

La fisica delle particelle



Massimo Mannarelli
INFN-LNGS
massimo@lngs.infn.it

LNGS, 21 Ott 2019

Sommario

- Breve viaggio nella materia



- Riduzionismo



- Alti livelli di mistificazione



- Conclusioni

*Breve viaggio dentro
la materia*

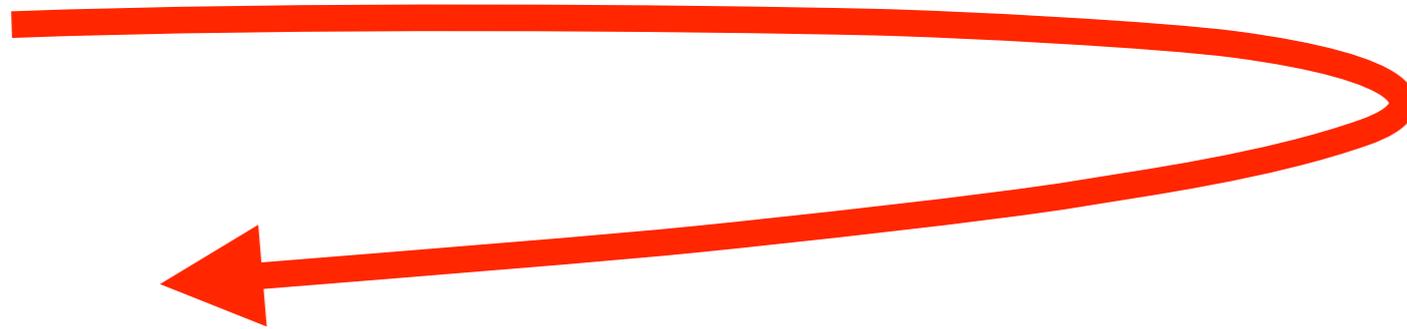
ferro



ferro

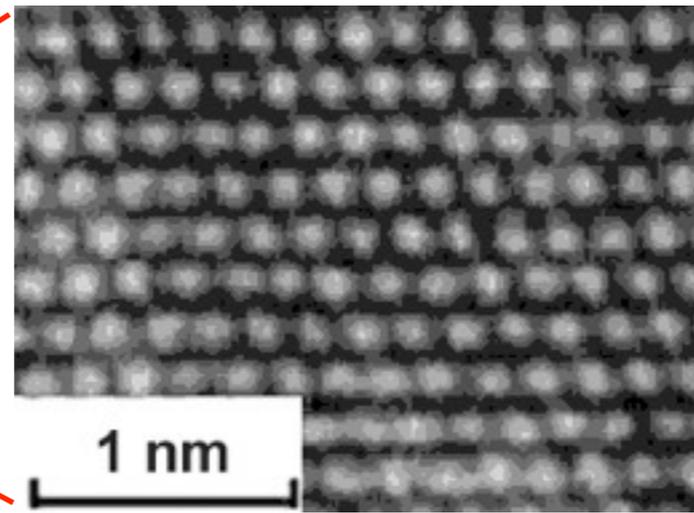


Scala di ingrandimento



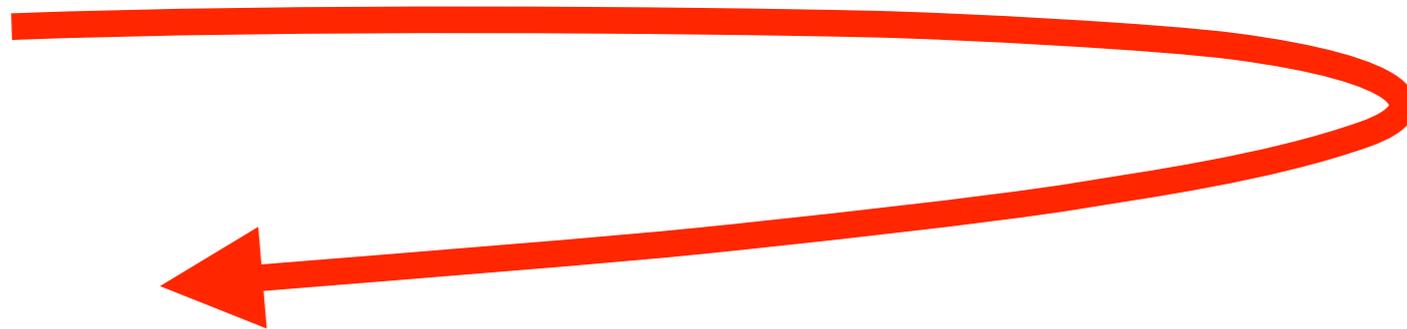
ferro

reticolo molecolare



$$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$$

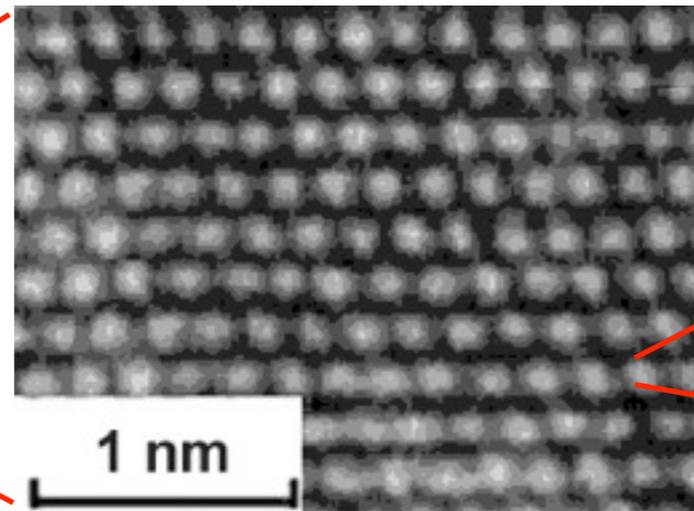
Scala di ingrandimento



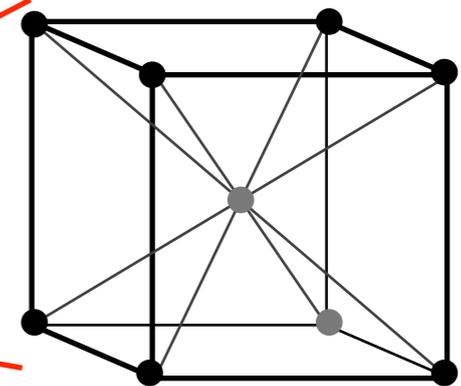
ferro

reticolo molecolare

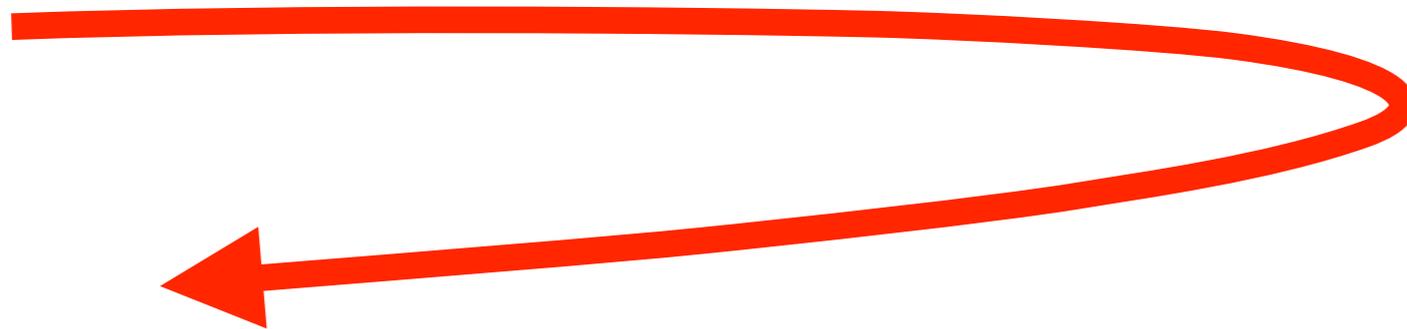
cella elementare



$$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$$



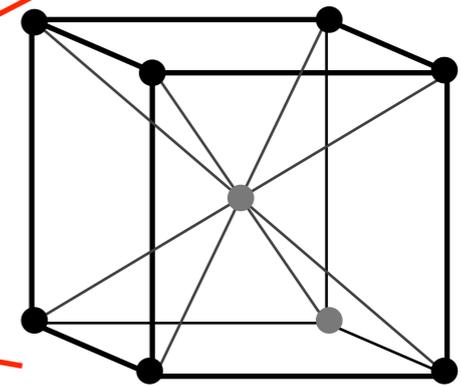
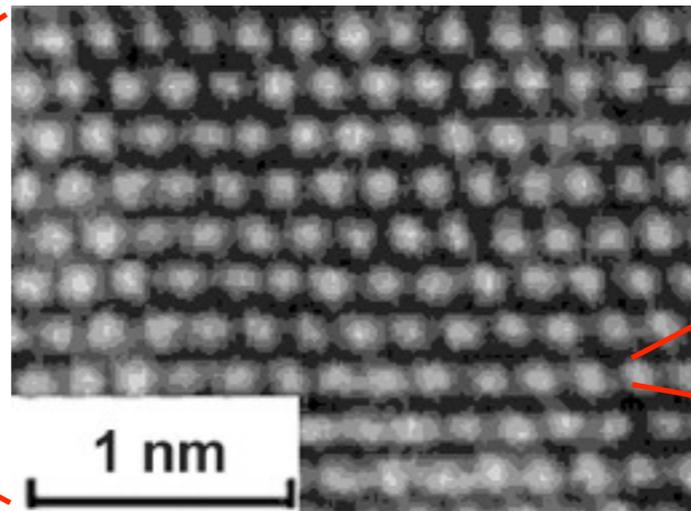
Scala di ingrandimento



ferro

reticolo molecolare

cella elementare

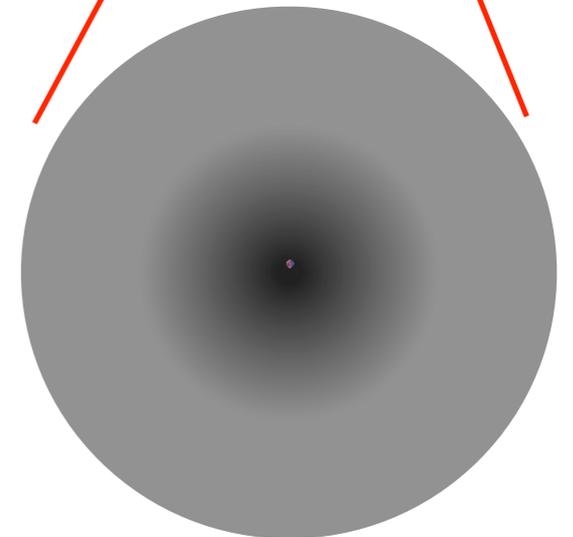


1 nm

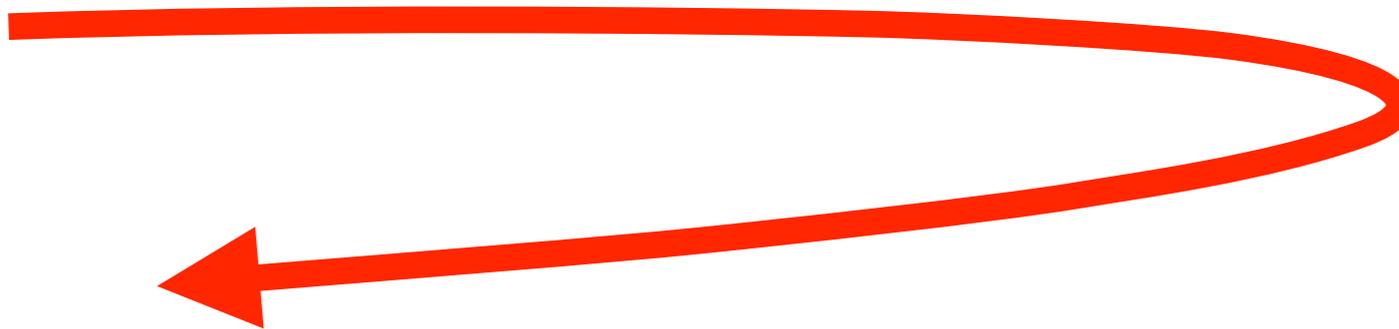
$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

