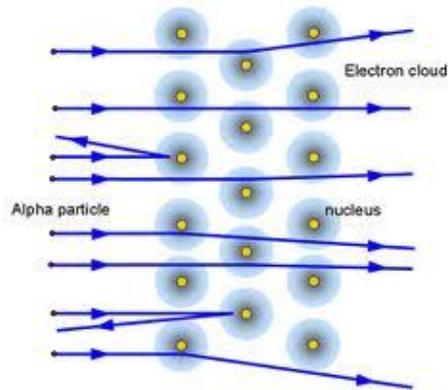


De acordo com o modelo de Thompson as partículas alfa seriam espalhadas em ângulos dianteiros.



Partículas retro espalhadas

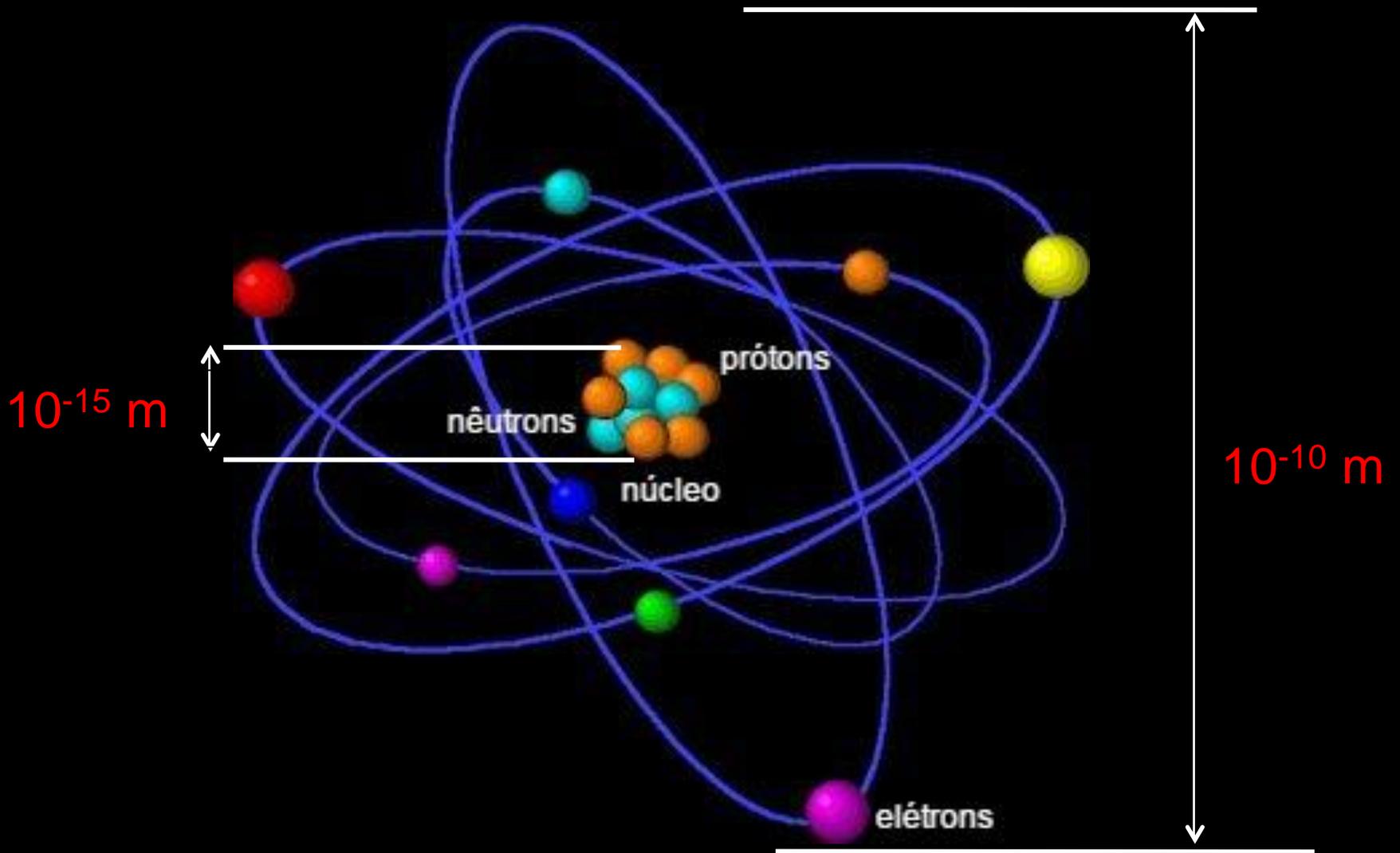
1909 – Rutherford confiou a um jovem estudante (Ernest Marsden) a tarefa de procurar partículas alfas defletidas em ângulos maiores que 10 graus.



Modelo de Thompson não explicava as partículas retro espalhadas.

Modelo de Thompson implicava em múltiplos espalhamentos mas o que parecia era um espalhamento por um único elemento espalhador.

I remember ...later Geiger coming to me in great excitement and saying, 'We have been able to get some of the α -particles coming backwards...' It was quite the most incredible event that has ever happened to me in my life. It was almost incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you.

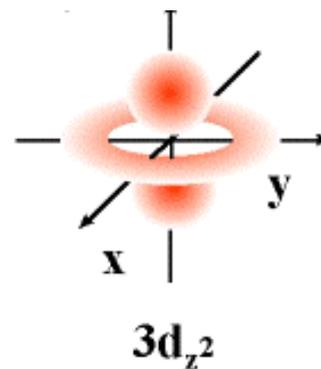
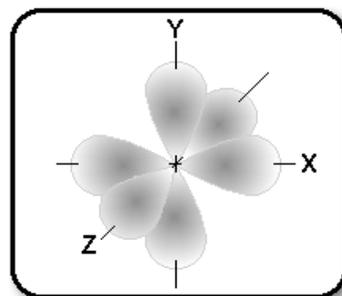


Bohr e correções ao modelo atômico de Rutherford

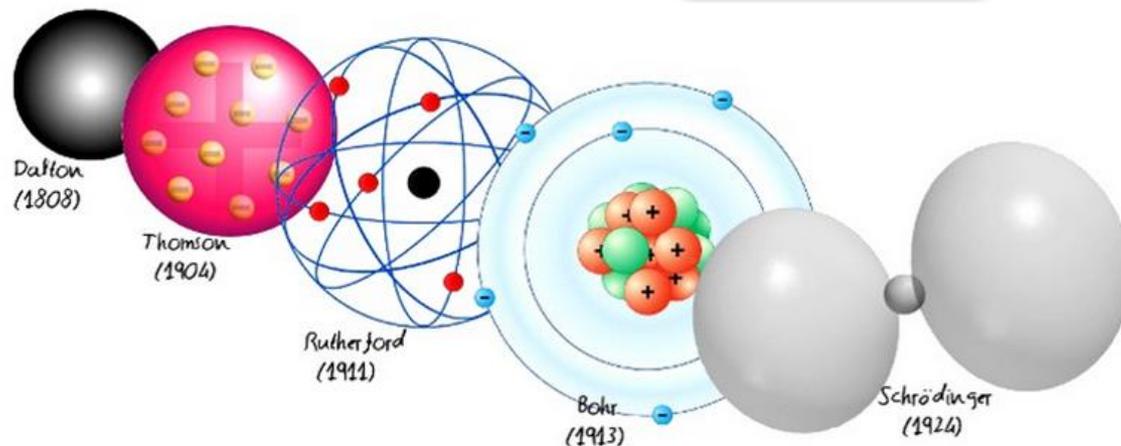
1912 – Pela eletrodinâmica clássica, o átomo de Rutherford seria instável, os elétrons orbitando em torno do núcleo perderiam energia e espiralariam para o núcleo, fazendo o átomo colapsar.

Niels Bohr, em sua visita a Manchester, propôs uma explicação da estabilidade do átomo recorrendo à teoria quântica de Planck.

Mais tarde a teoria quântica esclareceu a ideia dos orbitais.



Niels Bohr
1885 - 1962



As limitações do modelo de Rutherford em nada tiram seu mérito. A imagem de um núcleo minúsculo rodeado pelos elétrons permanece sendo aceita até hoje.

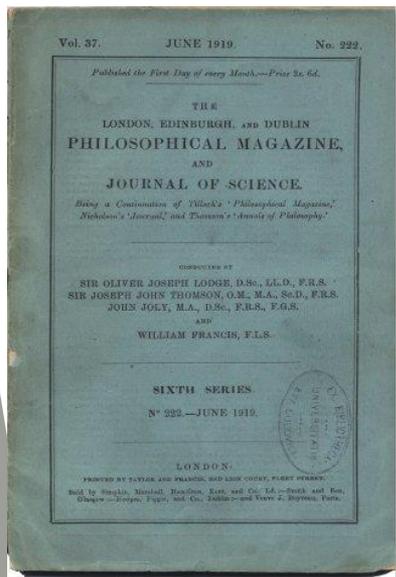
Rutherford o alquimista

1919 - Em uma de suas experiências Rutherford observou emissão de hidrogênio.

Essa experiência convenceu Rutherford de que o Nitrogênio era composto por núcleos de hidrogênio e portanto uma partícula elementar. Denominou essa partícula de próton, do grego Protos (início).