$10^{-10} \text{ m} = \text{Å}$

Atomo



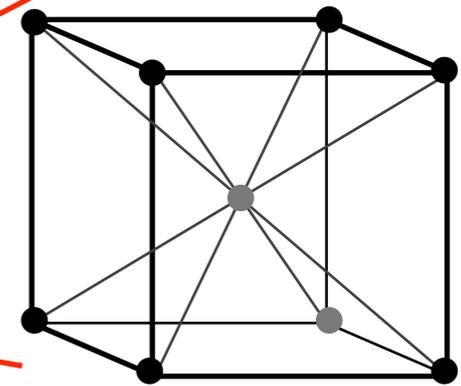
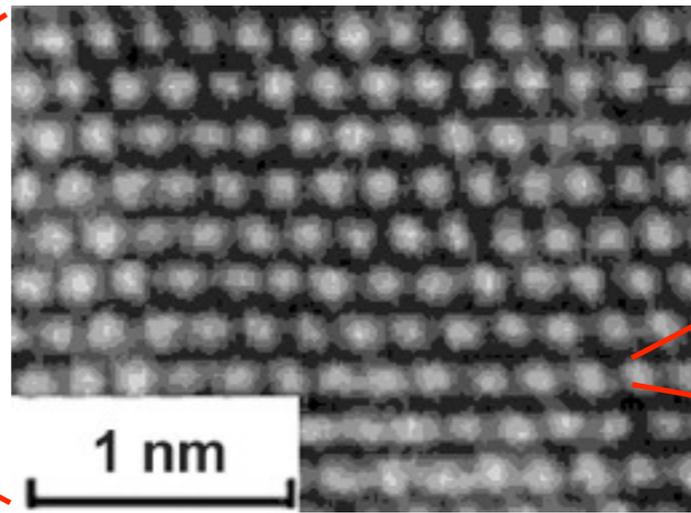
Scala di ingrandimento



ferro

reticolo molecolare

cella elementare

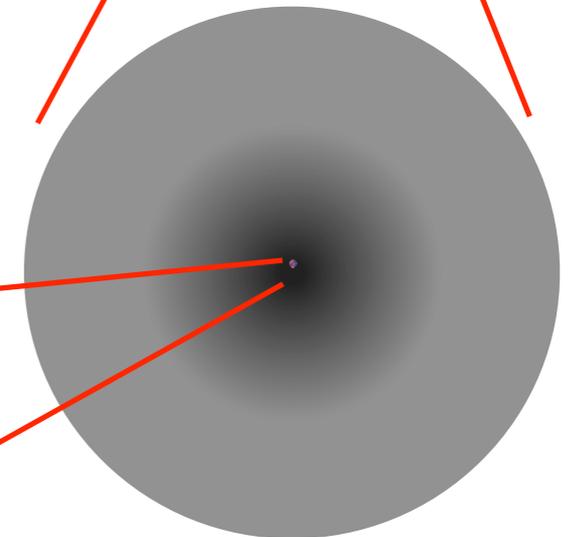
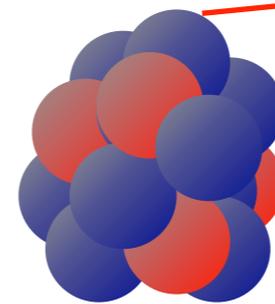
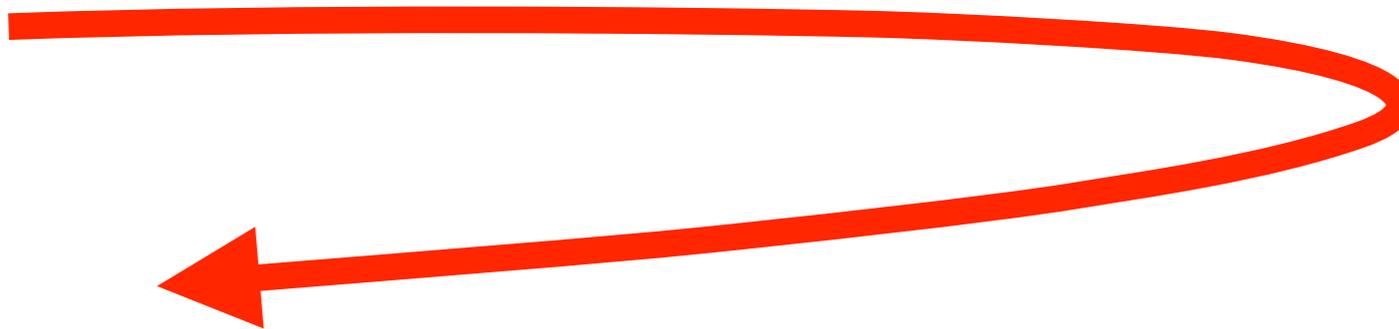


1 nm
 $10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

$10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$

Atomo

Scala di ingrandimento



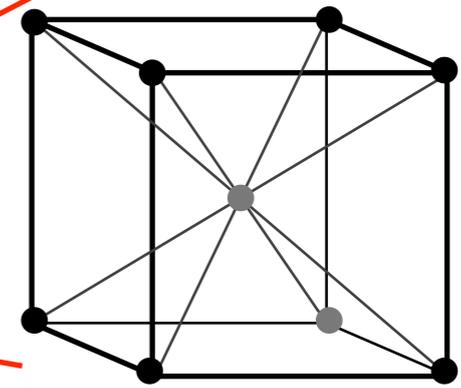
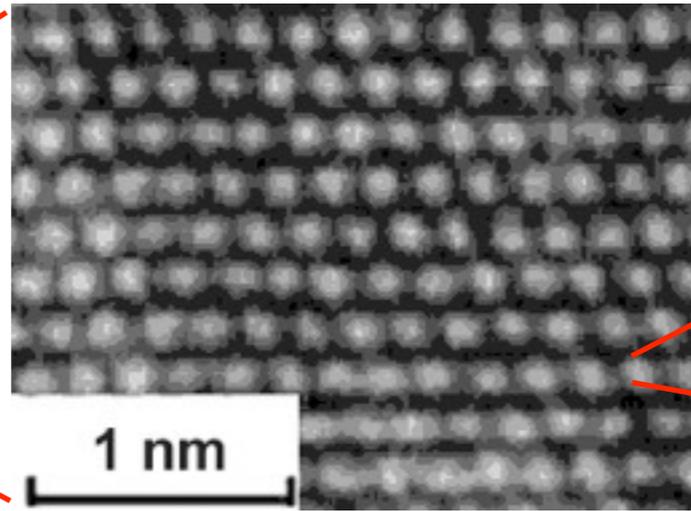
nucleo

$10^{-15} \text{ m} = \text{fm}$

ferro

reticolo molecolare

cella elementare



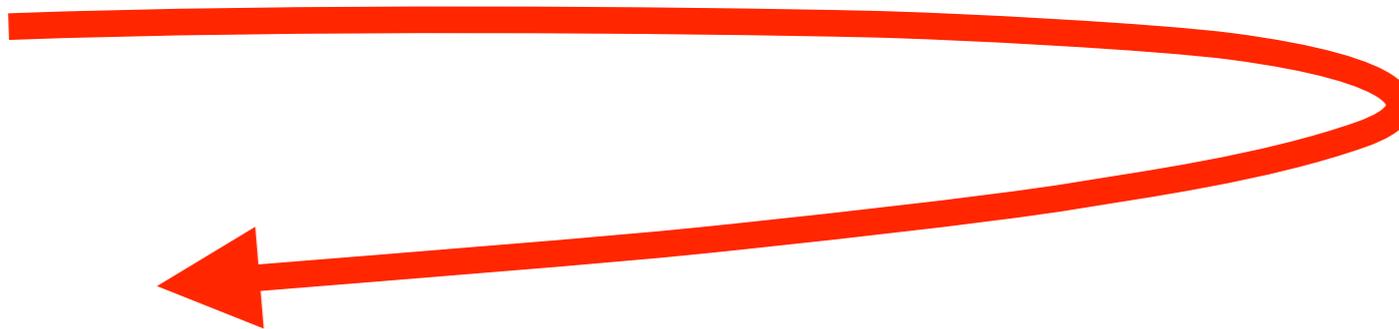
1 nm

$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

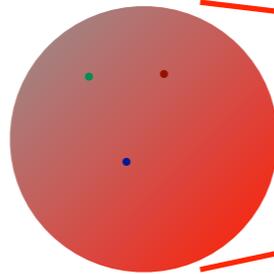
$10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$

Atomo

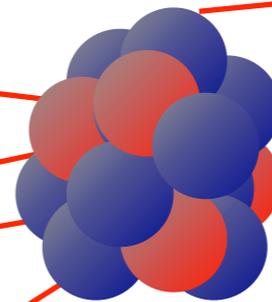
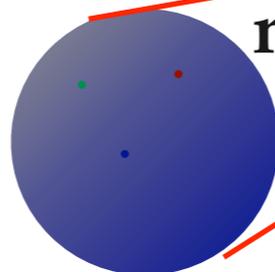
Scala di ingrandimento



protone

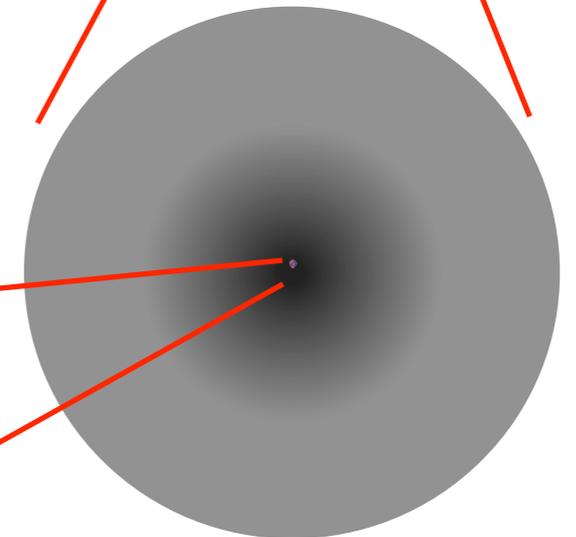


neutrone



nucleo

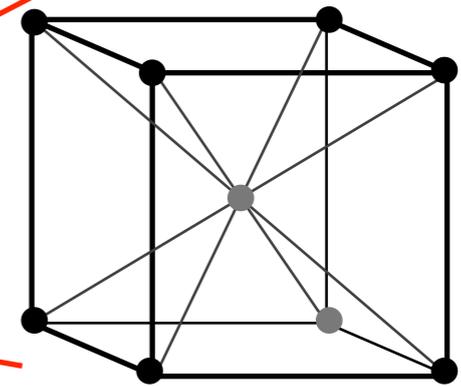
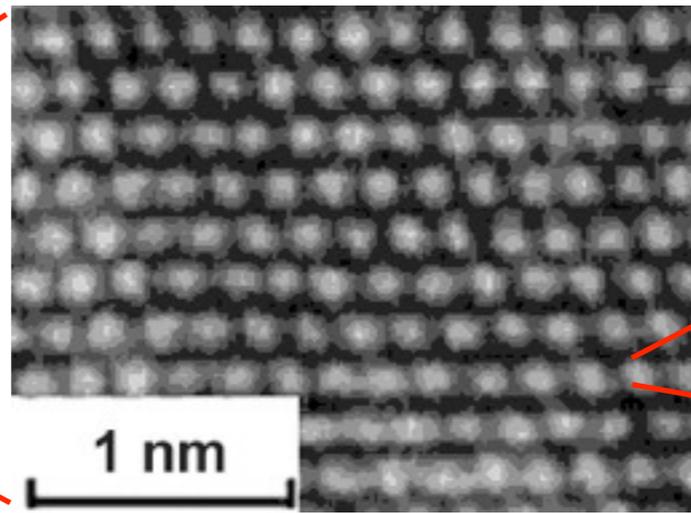
$10^{-15} \text{ m} = \text{fm}$



ferro

reticolo molecolare

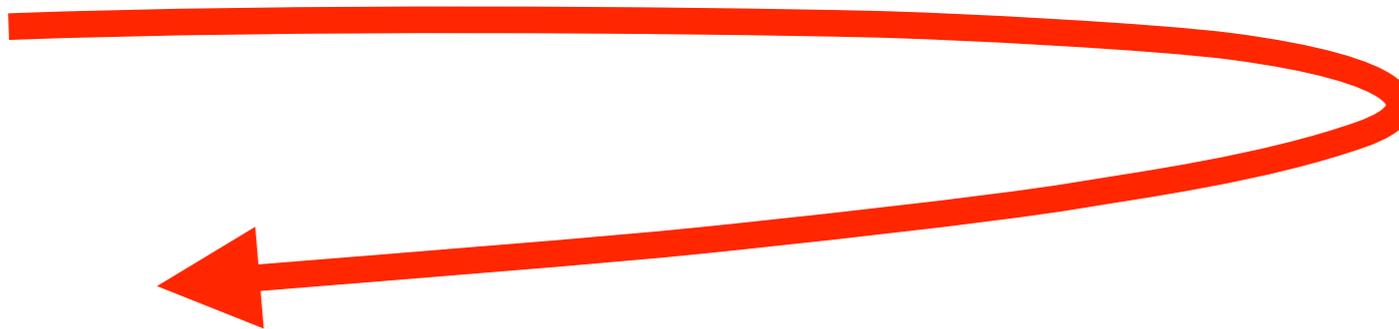
cella elementare



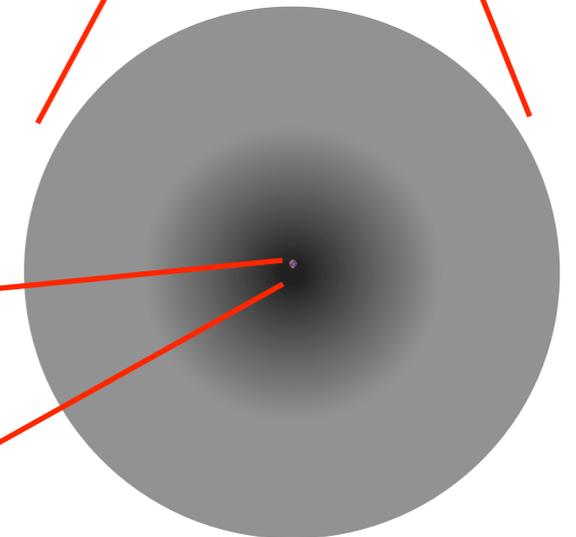
$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