**"Collision of alpha Particles with Light Atoms;
An Anomalous Effect in Nitrogen"**
The Philosophical Magazine, Vol. 37, No. 222, (1919) p. 537-87



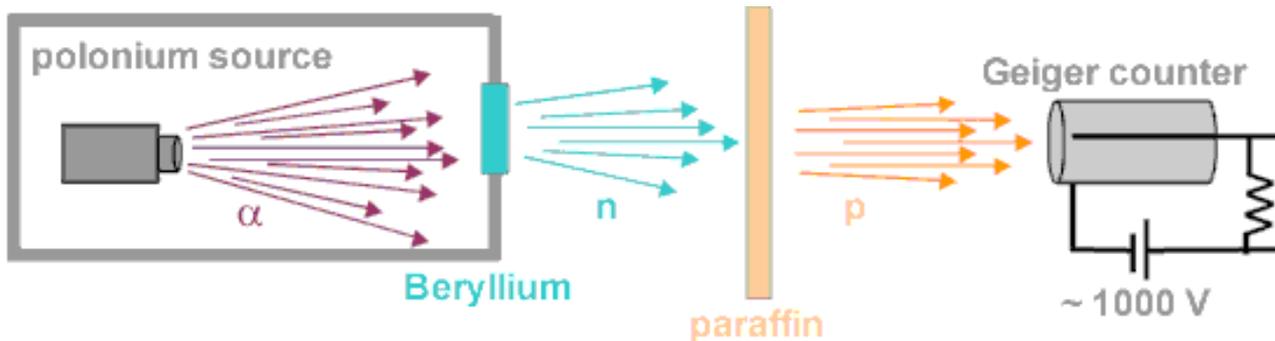
Rutherford compreendeu que havia realizado a **primeira reação nuclear, ou transmutação artificial**, até então as transmutações observadas eram todas de radioatividade natural. **Disse: toquei o espírito da matéria.**

Ao medir essa reação Rutherford se tornou o primeiro alquimista de verdade

O nêutron

1920 Rutherford postulou que partículas neutras e massivas devem coexistir com os prótons (de carga positiva) no núcleo atômico. **Chamou estas partículas de nêutrons.**

Rutherford e Chadwick pensavam que era radiação gama. Foi apenas em 1932 que **James Chadwick** conseguiu provar que a radiação misteriosa era de nêutrons. Detectou os prótons de recuo, mediu sua energia e de considerações cinemáticas determinou a massa do nêutron como sendo $1.0067 \times$ massa do próton.



Em 1935 **Chadwick** ganha o Prêmio Nobel de Física



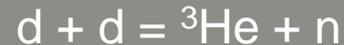
James Chadwick
1891 - 1974



Aceleradores de partículas

- ❑ **Após 1930** Rutherford forçou a indústria Britânica a construir aceleradores de milhões de volts.
- ❑ Ele achava que para penetrar o núcleo do átomo seria necessário aceleradores de partículas com a mesma energia que as partículas alfas emitidas pelos núcleos radioativos (milhões de e-volts) .
- ❑ Mas foi apenas após Gamow mostrar que poderia haver tunelamento da barreira coulombiana e, portanto, medidas de reações energias menores seriam também interessantes, foi que ele conseguiu com que Mark Oliphant construísse um acelerador de partículas com voltagem mais baixa.

Primeiras experiências: reações da nucleossíntese primordial



A idéia de lançar partículas contra um alvo foi tão espetacular que continua sendo até hoje a base para experimentos de investigação da Física Nuclear.

Sir Rutherford

1931 Recebe o título de Lord Rutherford de Nelson ou Barão de Nelson



Citação no New York Times:

“it is given to but few men to achieve immortality, still less to achieve Olympian rank, during their own lifetime. Lord Rutherford achieved both.

He was universally acknowledge as the leading explorer of the vast infinitely complex universe within the atom, a universe he was the first to penetrate.”

Os restos de Rutherford – morto aos 66 anos de idade, em Cambridge, por postergar a cirurgia de sua hérnia umbilical em função dos compromissos – estão aos pés do magnífico altar de Isaac Newton (1642-1727), na Abadia de Westminster, em Londres, onde também estão enterrados Darwin e Stephen Hawking



Morte 1937

Rutherford colocou as bases de uma nova ciência: **Física Nuclear.**

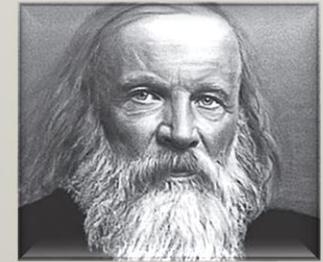
Até 1930, praticamente tudo que havia sido feito sobre a estrutura nuclear havia vindo de Rutherford.

- ❑ Foi mentor e orientador de estudantes que mais tarde ganharam o Prêmio Nobel: Chadwick, Blackett, Cockcroft, Walton, G.P. Thomson, Appleton, Powell, and Aston.
- ❑ Publicou 186 artigos científicos (35 na Nature)
- ❑ Escreveu 6 Livros.

Rutherford pode ter dado origem a “Big Science”:

- ✓ Enormes volumes de dinheiro
- ✓ Formação de equipes de pesquisa
- ✓ Laboratórios nacionais
- ✓ Grande fluxo de publicações
- ✓ Internacionalização dos resultados e disseminação da informação
- ✓ Esforços de especialização
- ✓ Competição.

Tabela Periódica dos elementos



Dimitri Mendeleev
1834 - 1907

Antes de Rutherford, Dimitri Mendeleev organizou uma tabela periódica baseada na massa atômica.

THE PERIODICITY OF THE ELEMENTS

The Elements	Their Properties in the Free State				The Composition of the Hydrogen and Organometallic Compounds RH _m or R(CH ₃) _n	Symbols and Atomic Weights R A	The Composition of the Saline Oxides R ₂ O _x	The Properties of the Saline Oxides			Small Periods or Series		
	t	a	d	A				d'	d''	v			
Hydrogen	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	H [6] 1	1 = 1	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	
Lithium	<-200°	<0°05	30		m = 1	Li 7	1+		0.917	19.6	<-20	1	
Beryllium	(900°)	1.64	5.3			Be 9	2-		3.06	16.3	+ 2.6	2	
Boron	(1500°)	2.5	4.4			B 11	3-		1.8	39	10		
Carbon	>(1500°)	<2.9	6		4	C 12	4-		>19	<38	<19		
Nitrogen	<-200°	<0.7	20			N 14	3-	5*	1.64	66	< 5		
Oxygen	<-200°	<1.0	16			O 16	2-						
Fluorine						F 19	1-						
Sodium	96°	0.71	0.98	23		Na 23	1+		Na ₂ O	2.6	34	-22	3
Magnesium	500°	0.97	1.74	14		Mg 24	2+			3.6	32	- 3	
Aluminium	600°	0.23	2.6	11		Al 27	3+		Al ₂ O ₃	4.0	26	+ 1.3	
Silicon	(1800°)	0.08	2.3	12		Si 28	4-			2.95	45	2.2	
Phosphorus	44°	1.28	2.2	14		P 31	5-	4* 5*		2.39	59	0.2	
Sulphur	114°	0.67	2.07	15		S 32	6-	4* 5* 6*		1.96	82	0.7	
Chlorine	-75°		1.3	37		Cl 35.5	1-	3- 5- 6- 7*					
Potassium	28°	0.84	0.87	45		K 39	1+						
Calcium	(800°)		1.6	25		Ca 40	2+			2.7	35	-5.5	4
Scandium						Sc 44	3+			3.86	35	0.7	
Titanium	(3500°)					Ti 48	4+			4.2	38	(+5)	
Vanadium	(2000°)					V 51	5+			3.49	52	0.6	
Chromium	(3000°)					Cr 52	6+			2.74	73	9.5	
Manganese	(1500°)					Mn 55	7+						
Iron	(1400°)	0.13	7.8	7.2		Fe 56	8+						
Cobalt	(1400°)	0.13	8.6	6.8		Co 58.5	8+						
Nickel	1850°	0.17	8.7	6.8		Ni 59	8+						
Copper	1054°	0.29	8.8	7.2		Cu 63	1+		Cu ₂ O	5.9	34	9.8	5
Zinc	422°		7.1	6.5		Zn 65	2+			4.7	29	4.8	
Gallium	30°		5.96	12		Ga 70	3+		Ga ₂ O ₃	5.1	(26)	(4.0)	
Germanium	800°		5.47	13		Ge 72	4+			4.7	44	4.5	
Arsenic	500°	0.06	5.7	13		As 75	5-	4* 5*		4.1	56	6.0	
Selenium	317°		4.8	16		Se 79	6-	4* 6*					
Bromine	-7°		3.1	26		Br 80	1-	5- 6- 7*					
Krypton						Kr 83.5	1+						
Strontium	(600°)		2.5	35		Sr 87	2+			4.3	48	-11	6
Yttrium						Y 89	3+			5.05	45	(-2)	
Zirconium	(1500°)					Zr 90	4+			5.7	43	-0.2	
Niobium						Nb 94	5+			4.7	47	+0.2	
Molybdenum						Mo 96	6+			4.4	65	6.8	
Ruthenium	(2000°)	0.10	12.2	8.4		Ru 100	8+						
Rhodium	(1900°)	0.08	12.1	8.6		Rh 104	9+						
Palladium	1500°	0.12	11.4	8.3		Pd 106	1+						
Silver	350°	0.13	10.5	10		Ag 108	1+		Ag ₂ O	7.5	31	2.5	
Cadmium	320°	0.31	8.6	13		Cd 112	2+			8.15	31	11	
Indium	176°	0.46	7.4	14		In 113	3+		In ₂ O ₃	7.18	38	2.7	
Tin	230°	0.29	7.2	16		Sn 118	4+			6.95	43	2.8	
Antimony	485°	0.12	6.7	18		Sb 120	5-	4* 5*		6.1	67	1.9	
Tellurium	455°	0.17	6.4	20		Te 125	6-	4* 6*		5.1	68	4.7	8
Iodine	114°		4.9	26		I 127	1-	3- 5- 6- 7*					
Cesium	29°		1.3	71		Cs 133	1+						
Barium	57°		3.73	66		Ba 137	2+			5.1	60	-6.0	
Lanthanum	(600°)		6.1	23		La 138	3+			6.5	50	+1.3	
Cerium	(700°)		6.6	21		Ce 140	4+			6.74	50	2.0	
Dysprosium	(800°)		6.5	22		Dy 142	3+						
Ytterbium						Yb 173	3-			9.18	43	(-2)	10
Tantalum						Ta 182	5-			7.5	59	4.6	
Tungsten	(1500°)					W 184	6-			6.9	67	8	
Osmium	(3500°)	0.07	22.5	8.5		Os 191	8-						
Iridium	2000°	0.07	22.4	8.6		Ir 193	9-						
Platinum	1775°	0.05	21.5	9.2		Pt 196	10-						
Gold	1045°	0.14	19.3	10		Au 198	1+						
Mercury	<-39°		13.6	15		Hg 200	2+		An ₂ O (12.3)	(33)	(13)	11	
Thallium	294°	0.81	11.8	17		Tl 204	3+			11.1	39	4.2	
Lead	326°	0.29	11.3	18		Pb 206	4+		Tl ₂ O ₃ (9.7)	(47)	(4.3)		
Bismuth	268°	0.14	9.8	21		Bi 208	5-			8.9	53	4.2	
Thorium						Th 232	4-			9.86	54	2.0	12
Uranium	(800°)					U 240	6-			(7.2)	(86)	(9)	