$10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$

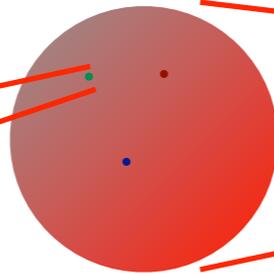
Scala di ingrandimento



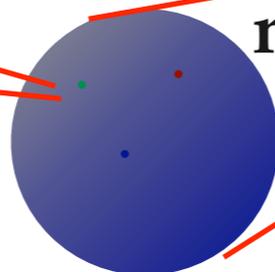
Atomo



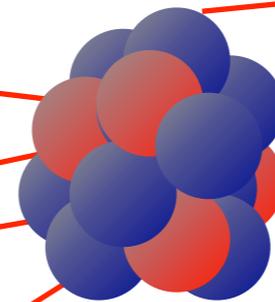
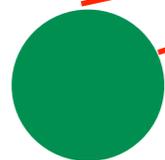
protone



neutrone



quark



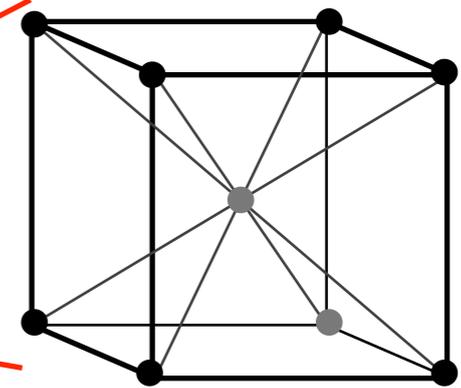
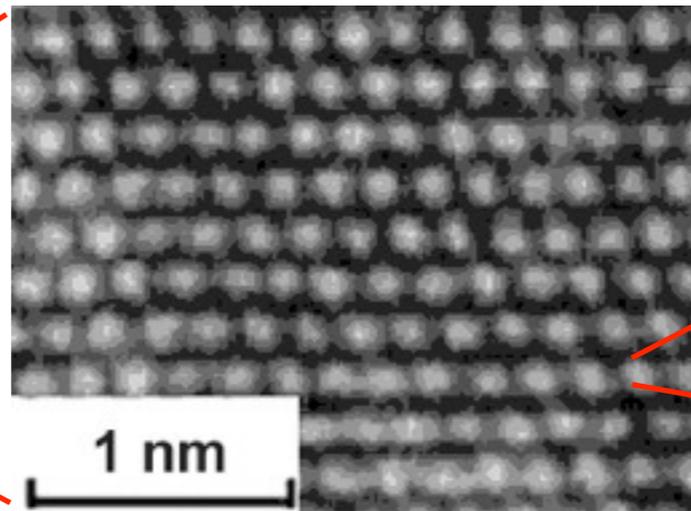
nucleo

$10^{-15} \text{ m} = \text{fm}$

ferro

reticolo molecolare

cella elementare

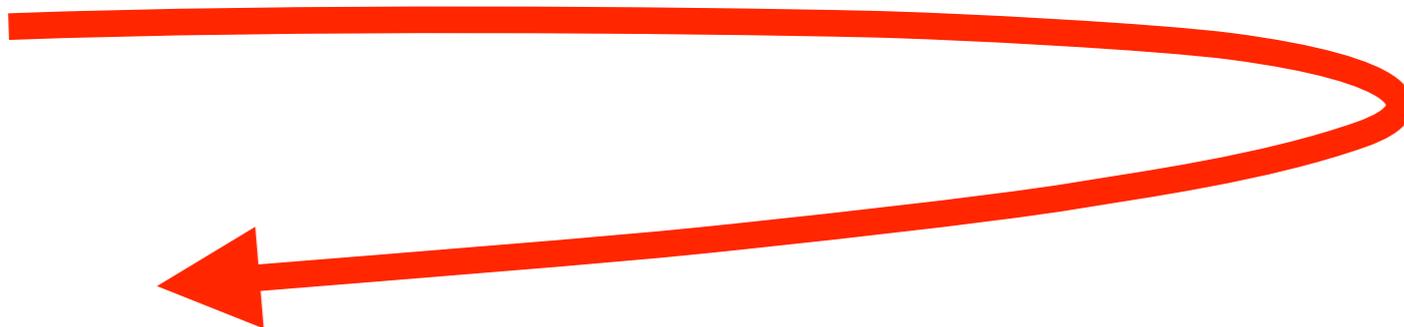


1 nm

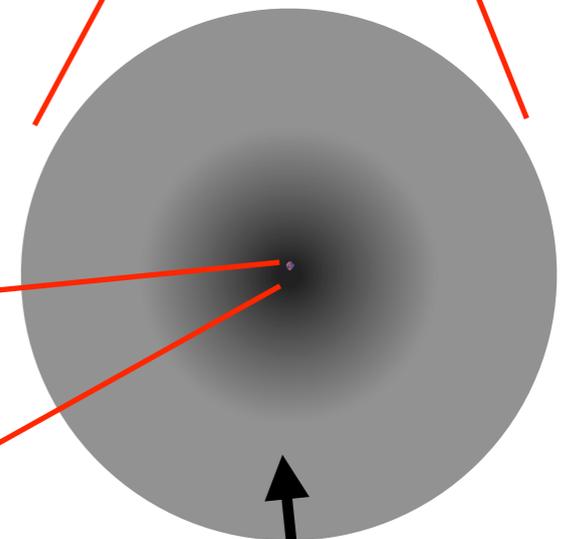
$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

$10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$

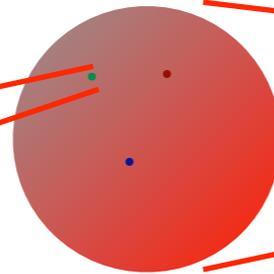
Scala di ingrandimento



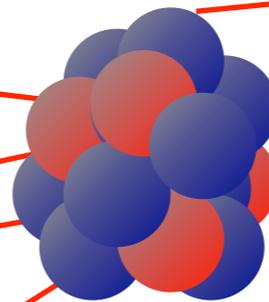
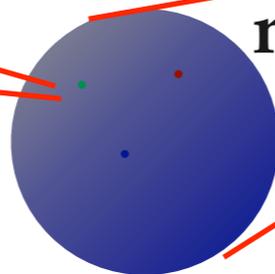
Atomo



protone



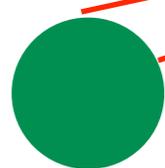
neutrone



nucleo

$10^{-15} \text{ m} = \text{fm}$

quark

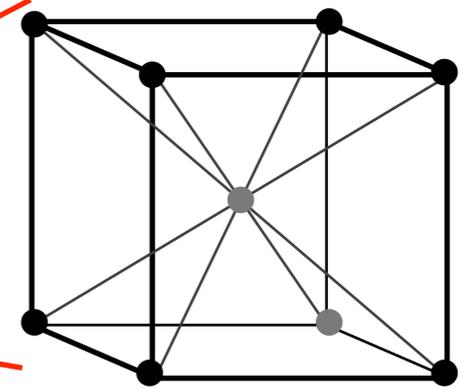
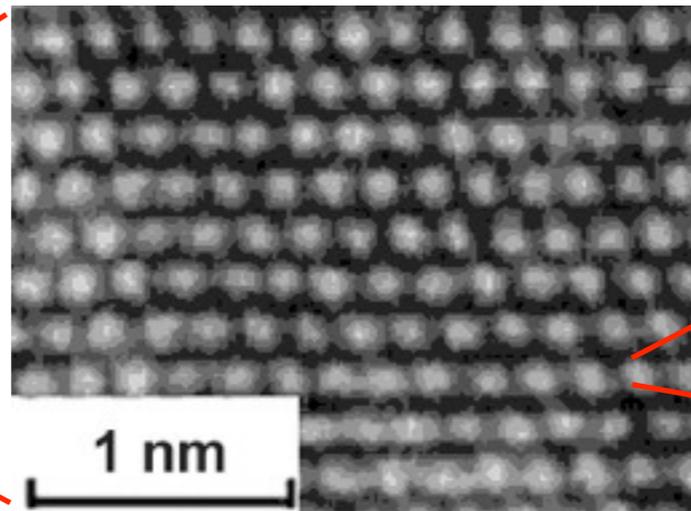


elettroni

ferro

reticolo molecolare

cella elementare

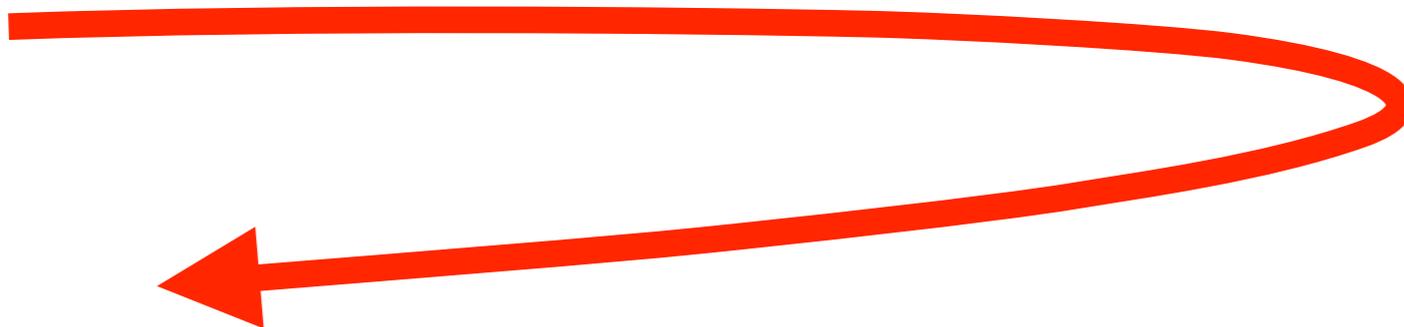


1 nm

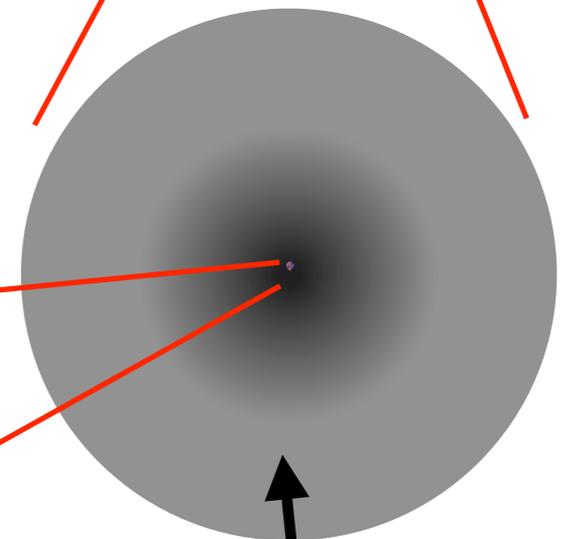
$10^{-9} \text{ m} = \text{nm}$

$10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$

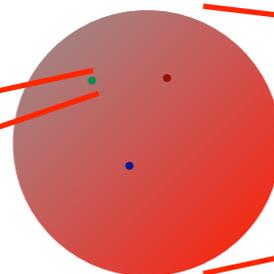
Scala di ingrandimento



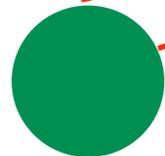
Atomo



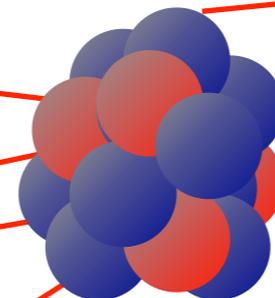
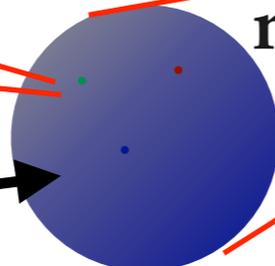
protone



quark



neutrone



nucleo

$10^{-15} \text{ m} = \text{fm}$

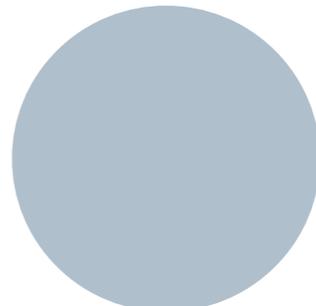
gluoni

elettroni

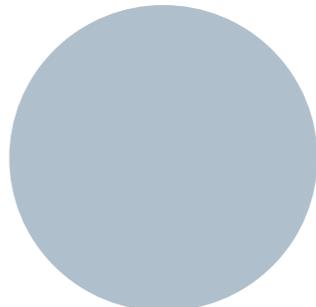
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



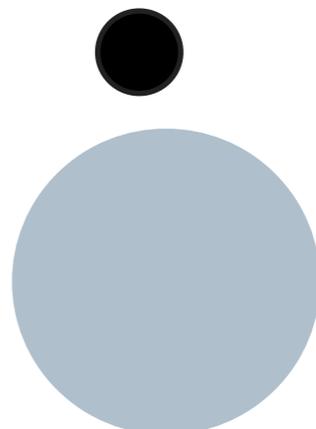
Metodo meno gentile



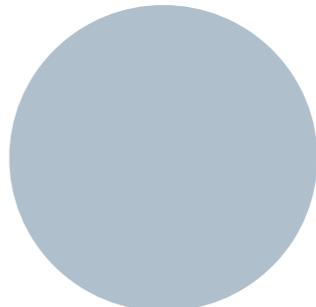
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



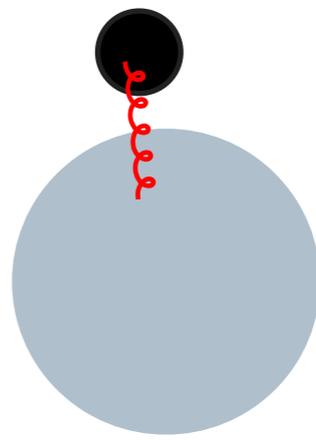
Metodo meno gentile



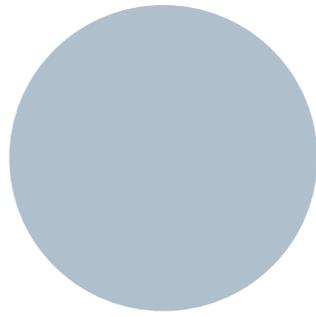
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



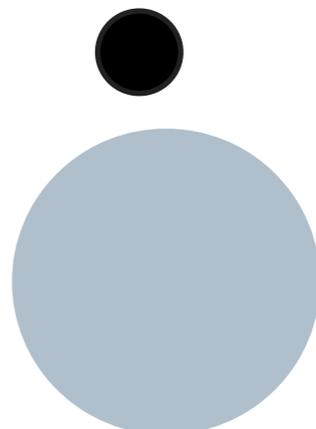
Metodo meno gentile



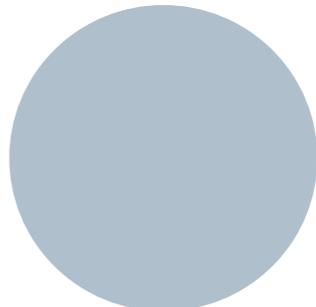
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



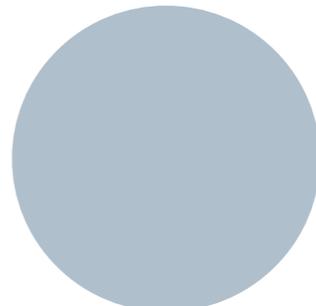
Metodo meno gentile



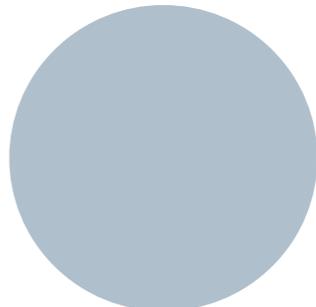
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



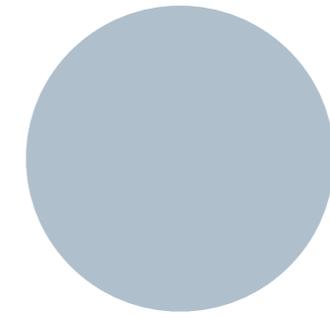
Metodo meno gentile



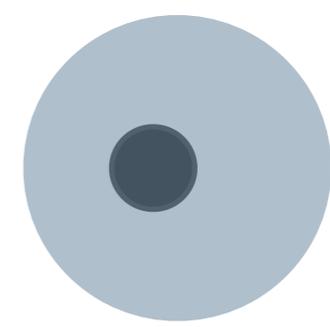
Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



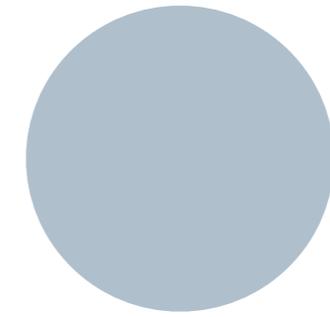
Metodo meno gentile



Dentro la materia nucleare, in laboratorio

rivelatore

Metodo gentile



Metodo meno gentile

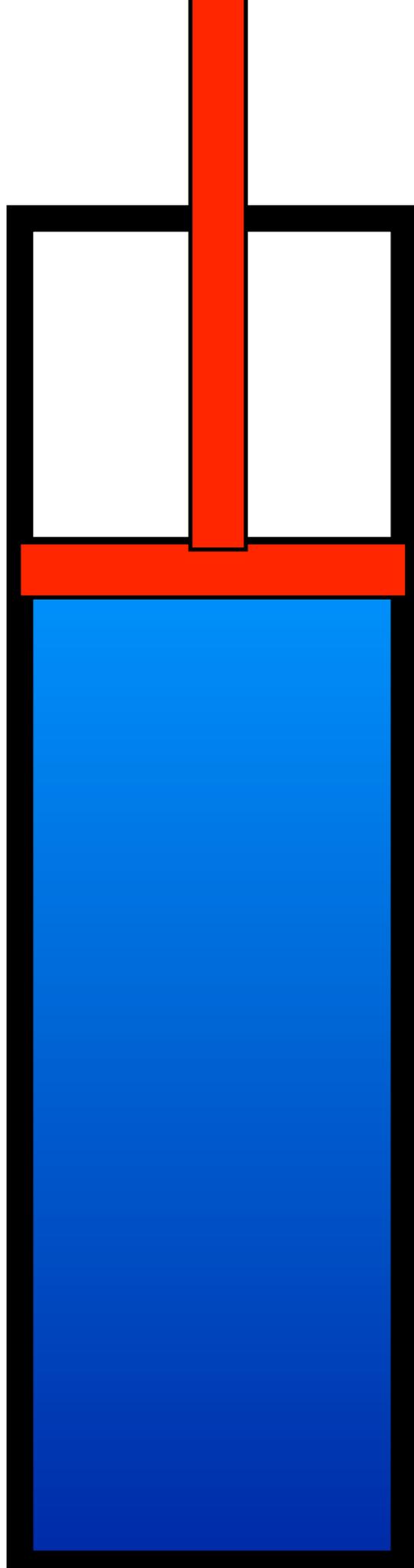


Un altro metodo poco gentile



	Densità	Elementi
H		nuclei leggeri, elettroni
	elettroni
He	
.....		
	10 g cm^{-3}	nuclei pesanti, elettroni
Fe		
	$10^{11} \text{ g cm}^{-3}$	
neutroni liberi		
	$10^{14} \text{ g cm}^{-3}$	neutroni, protoni ed elettroni
zuppa di neutroni protoni		
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
	??	quarks, gluoni e nuclei
zuppa quark e nuclei		
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
	?????	quarks e gluoni
zuppa quark		

Un altro metodo poco gentile



	Densità	Elementi
H		nuclei leggeri, elettroni
He	elettroni
.....	
Fe	10 g cm^{-3}	nuclei pesanti, elettroni
neutroni liberi	$10^{11} \text{ g cm}^{-3}$	
zuppa di neutroni protoni	$10^{14} \text{ g cm}^{-3}$	neutroni, protoni ed elettroni
zuppa quark e nuclei	??	quarks, gluoni e nuclei
zuppa quark	?????	quarks e gluoni

Riduzionismo



Di cosa è fatta la materia?

Come funziona?

La materia è un oggetto complicato



La materia è un oggetto complicato



La materia è un oggetto complicato



Viti

Elementi

La materia è un oggetto complicato



Viti

Elementi

Tutta la materia è fatta di **elementi** e **viti**

La materia è un oggetto complicato



Viti

Elementi

Alle volte una vite
o un elemento si stacca

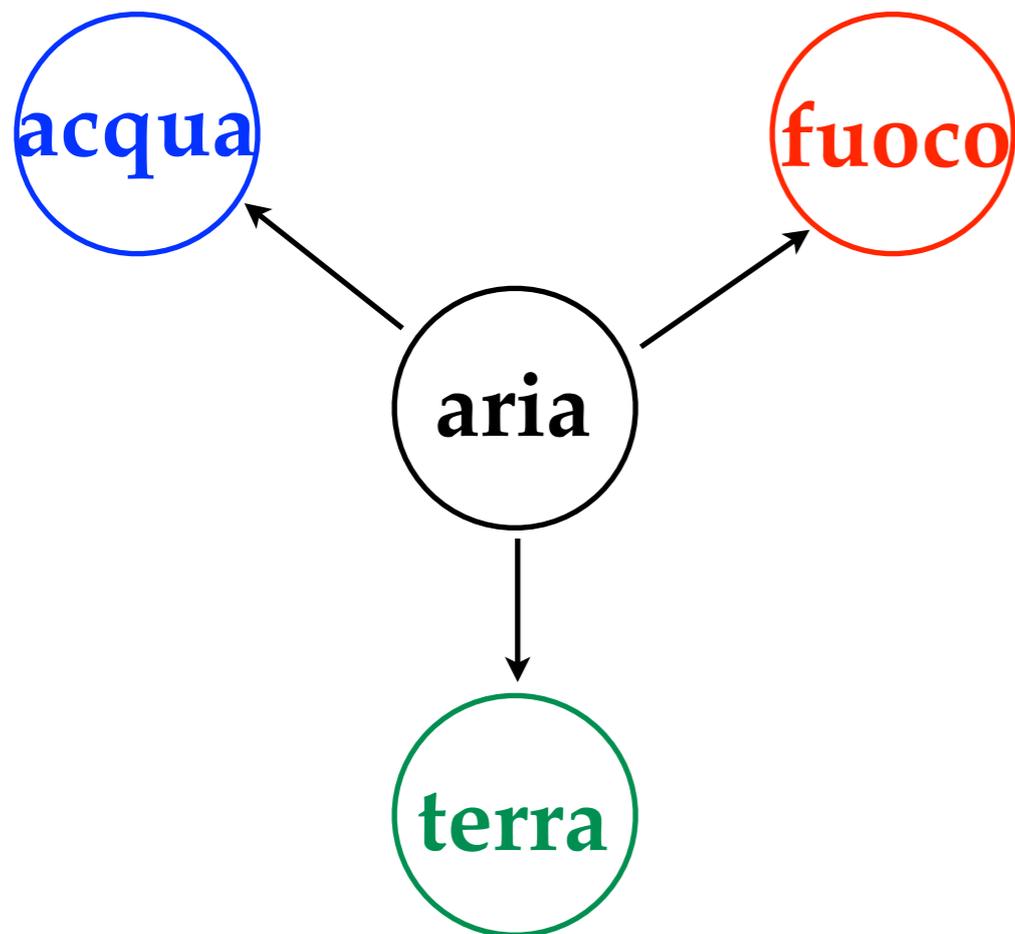


Deacadimento

Tutta la materia è fatta di **elementi** e **viti**

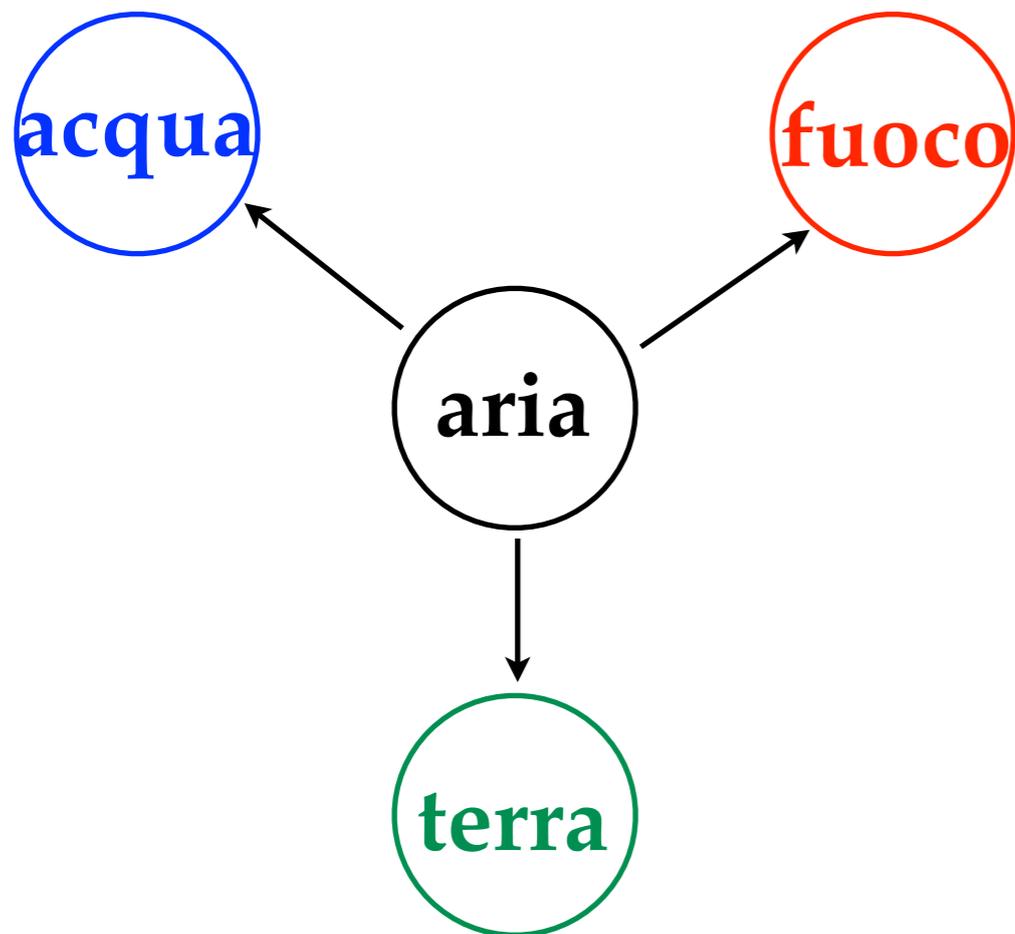
Gli oggetti complessi sono fatti di parti più semplici: **elementi** tenuti insieme da delle **forze**.