Rechen	Gruppe I. R'O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R'O ³	Gruppe IV. RH ⁴ R'O ⁴	Gruppe V. RH ⁵ R'O ⁵	Gruppe VI. RH ⁶ R'O ⁶	Gruppe VII. RH ⁷ R'O ⁷	Gruppe VIII. RO ⁴
1	II=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	So=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Hu=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

Tabela Periódica dos elementos

Henry Moseley, aluno de Rutherford, descobriu que o número de prótons de um determinado núcleo era sempre o mesmo e com isso reorganizou a tabela periódica.



Henry Moseley
1887 - 1915

Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003												
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180												
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948												
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.798												
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.711	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294												
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [209]	86 Rn Radon [222]												
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [293]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown												
89 La Lanthanum 138.905	90 Ce Cerium 140.12	91 Pr Praseodymium 140.908	92 Nd Neodymium 144.24	93 Pm Promethium [145]	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [263]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [265]	109 Mt Meitnerium [266]	110 Ds Darmstadtium [267]	111 Rg Roentgenium [268]	112 Cn Copernicium [269]	113 Nh Nihonium [285]	114 Fl Flerovium [288]	115 Mc Moscovium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Og Oganesson [294]

Superpesados:

- Z=113 Nh Nihonium
- Z=114 Fl Flerovium
- Z=115 Mc Moscovium
- Z=116 Lv Livermorium
- Z=117 Ts Tennessine
- Z=118 Og Oganesson



Saitama – Japan
dezembro 2018

<http://archive.jinaweb.org/html/tools/elements3/elements3.html>

Núcleos leves e seus isótopos

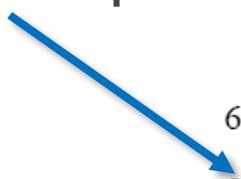
$${}^A_Z X_N \text{ ou } AX \text{ ou } XA$$

Z: no. de prótons (no. atômico)

N: no. de nêutrons

A: no. de massa $A=Z+N$

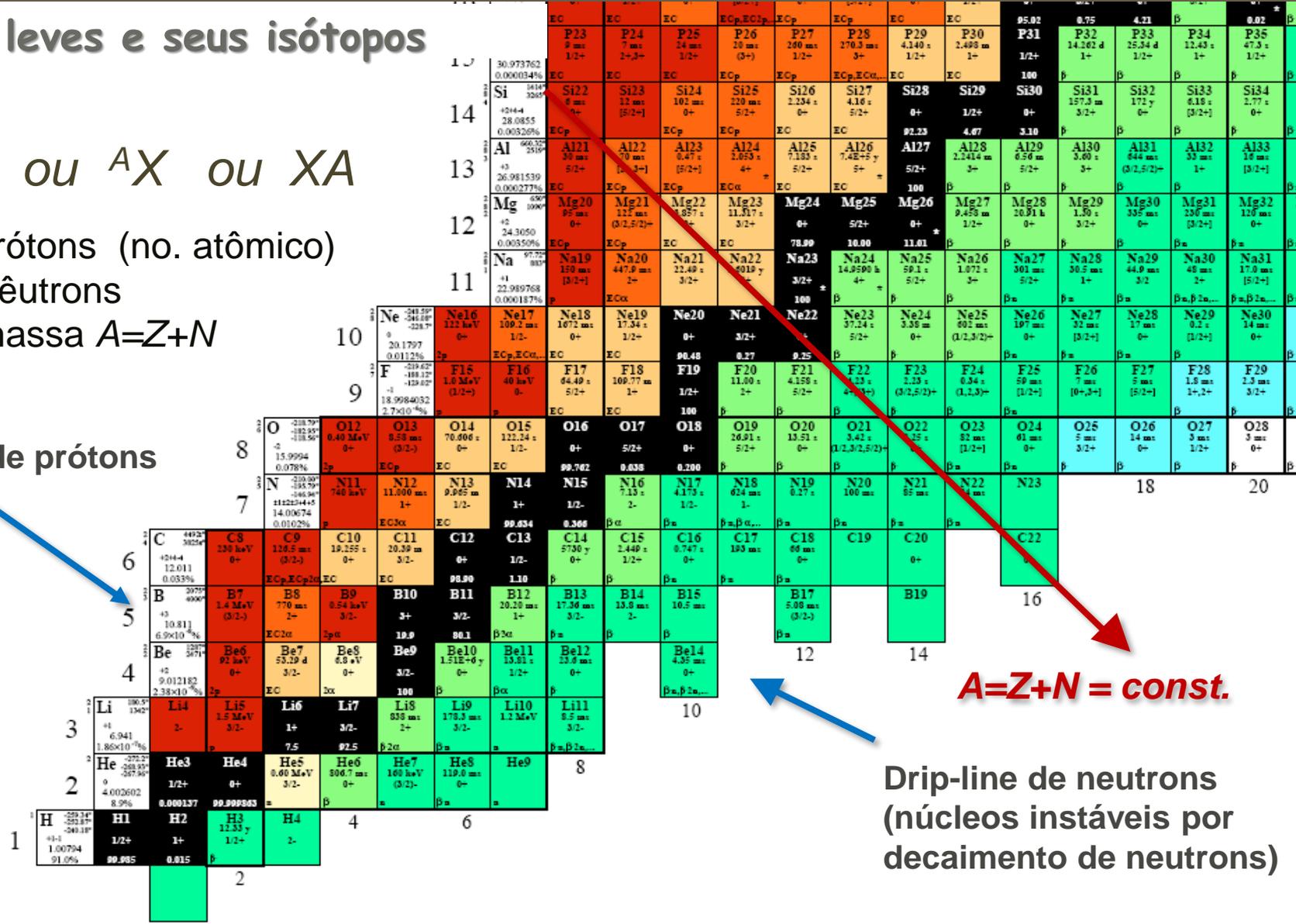
Drip-line de prótons



$A=Z+N = \text{const.}$



Drip-line de nêutrons
(núcleos instáveis por decaimento de nêutrons)



Átomos neutros de todos os isótopos do mesmo elemento apresentam as mesmas propriedades químicas, porém propriedades nucleares bastante diferentes. Assim, é importante definirmos os nuclídeos.

Isótopos

Isótopos (Z=const)

Mesmo número atômico (protons) mas diferente número de neutrons

Massa Total = neutrons + protons



Hidrogênio (1 proton)

1 neutron = deutério ${}^2\text{H}$

2 neutrons = trítio ${}^3\text{H}$

Lítio (3 protons)

3 or 4 neutrons (${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$)

também existe com 5, 6 e 8 neutrons

(${}^8\text{Li}$, ${}^9\text{Li}$, ${}^{11}\text{Li}$)

Hydrogen

1 proton



${}^1\text{H}$



${}^2\text{H}$



${}^3\text{H}$

Deutério trítio

Helium

2 protons



${}^3\text{He}$



${}^4\text{He}$

Lithium

3 protons



${}^6\text{Li}$



${}^7\text{Li}$

Proton:

Neutron:

Mas não com 2 ou 7. Porque ?

Isótonos e Isobáricos

Isótonos (N=const.)

Mesmo número de neutrons mas diferente número de prótons
 Massa Total = neutrons + protons



Isóbaros (A=N+Zconst.)

Mesmo número de massa mas diferente números de prótons e neutrons
 Massa Total = neutrons + protons