Per Anassimene da Mileto (circa 586 A.C.), c'è un unico elemento: l'aria



Gli oggetti complessi sono fatti di parti più semplici: **elementi** tenuti insieme da delle **forze**.

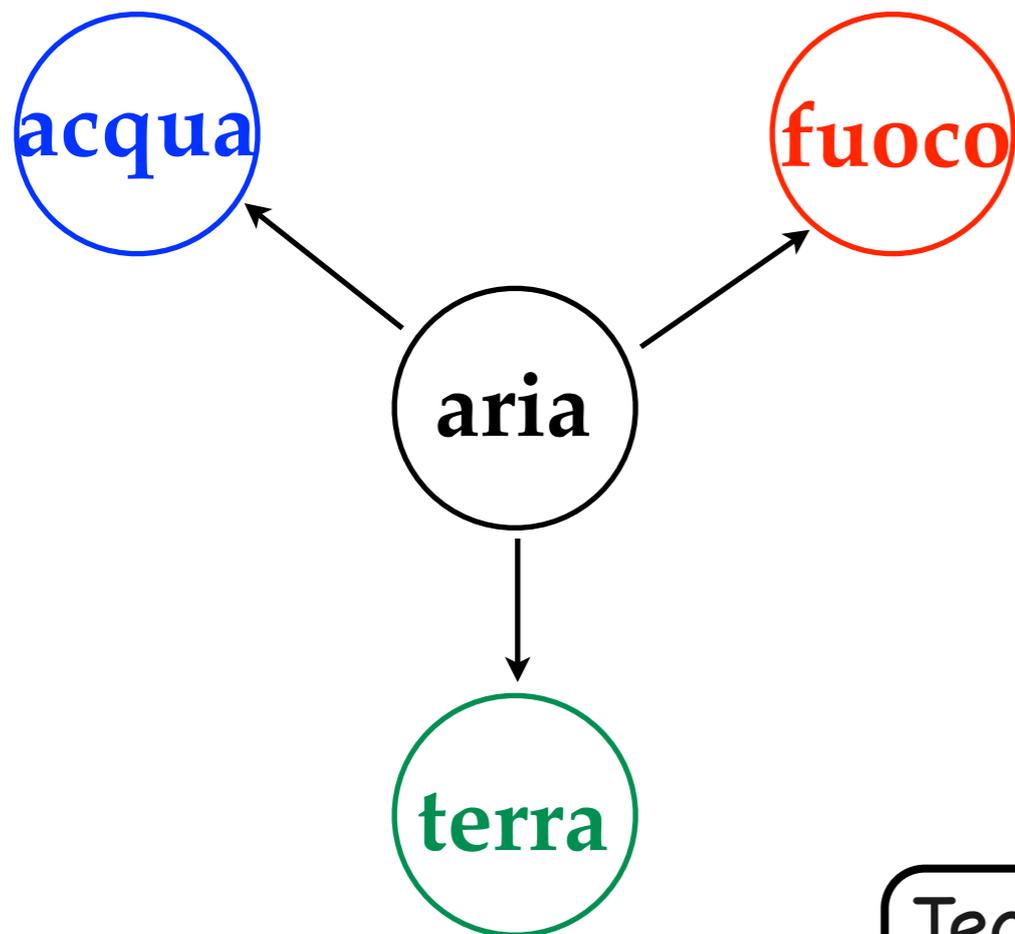
Per Anassimene da Mileto (circa 586 A.C.), c'è un unico elemento: l'aria



Un principio ed un meccanismo: tutti gli elementi si ottengono da mescolanze di acqua, terra e fuoco.

Gli oggetti complessi sono fatti di parti più semplici: **elementi** tenuti insieme da delle **forze**.

Per Anassimene da Mileto (circa 586 A.C.), c'è un unico elemento: l'aria



Un principio ed un meccanismo: tutti gli elementi si ottengono da mescolanze di acqua, terra e fuoco.

Teoria attrattiva per semplicità e per economicità.

Ma ha un problema: è sbagliata.

La materia per Mendeleev (1869)

hydrogen 1 H 1.0079																		helium 2 He 4.0026						
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122																		boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305																		aluminum 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80							
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29							
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]						
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 **	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	ununillium 110 Uun [271]	unununium 111 Uuu [272]	ununbium 112 Uub [272]		ununquadium 114 Uuq [289]										

* Lanthanide series

lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.04
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

** Actinide series

La materia per Mendeleev (1869)

hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026						
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122																	boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305																	aluminum 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078		scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80					
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62		yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29					
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]					
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 * *	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	ununillium 110 Uun [271]	unununium 111 Uuu [272]	ununbium 112 Uub [277]		ununquadium 114 Uuq [289]									

* Lanthanide series

lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.04
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

* * Actinide series

L'organizzazione suggerisce l'esistenza di una sottostruttura



atomi sono costituiti da protoni, neutroni, elettroni e loro interazioni

Proliferazione di particelle “elementari”

Oltre al protone ed al neutrone nel secolo scorso furono scoperte un gran numero di particelle.

Proliferazione di particelle “elementari”

Oltre al protone ed al neutrone nel secolo scorso furono scoperte un gran numero di particelle.

Si riuscì a classificarle secondo il loro spin, carica elettrica e massa

J	Particles (mass in MeV)
0	π^0 (135), π^\pm (140), η (547), η' (958), K^\pm (494), K^0, \bar{K}^0 (498)
1	$\rho^{\pm,0}$ (771), ω (783), $K^{*\pm}, K^{*0}, \bar{K}^{*0}$ (892), Φ (1020)
$\frac{1}{2}$	p (938), n (939), Λ (1116), $\Sigma^{\pm,0}$ (1193), $\Xi^{0,-}$ (1318)
$\frac{3}{2}$	$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^-, \Delta^0$ (1232), $\Sigma^{*\pm,0}$ (1385), $\Xi^{*\pm,0}$ (1318), Ω^- (1672)

Proliferazione di particelle “elementari”

Oltre al protone ed al neutrone nel secolo scorso furono scoperte un gran numero di particelle.

Si riuscì a classificarle secondo il loro spin, carica elettrica e massa

J	Particles (mass in MeV)
0	π^0 (135), π^\pm (140), η (547), η' (958), K^\pm (494), K^0, \bar{K}^0 (498)
1	$\rho^{\pm,0}$ (771), ω (783), $K^{*\pm}, K^{*0}, \bar{K}^{*0}$ (892), Φ (1020)
$\frac{1}{2}$	p (938), n (939), Λ (1116), $\Sigma^{\pm,0}$ (1193), $\Xi^{0,-}$ (1318)
$\frac{3}{2}$	$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^-, \Delta^0$ (1232), $\Sigma^{*\pm,0}$ (1385), $\Xi^{*\pm,0}$ (1318), Ω^- (1672)

L'organizzazione suggerisce l'esistenza di una sottostruttura



protoni, neutroni etc. sono costituiti da quarks e gluoni

Riduzionismo particellare

Tutta materia è costituita da **particelle elementari** e da **interazioni**

Gli elementi

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptoni	ν_e neutrino e	ν_μ neutrino mu	ν_τ neutrino tau
	e elettrone	μ muone	τ tau

H
bosone di
Higgs

Le viti

γ fotone
Z bosone Z
W bosone W
g gluone

Riduzionismo particellare

Tutta materia è costituita da **particelle elementari** e da **interazioni**

Gli elementi

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptoni	ν_e neutrino e	ν_μ neutrino mu	ν_τ neutrino tau
	e elettrone	μ muone	τ tau

Le viti

γ fotone
Z bosone Z
W bosone W
g gluone

H bosone di Higgs

Esiste una ulteriore sottostruttura? E' quello che cercano le GUT

Classifichiamo gli elementi

Quarks

flavor			carica
u	c	t	$2/3$
d	s	b	$-1/3$

Gli adroni sono composti da quarks, antiquarks e gluoni

Leptoni

flavor			carica
ν_e	ν_μ	ν_τ	0
e	μ	τ	-1

I leptoni non formano composti

Classifichiamo le viti (interazioni)

Mediatore	Interazione	Rilevanza	Tempi scala	Lunghezze scala
γ	Elettromagnetica	Interazione fra atomi, decadimenti	$\tau_{\gamma} \sim 10^{-16} \text{ s}$	\AA
Z, W^{\pm}	Debole	Decadimenti deboli	$\tau_w \sim 10^{-10} \text{ s}$	cm
g_a <small>a=1,...,8</small>	Forte	Nuclei atomici, decadimenti forti	$\tau_s \sim 10^{-23} \text{ s}$	fm

1 Mediatore della interazione elettromagnetica

3 Mediatori della interazione debole

8 Mediatori della interazione forte

E la gravità??

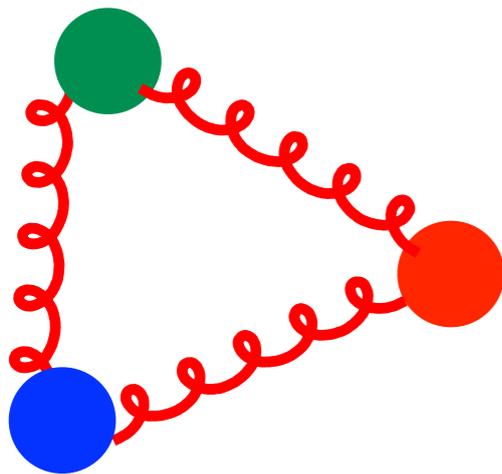
Interazione forte

Sorgenti: particelle adroniche

Mediatori: gluoni

- 1) Mantiene i quarks ed i gluoni nel nucleo (confinamento)
- 2) Processi di fusione e fissione nucleare
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento

quarks e gluoni



La somma delle masse di quarks è circa 1% della massa del protone.

I gluoni sono privi di massa....

Da dove viene la massa dei protoni?

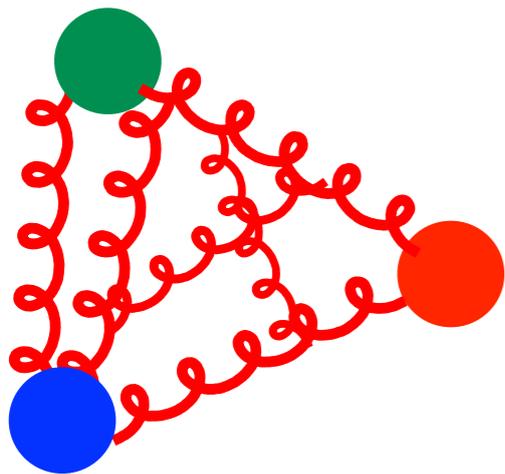
Interazione forte

Sorgenti: particelle adroniche

Mediatori: gluoni

- 1) Mantiene i quarks ed i gluoni nel nucleo (confinamento)
- 2) Processi di fusione e fissione nucleare
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento

quarks e gluoni



La somma delle masse di quarks è circa 1% della massa del protone.

I gluoni sono privi di massa....

Da dove viene la massa dei protoni?

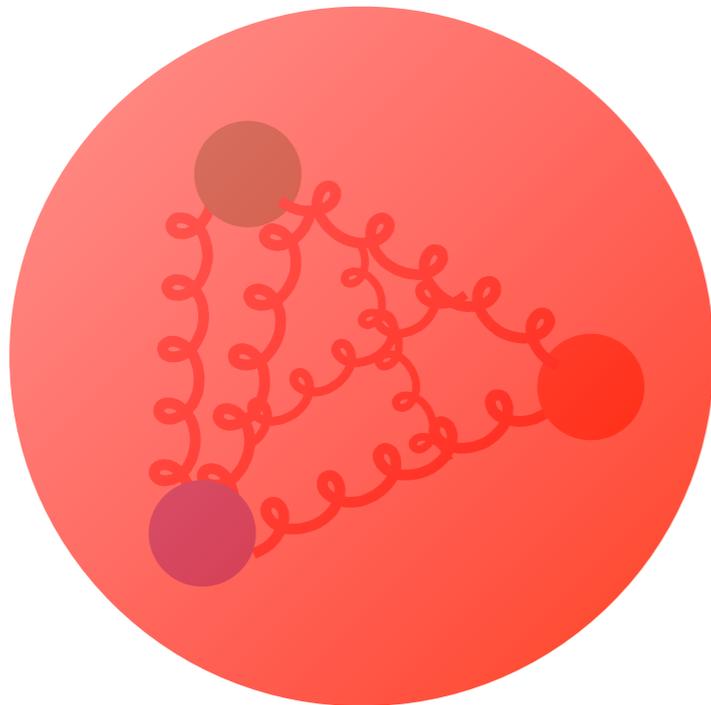
Interazione forte

Sorgenti: particelle adroniche

Mediatori: gluoni

- 1) Mantiene i quarks ed i gluoni nel nucleo (confinamento)
- 2) Processi di fusione e fissione nucleare
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento

quarks e gluoni



protone

La somma delle masse di quarks è circa 1% della massa del protone.
I gluoni sono privi di massa....