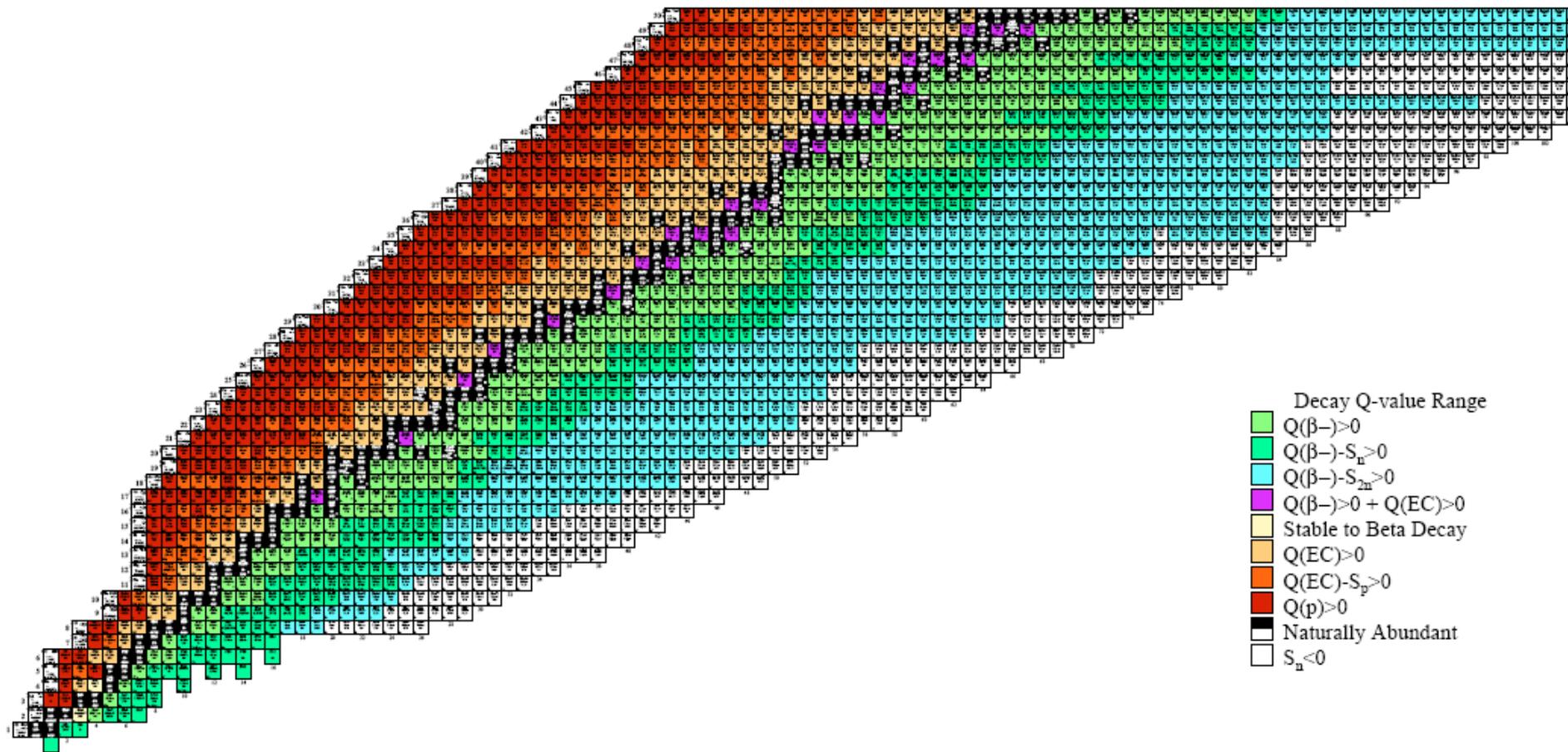


(N=6=const.)

(A= N+Z = 12 = const.)

Carta de nuclídeos até Z=50

Table of Isotopes (1996) Z=0-50



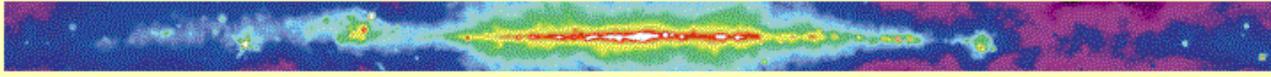
Céu noturno a olho nu



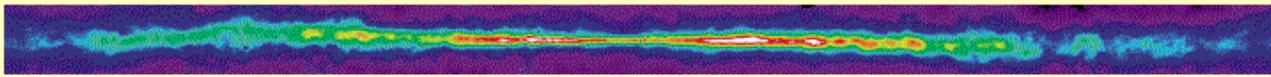
10/08/2023

Como cientistas veem o céu

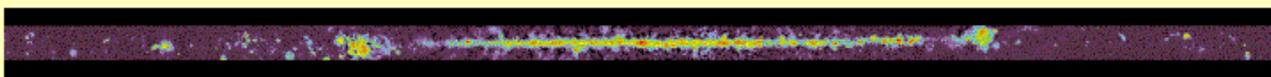
Radio (0.4 GHz)



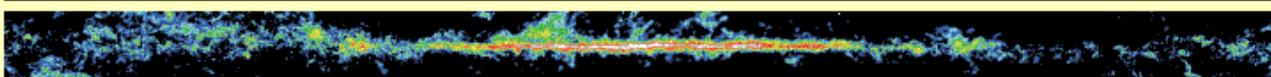
Atomic Hydrogen



Radio (2.7 GHz)