Da dove viene la massa dei protoni?

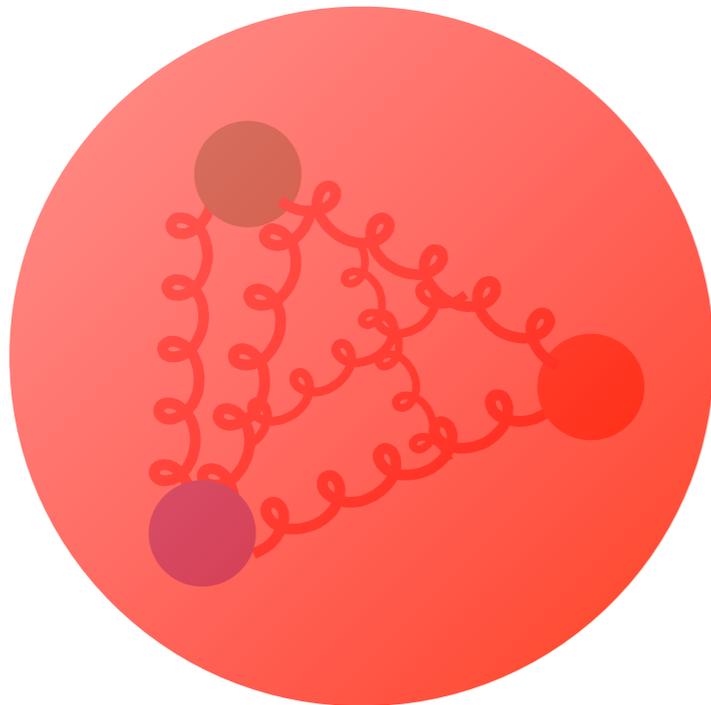
Interazione forte

Sorgenti: particelle adroniche

Mediatori: gluoni

- 1) Mantiene i quarks ed i gluoni nel nucleo (confinamento)
- 2) Processi di fusione e fissione nucleare
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento

quarks e gluoni



protone

La somma delle masse di quarks è circa 1% della massa del protone.
I gluoni sono privi di massa....

Da dove viene la massa dei protoni?

Protone: blob di energia associata ai gluoni.
I gluoni sono la colla (la melassa) che tiene insieme i quarks.

Interazione elettromagnetica

Sorgenti: particelle o sistemi di particelle con carica elettrica

Mediatori: fotoni

- 1) Mantiene gli elettroni legati agli atomi**
- 2) Permette di creare i legami molecolari**
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento**

Interazione elettromagnetica

Sorgenti: particelle o sistemi di particelle con carica elettrica

Mediatori: fotoni

- 1) Mantiene gli elettroni legati agli atomi
- 2) Permette di creare i legami molecolari
- 3) Permette alcuni tipi di decadimento

Grazie alla interazione elettromagnetica



Vediamo la scena

Esiste la pallina, la ragazza e tutto il resto

La pallina non attraversa la racchetta

I muscoli della ragazza si muovono...

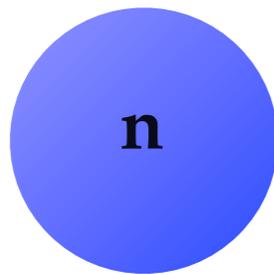
Interazione debole

Sorgenti: particelle adroniche e leptoniche

Mediatori: bosoni Z , W^\pm (massivi)

- 1) Regola la stabilità dei nuclei
- 2) Regola i processi di stabilità delle stelle
- 3) Radioattività naturale

decadimento del neutrone, in circa 900 s



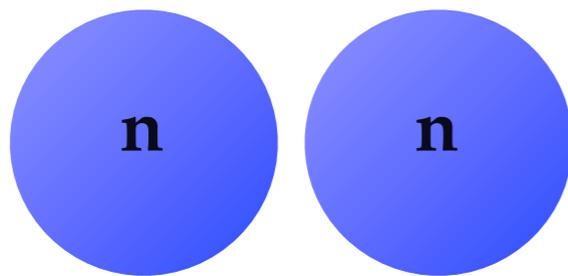
Interazione debole

Sorgenti: particelle adroniche e leptoniche

Mediatori: bosoni Z , W^\pm (massivi)

- 1) Regola la stabilità dei nuclei
- 2) Regola i processi di stabilità delle stelle
- 3) Radioattività naturale

decadimento del neutrone, in circa 900 s



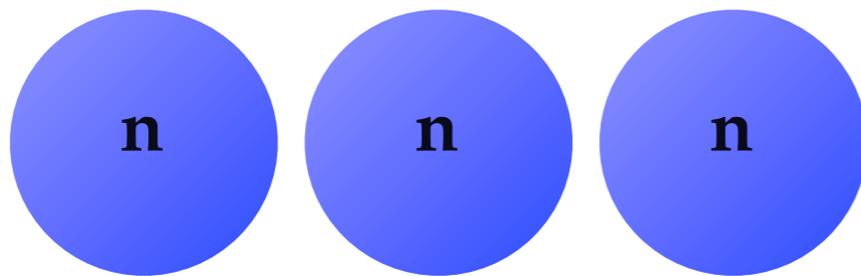
Interazione debole

Sorgenti: particelle adroniche e leptoniche

Mediatori: bosoni Z , W^\pm (massivi)

- 1) Regola la stabilità dei nuclei
- 2) Regola i processi di stabilità delle stelle
- 3) Radioattività naturale

decadimento del neutrone, in circa 900 s



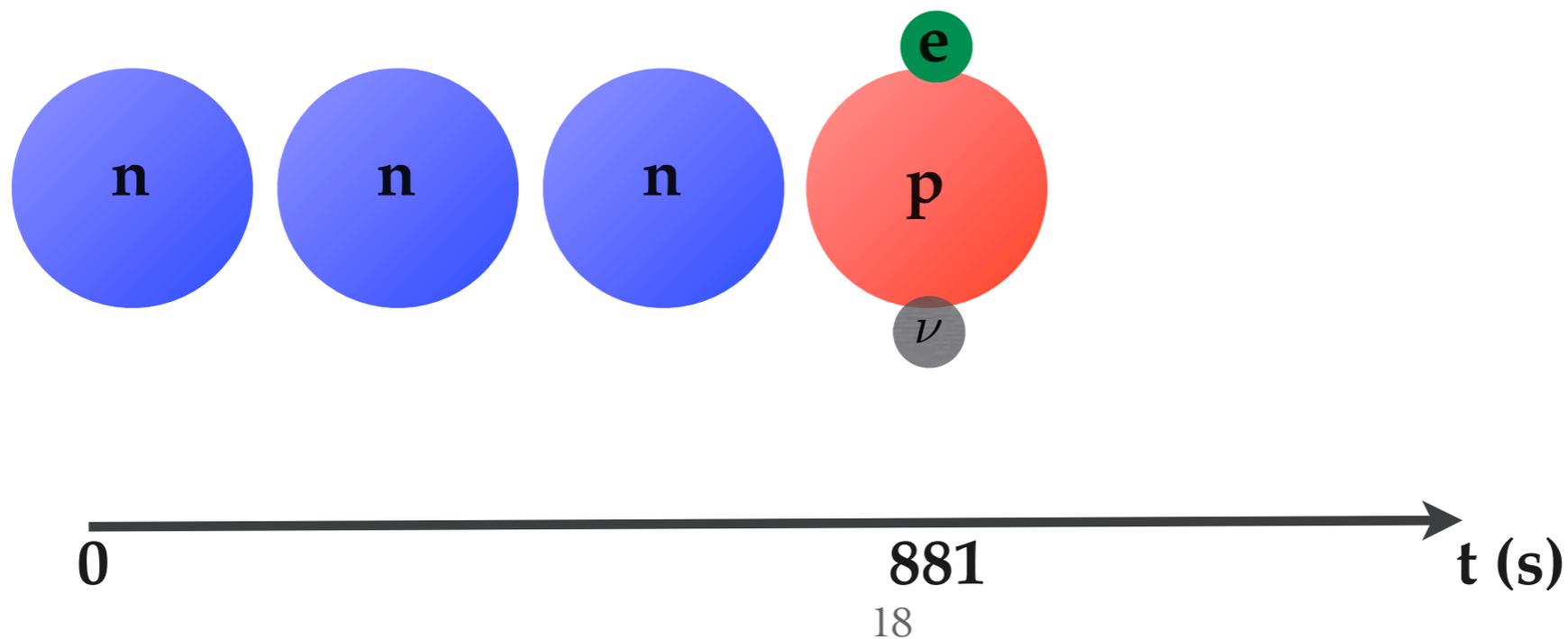
Interazione debole

Sorgenti: particelle adroniche e leptoniche

Mediatori: bosoni Z , W^\pm (massivi)

- 1) Regola la stabilità dei nuclei
- 2) Regola i processi di stabilità delle stelle
- 3) Radioattività naturale

decadimento del neutrone, in circa 900 s



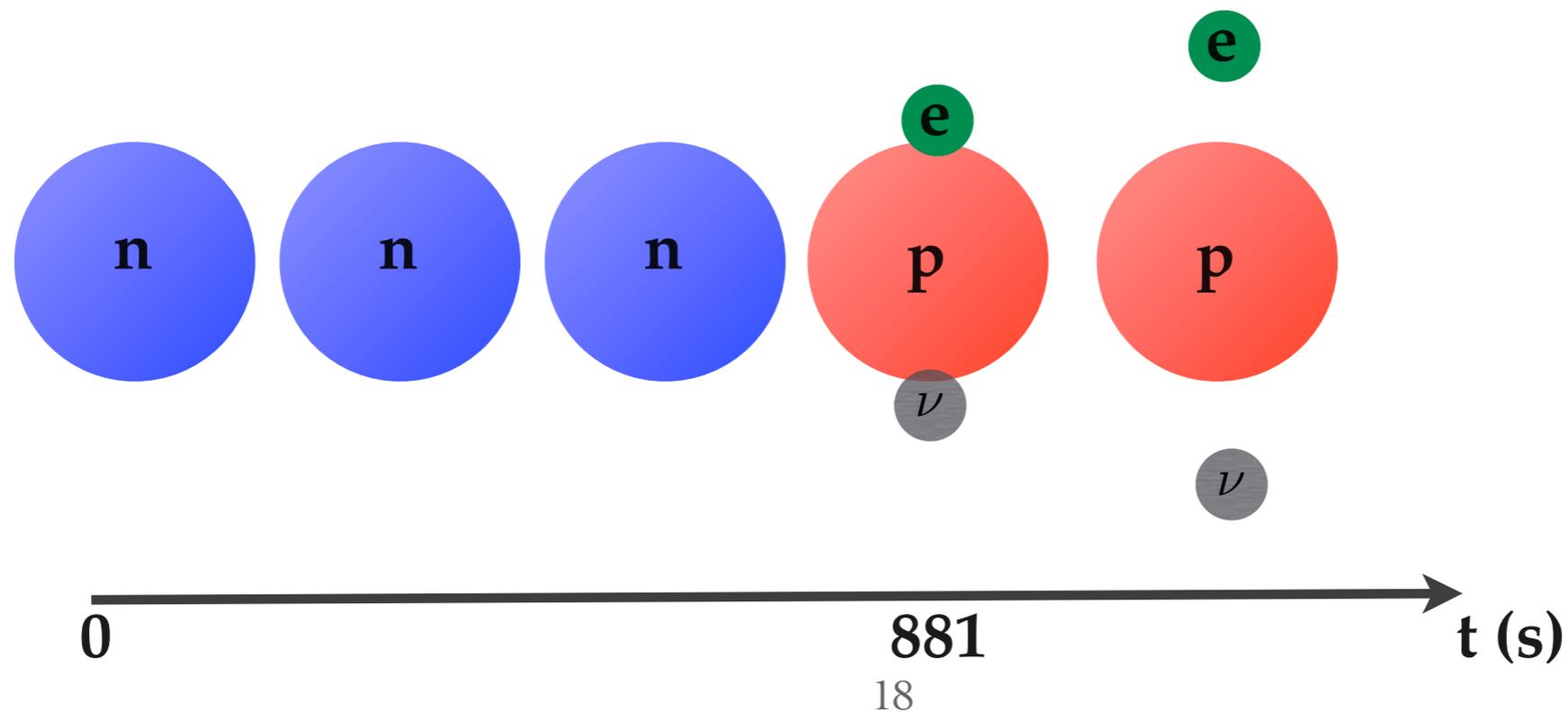
Interazione debole

Sorgenti: particelle adroniche e leptoniche

Mediatori: bosoni Z , W^\pm (massivi)