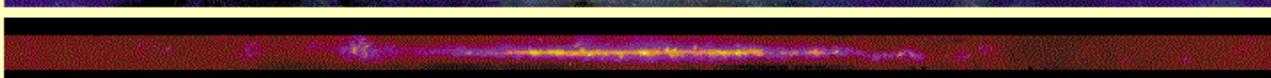
Molecular Hydrogen



Infrared



Mid Infrared



Near Infrared



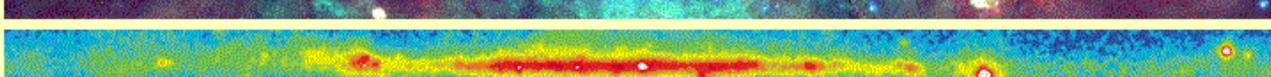
Optical



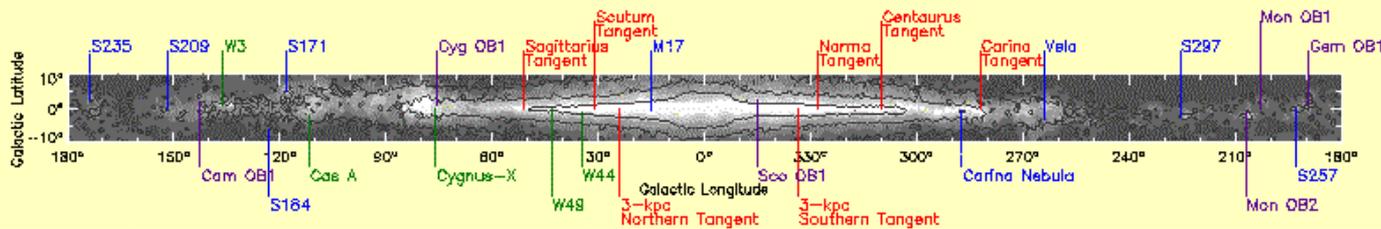
X-Ray



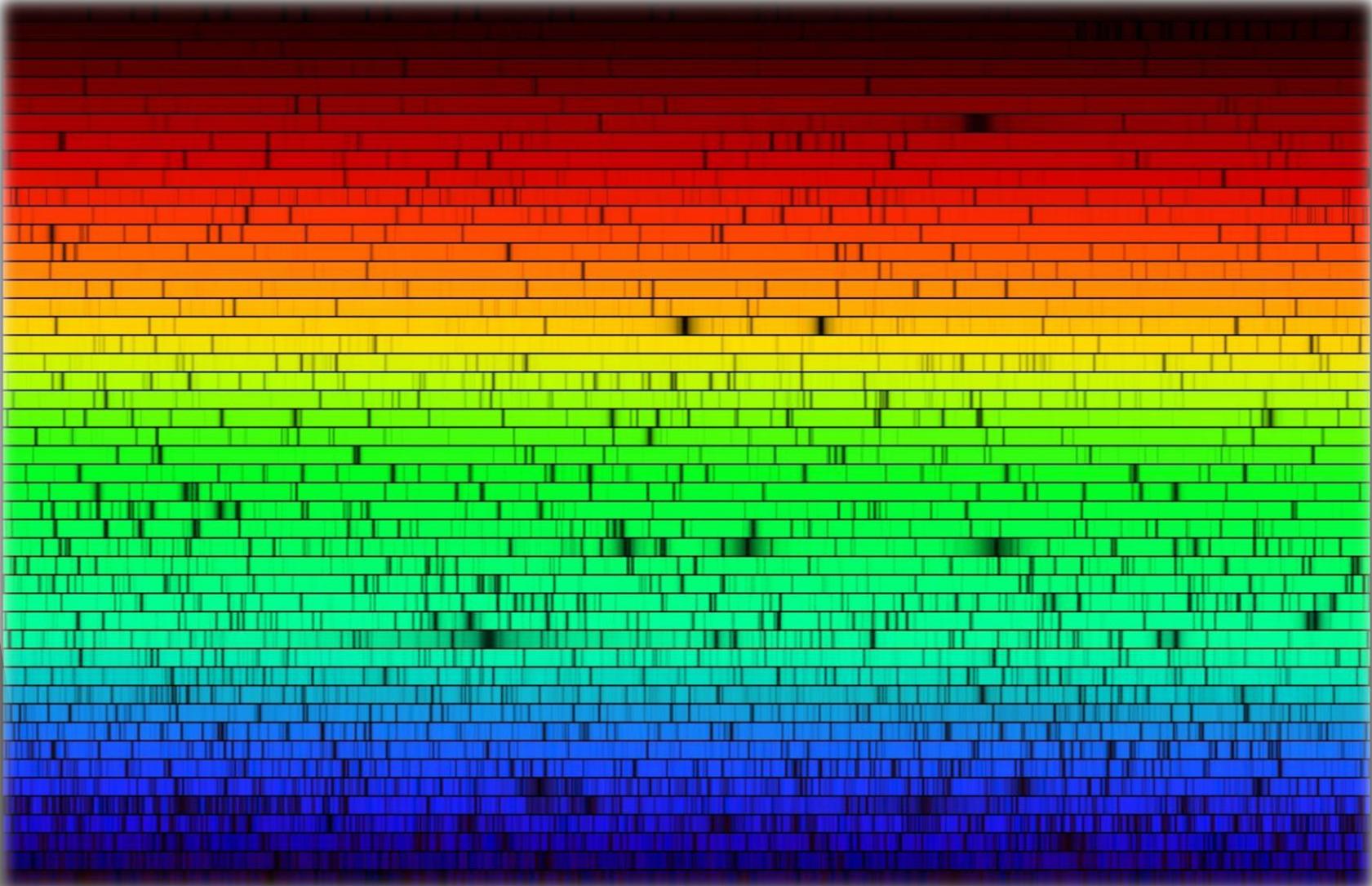
Gamma Ray



Pinder

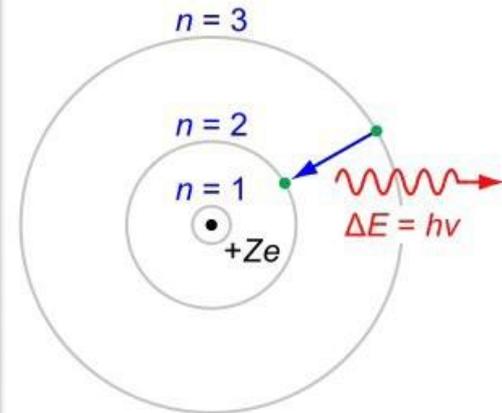
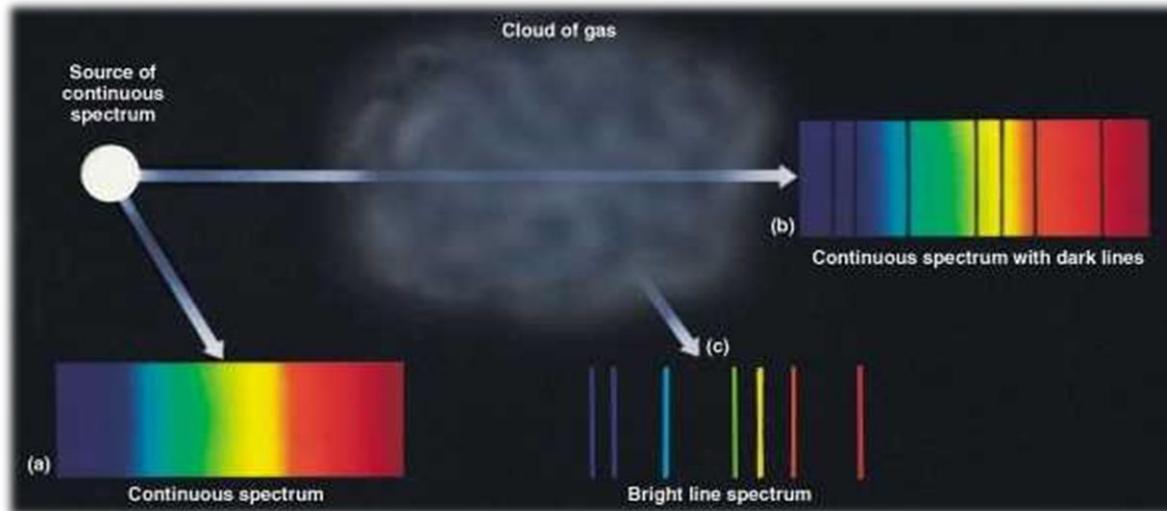


Linhas (absorção) de Fraunhofer do Sol

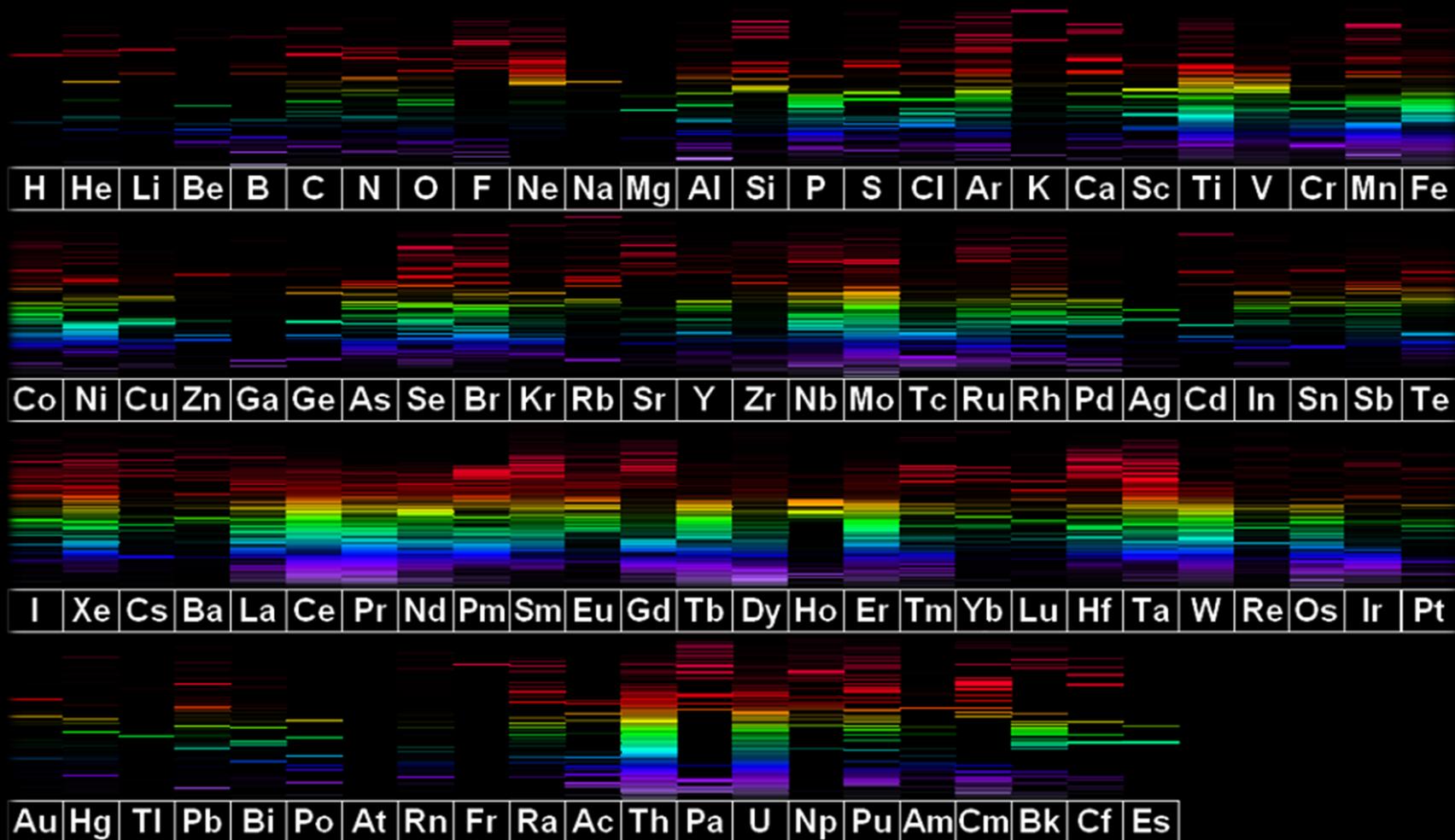


Composição química das estrelas

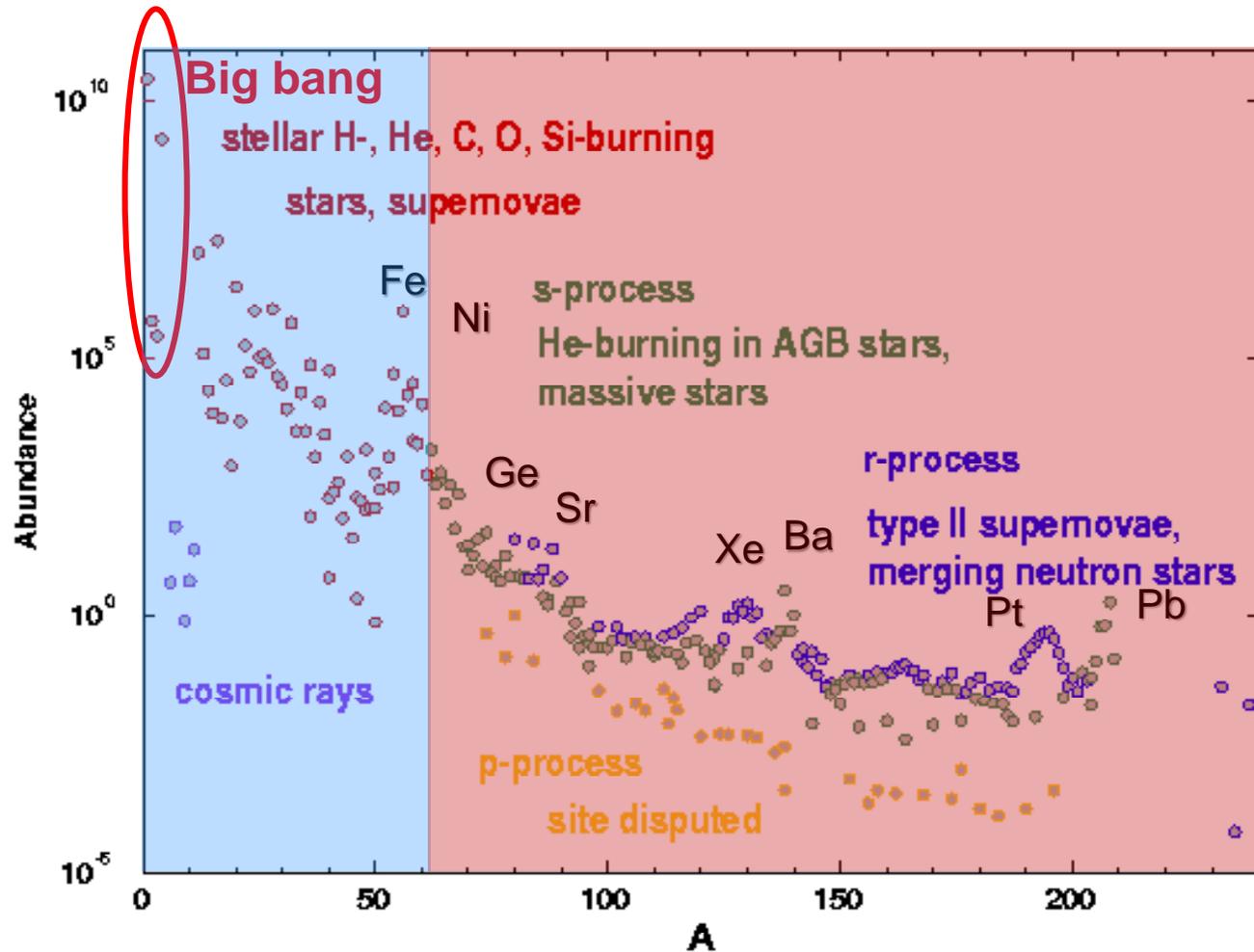
- ❑ Um gás **transparente** aquecido produz um espectro de **linhas** brilhantes (linhas de emissão).
- ❑ Se um espectro contínuo passar por um gás frio observamos a presença de linhas escuras (linhas de absorção).
- ❑ O número e a posição destas linhas depende dos elementos químicos