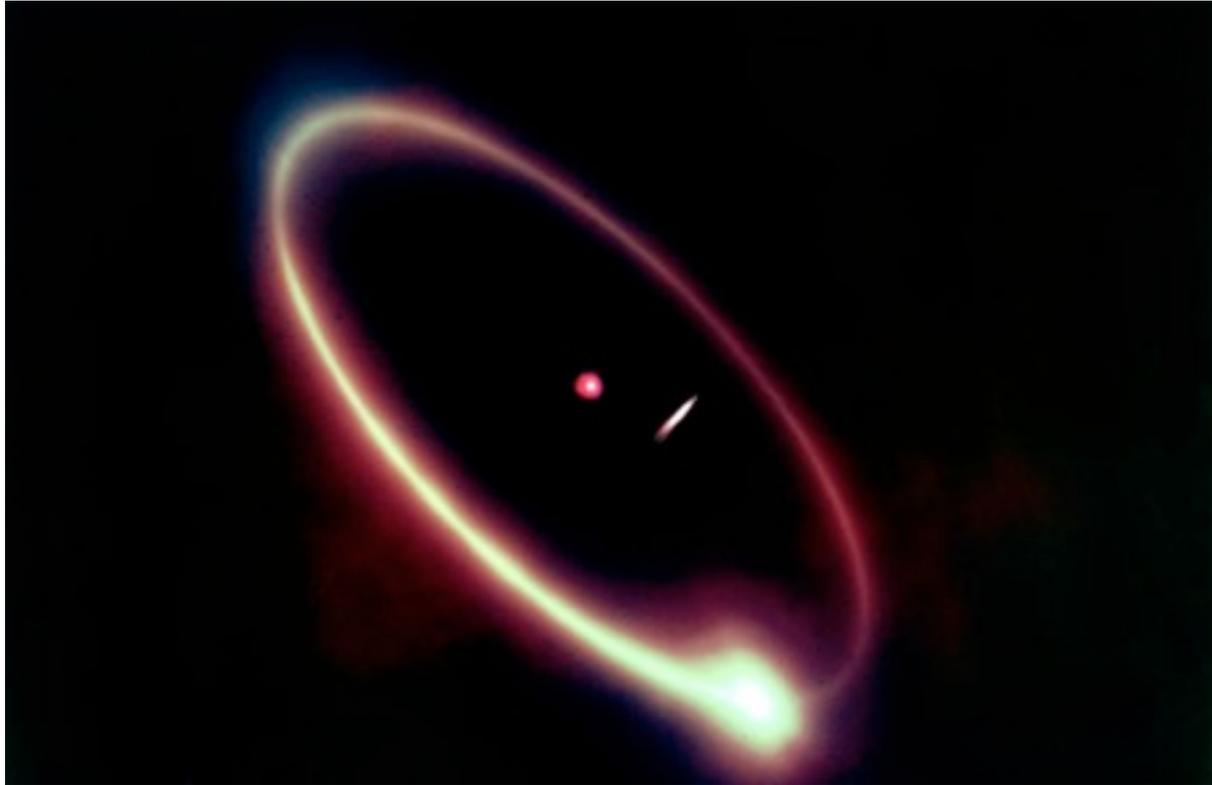
- 1) Regola la stabilità dei nuclei
- 2) Regola i processi di stabilità delle stelle
- 3) Radioattività naturale

decadimento del neutrone, in circa 900 s



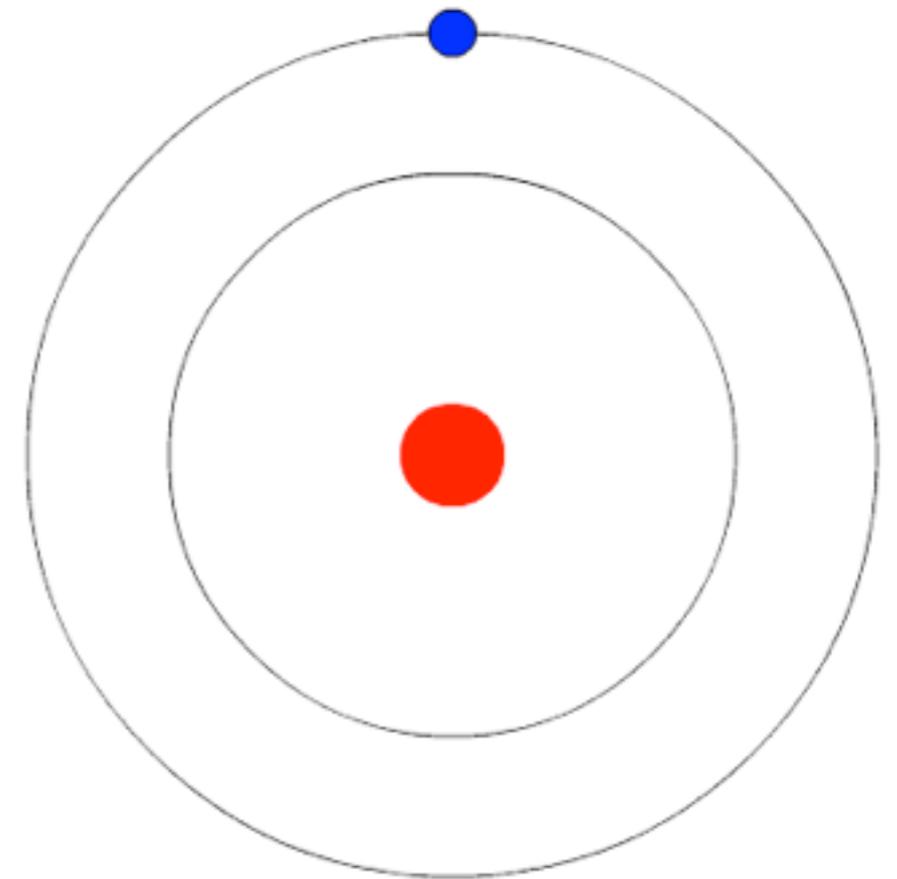
*Alti livelli
di
mistificazione*

Atomo di idrogeno



“L'elettrone (carico negativamente) ruota attorno al protone (positivo, posto al centro) e può farlo secondo il modello dell'atomo di Bohr solo su ben precise orbite. ”

“Un elettrone può saltare da un'orbita ad un'altra più esterna se riceve dall'esterno una energia pari alla differenza fra le energie delle orbite. Semplificando i principi della meccanica quantistica si può affermare che un elettrone eccitato salta ad un orbita atomica più esterna.”



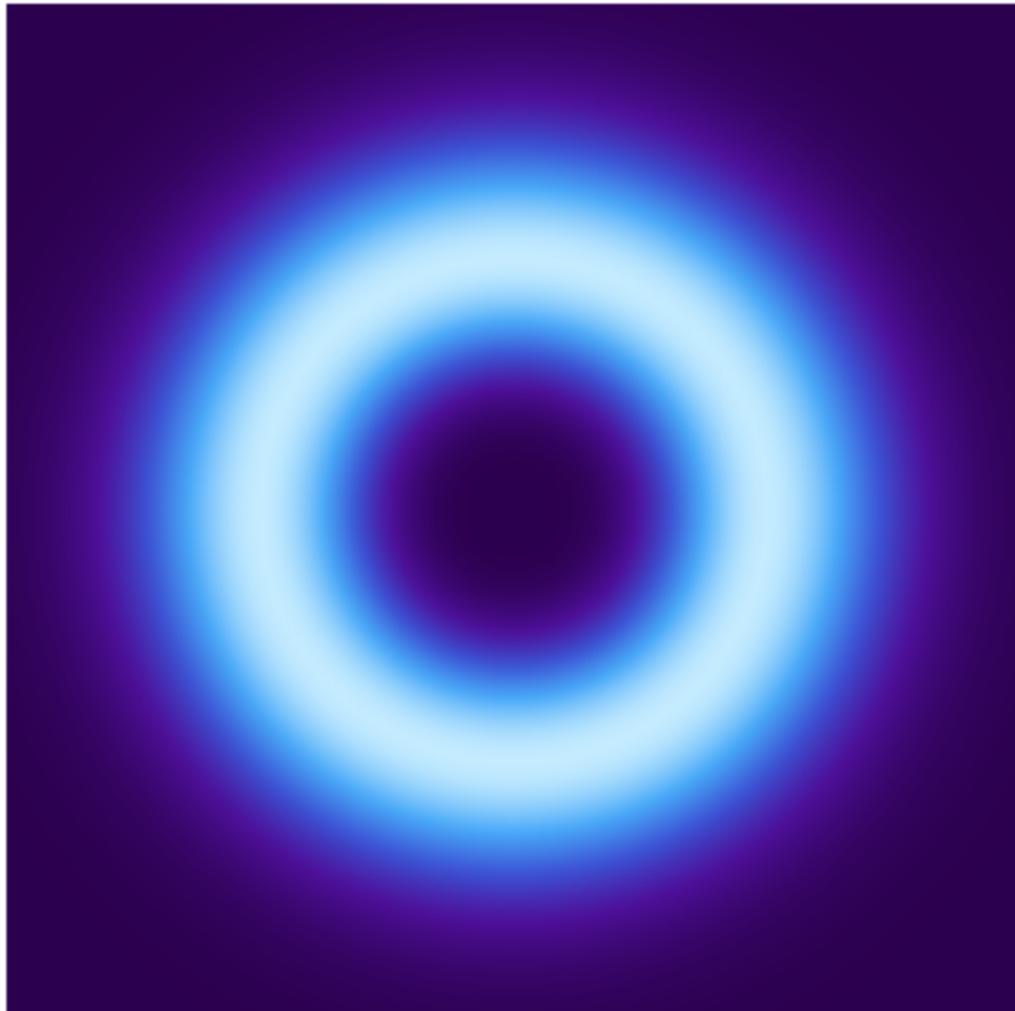
Atomo di idrogeno

In un atomo di idrogeno non c'è niente che ruota, va su orbite ben precise, che salta... corre, nuota etc.

Atomo di idrogeno

In un atomo di idrogeno non c'è niente che ruota, va su orbite ben precise, che salta... corre, nuota etc.

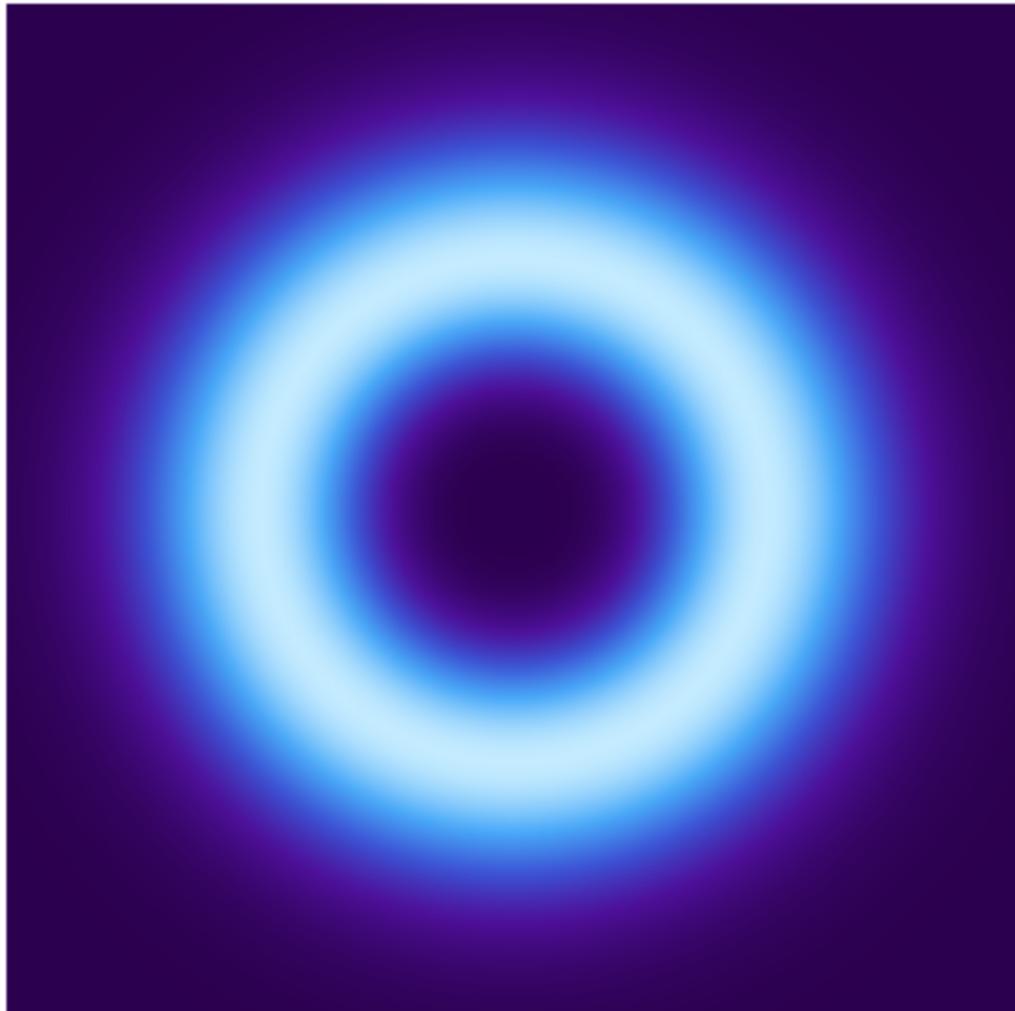
Probabilità di trovare un elettrone in un atomo di idrogeno.



Atomo di idrogeno

In un atomo di idrogeno non c'è niente che ruota, va su orbite ben precise, che salta... corre, nuota etc.

Probabilità di trovare un elettrone in un atomo di idrogeno.