Linhas de emissão de diversos elementos



Abundância dos elementos



Reações captura de prótons
(partículas carregadas)

Reações (captura) de neutrons

Carta de nuclídeos e astrofísica

s-process:

captura lenta de neutrons

r-process:

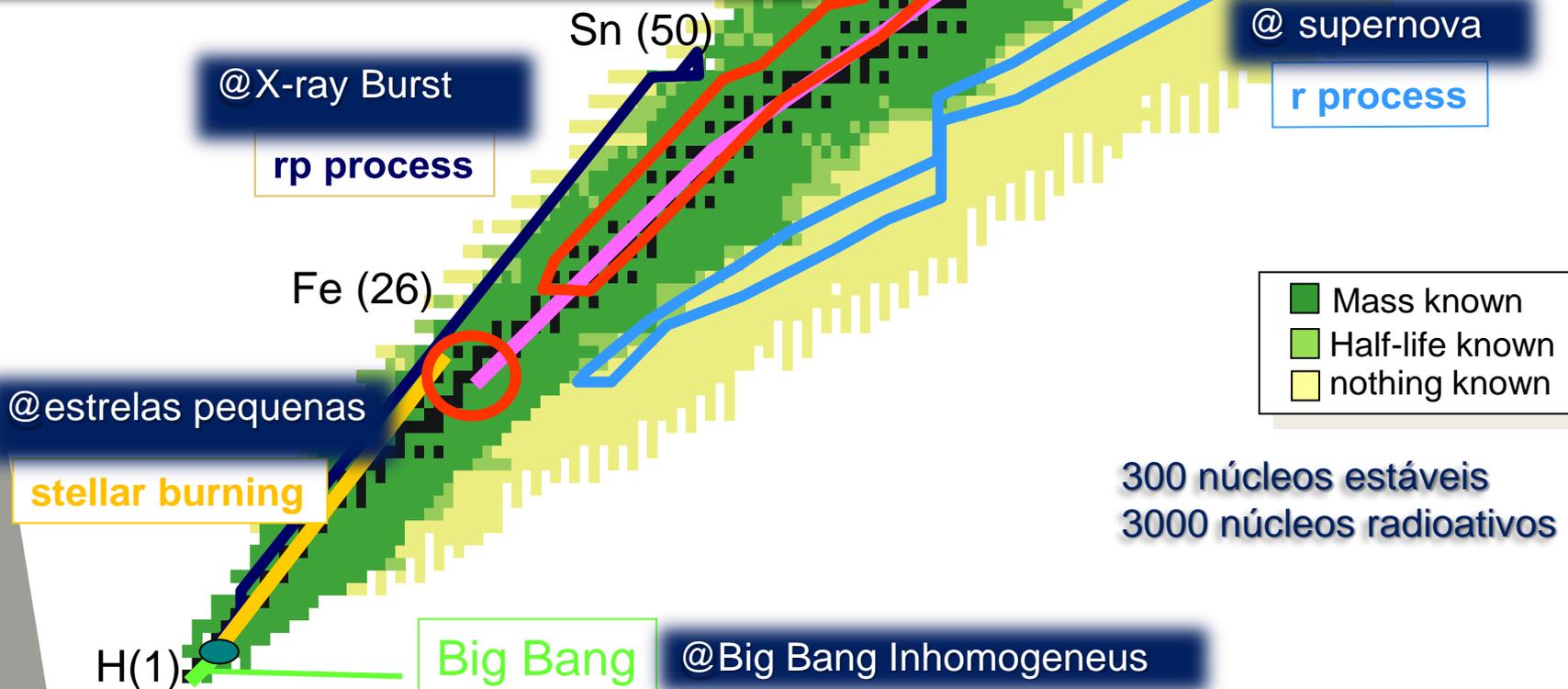
captura rápida de neutrons (explosiva)

p-process:

captura lenta de prótons

rp-process:

captura rápida de prótons (explosiva)



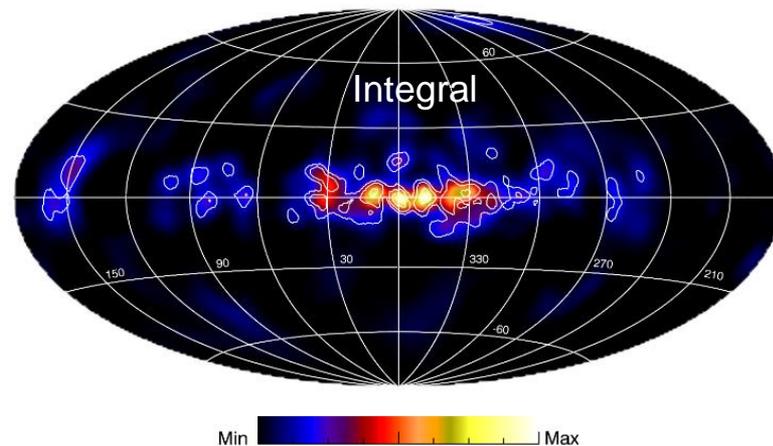
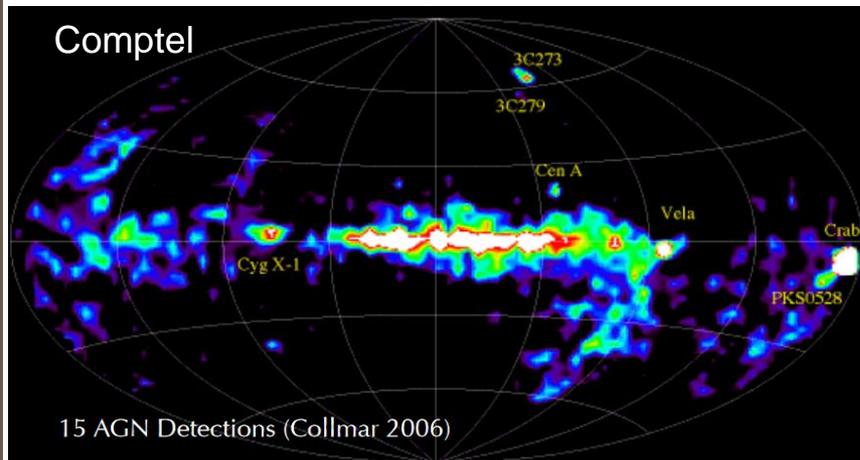


Figure 1: Measurement of the ²⁶Al line from the inner Galaxy region with SPI/INTEGRAL.

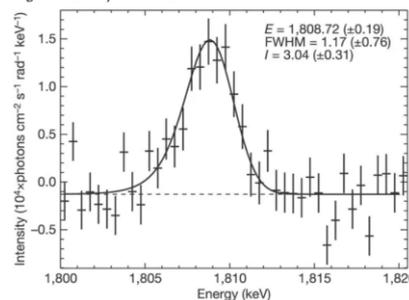


Imagem do satélite Comptel,

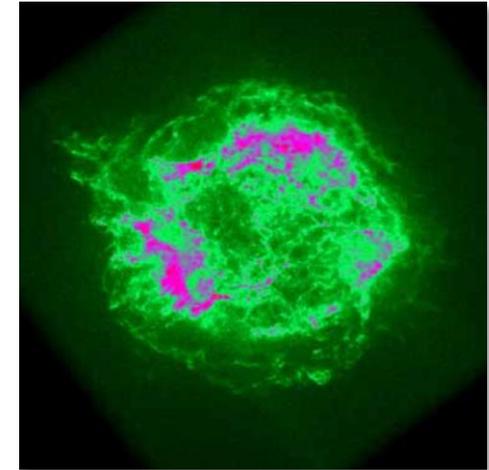
- ❑ Produção de raios-gama de 1 a 30 MeV.
- ❑ Portanto, onde estão sendo produzidos elementos radioativos.

Imagem satélite Integral

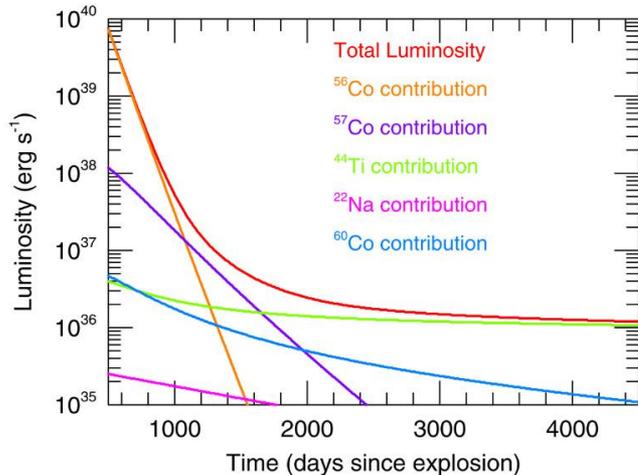
- ❑ Raios gama de 1.8 MeV do decaimento do ²⁶Al
- ❑ $T_{1/2} (^{26}\text{Al}) = 0.7 \text{ My}$
- ❑ ²⁶Al possivelmente produzido em supernova

Centro da nossa galáxia muito ativa em termos de reações nucleares

- ❑ Cassiopeia A: Remanescente (nuvem em expansão) de uma explosão de supernova localizado na constelação de Cassiopeia.
- ❑ Onze mil anos-luz da Terra.
- ❑ Raios-gamas emitidos do ^{44}Ti
- ❑ $T_{1/2} (^{44}\text{Ti}) = 60$ anos

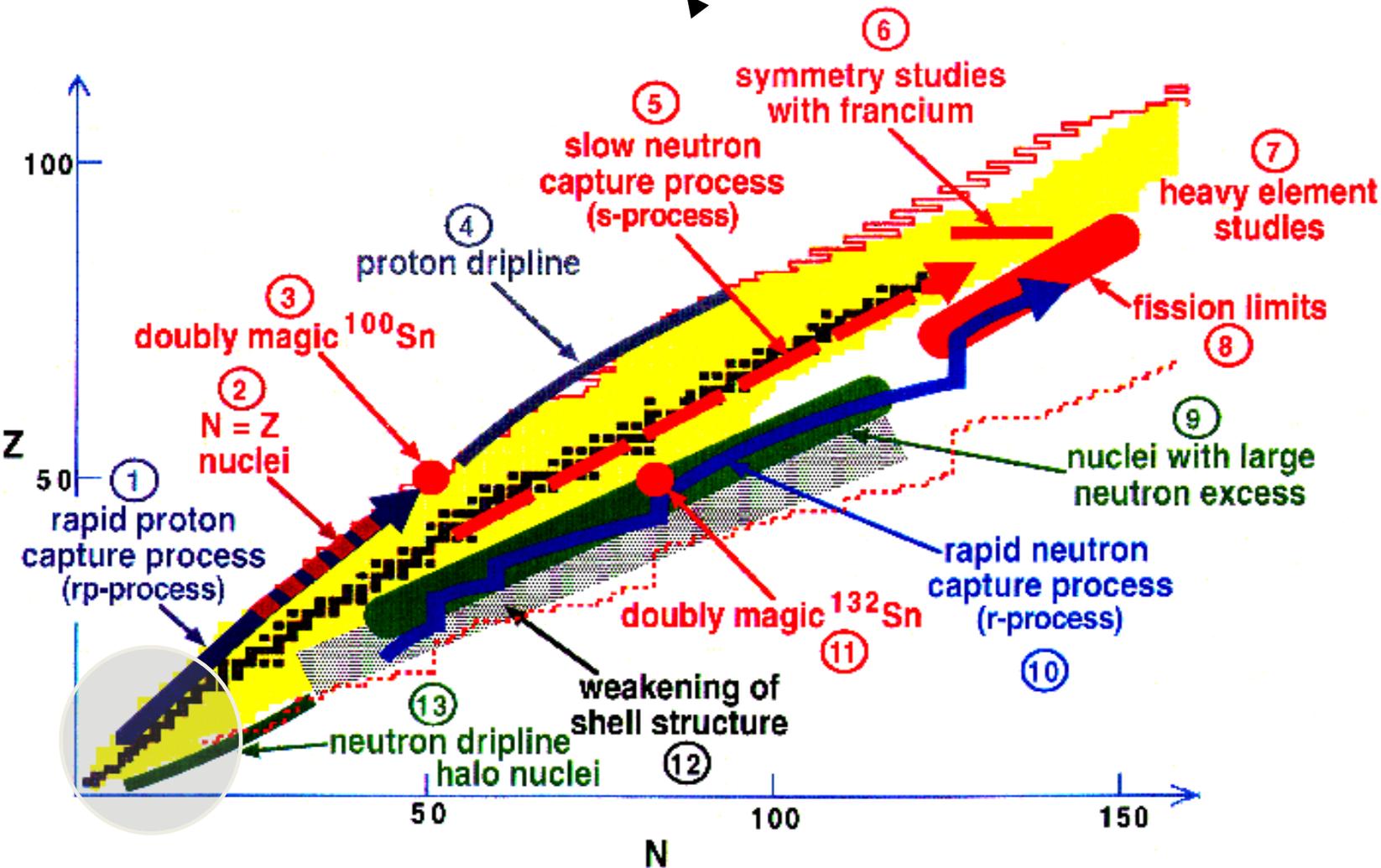


(NASA/CXC/SAO)



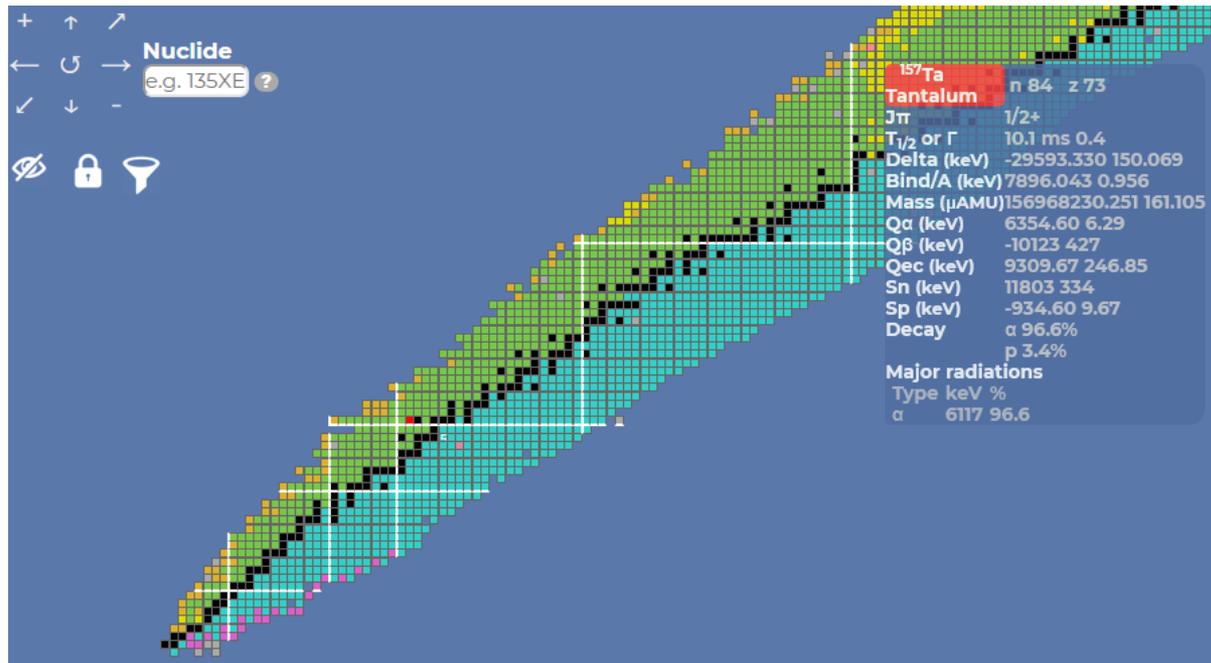
- ❑ ^{44}Ti vem da queima explosiva do Oxigênio e Silício nas camadas mais internas e intermediária de uma supernova
- ❑ ^{56}Ni em ^{56}Fe são os grandes responsáveis pelo brilho de uma supernova

Carta de nuclídeos - investigações



Ciclo pp ciclo CNO Novas

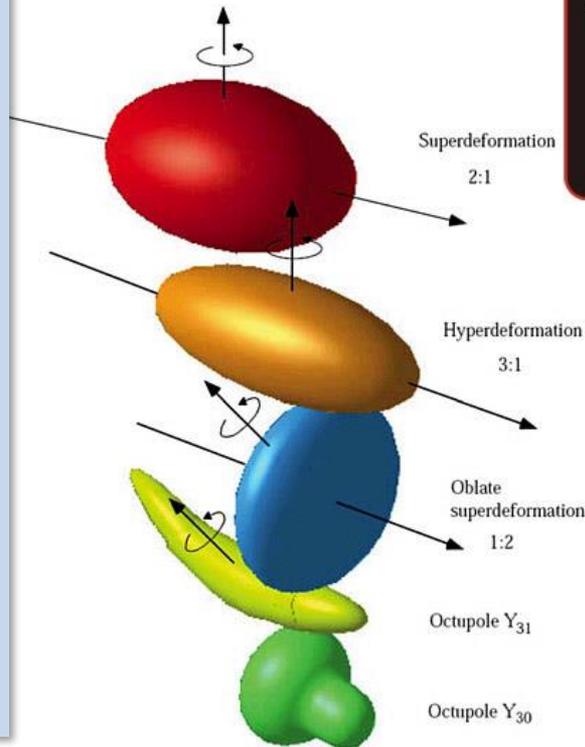
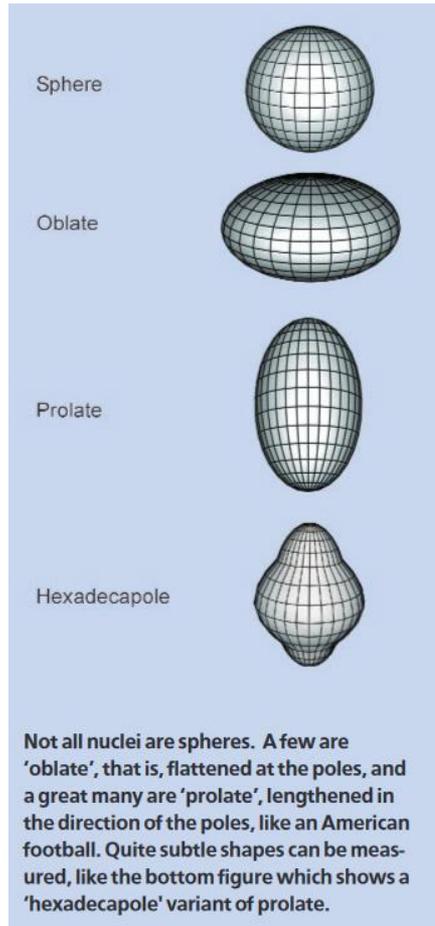
Live chart of nuclides



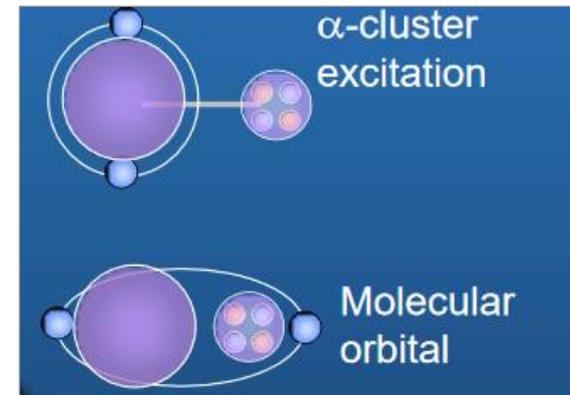
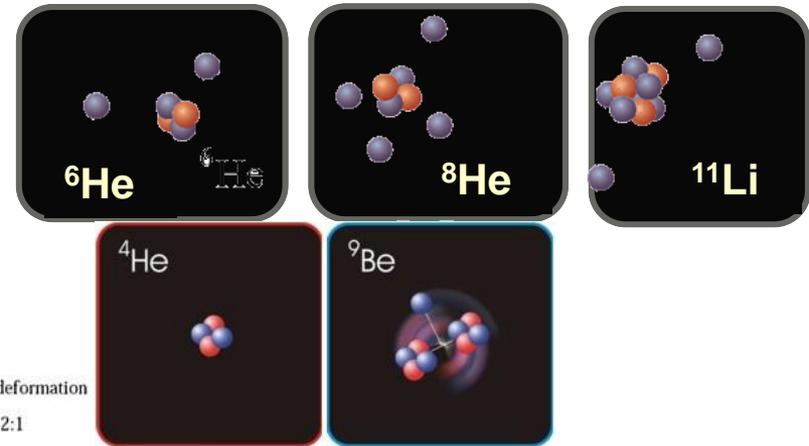
<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

Núcleos não são esféricos

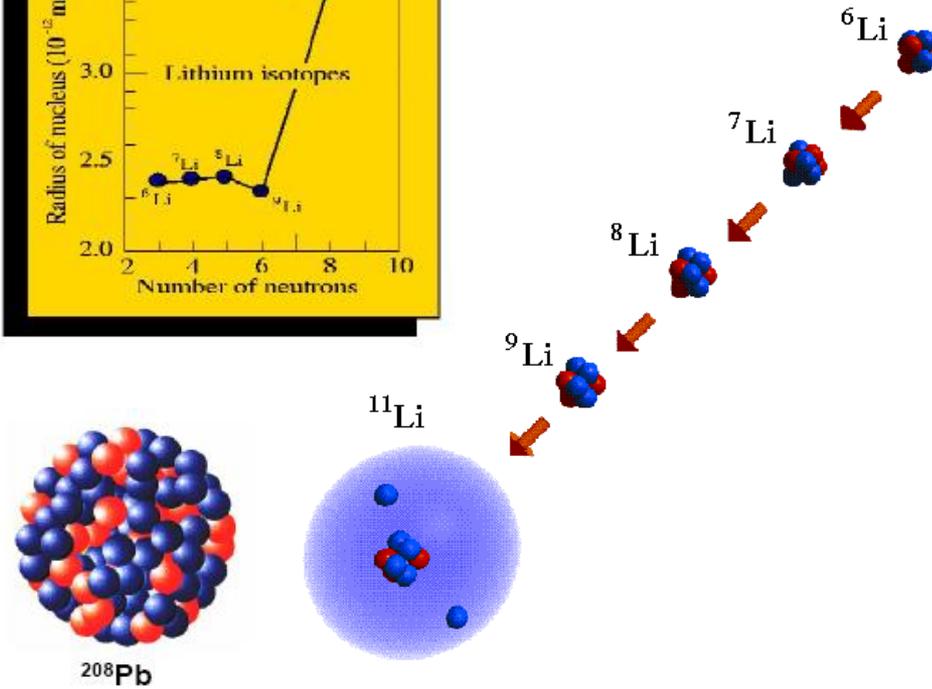
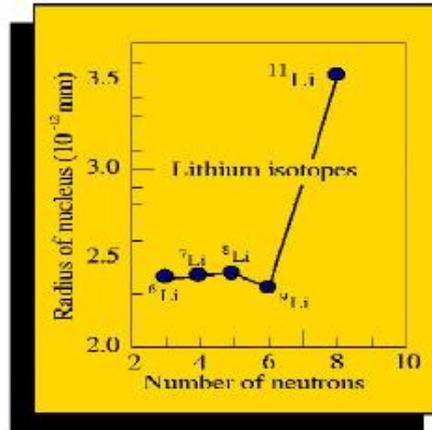
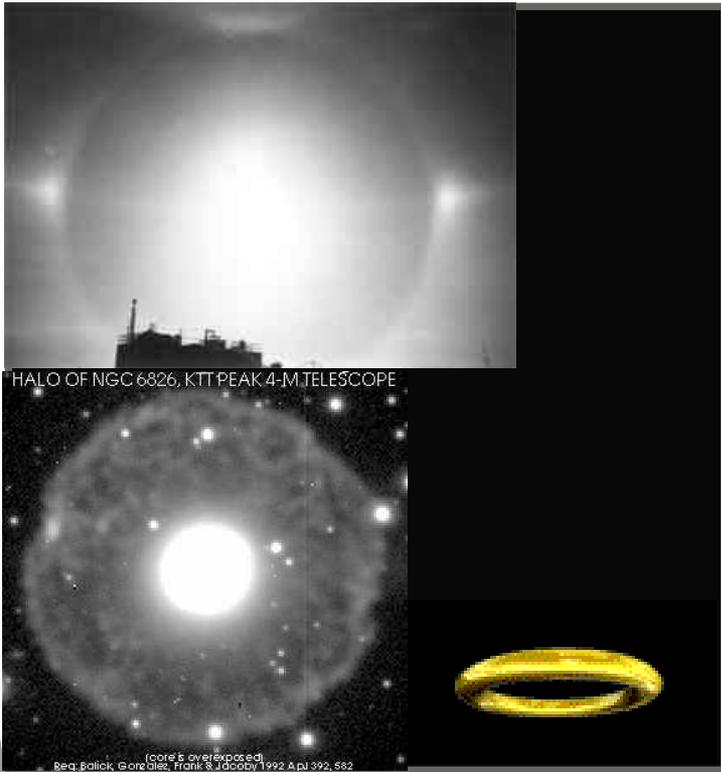
Núcleos podem ser deformados



Estrutura de aglomerados (cluster)

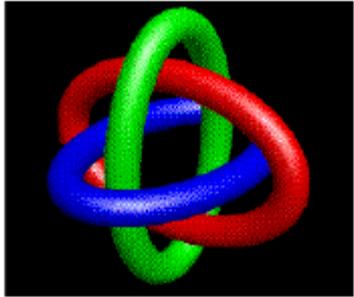


Efeito halo



Outros núcleos com efeito halo: ${}^8\text{B}$, ${}^{11}\text{Be}$ e ${}^{17}\text{F}$

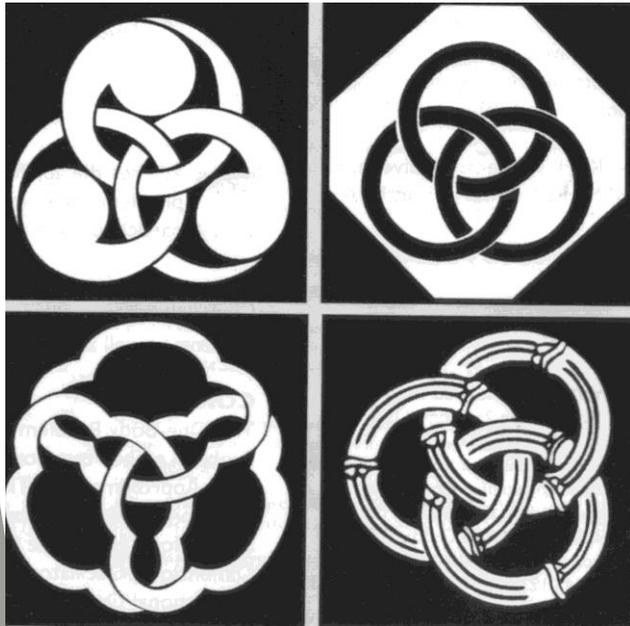
Nucleus borromeanos



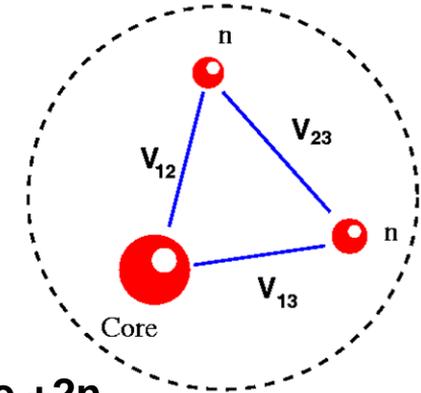
Aneis borromeanos.
 Simbolo heraldico da familia Borromeo
 Gravado em pedras no castelo no Lago
 Maggiore no norte da Italia.



Brasões de familias japonesas



Em física nuclear
 Aneis = ligações



Núcleos borromeanos ${}^6\text{He} = {}^4\text{He} + 2n$

${}^{11}\text{Li} = {}^9\text{Li} + 2n$

$2n$

${}^5\text{He} = {}^4\text{He} + n$

${}^{10}\text{Li} = {}^9\text{Li} + n$

não ficam ligados



Núcleos exóticos