Raggio di Bohr

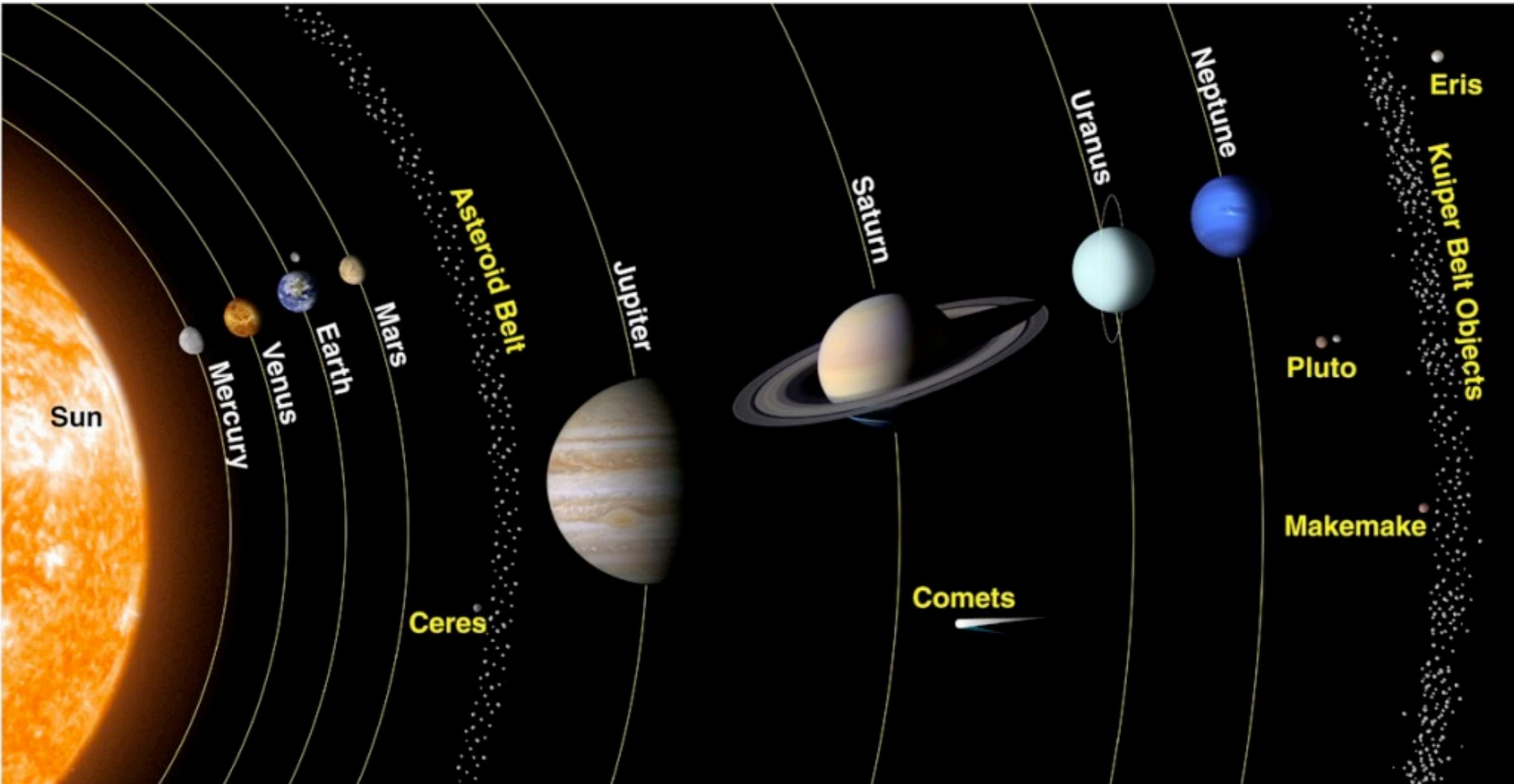
$$a_0 \simeq 5.3 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.53 \text{ \AA}$$

Raggio del protone

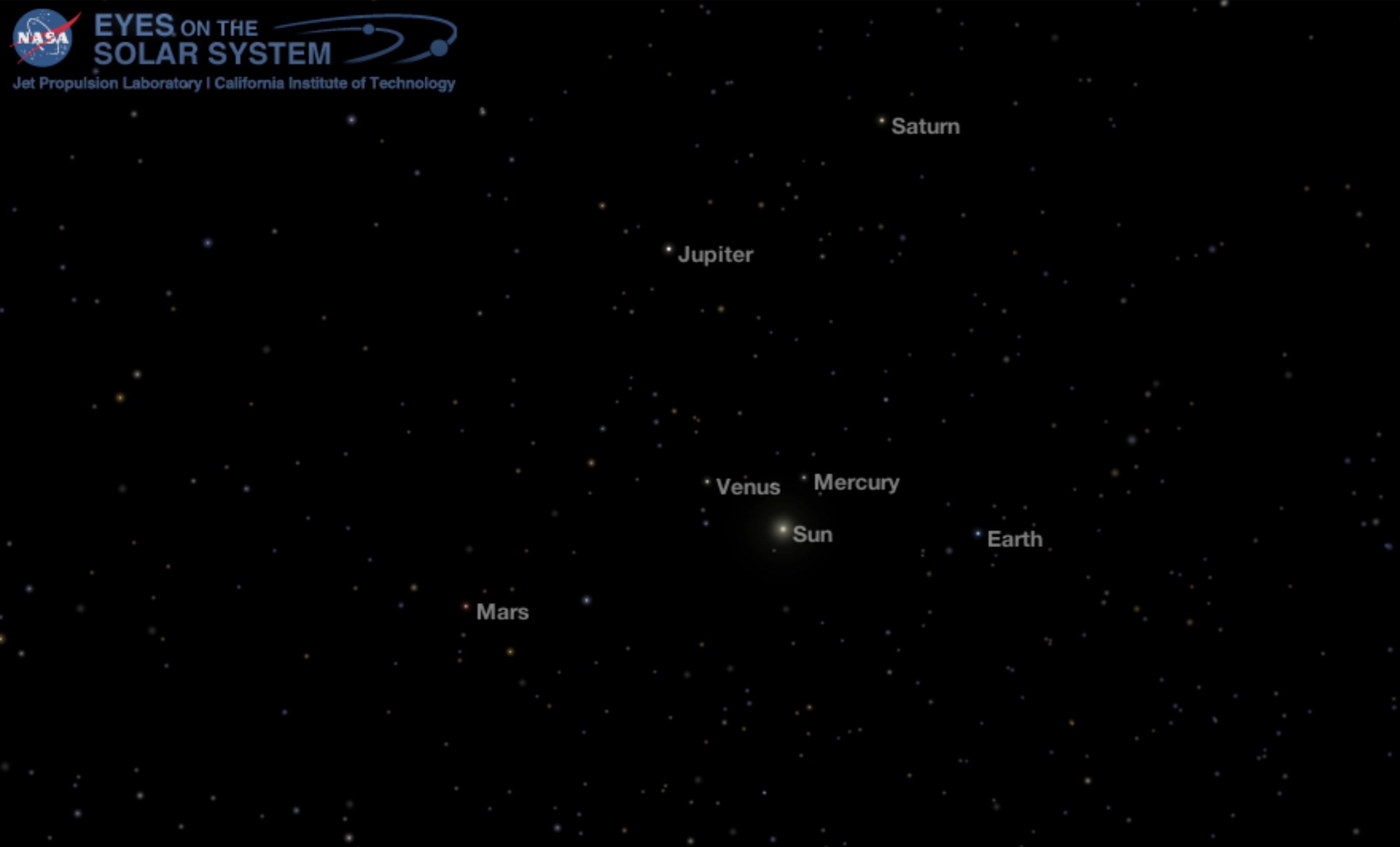
$$r_p \simeq 0.85 \times 10^{-15} \text{ m} = 0.85 \text{ fm}$$

$$a_0/r_p \simeq 6 \times 10^4$$

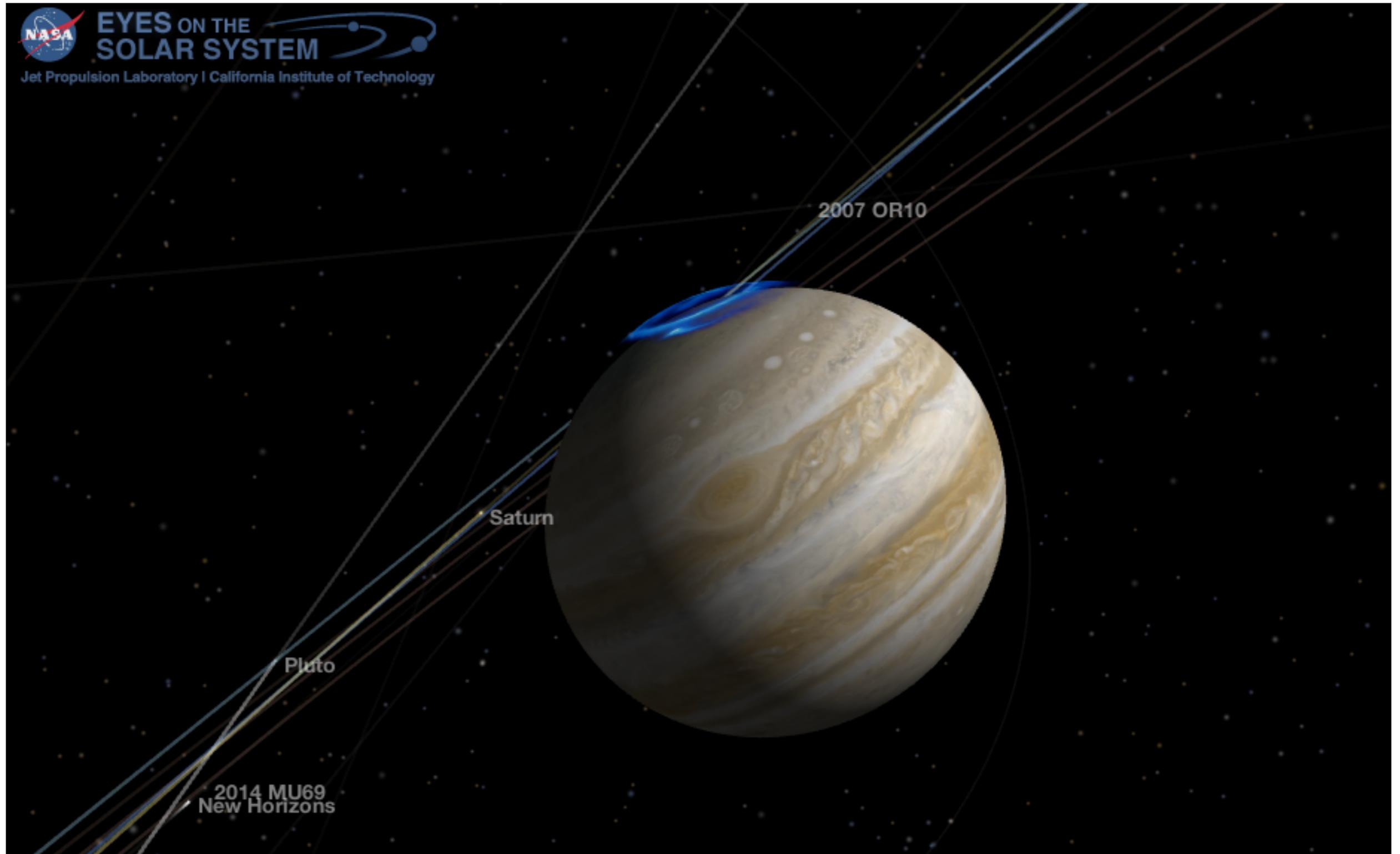
Sistema solare



Sistema solare



Non abbiamo bisogno di inventare effetti speciali.



Aurora boreale su Giove vista dal telescopio Hubble

Demistifichiamo

- 1) Le particelle non sono pallini
- 2) Le orbite stazionarie degli elettroni non assomigliano a quelle dei pianeti
- 3) Lo spazio è sostanzialmente vuoto

Demistifichiamo

- 1) Le particelle non sono pallini
- 2) Le orbite stazionarie degli elettroni non assomigliano a quelle dei pianeti
- 3) Lo spazio è sostanzialmente vuoto

Due grandi errori nella comunicazione scientifica:

- 1) Spettacolarizzazione della nostra descrizione della realtà
- 2) Semplificazione con analogie sbagliate.

La materia non occupa molto spazio

Vuoto è l'atomo, vuoto è il sistema solare. La nostra concezione di una realtà piena è un "artefatto" dovuto alla interazione e.m.

La materia non occupa molto spazio

Vuoto è l'atomo, vuoto è il sistema solare. La nostra concezione di una realtà piena è un "artefatto" dovuto alla interazione e.m.

Attorno alle particelle vi sono i campi di forza. Questi permeano lo spazio:

- 1) Ogni particella produce un campo gravitazionale/perturba lo spazio tempo
- 2) Ogni particella carica, in aggiunta, produce un campo e.m. etc..

Gli elementi e le viti sono parte di un unico meraviglioso ingranaggio

La materia non occupa molto spazio

Vuoto è l'atomo, vuoto è il sistema solare. La nostra concezione di una realtà piena è un "artefatto" dovuto alla interazione e.m.

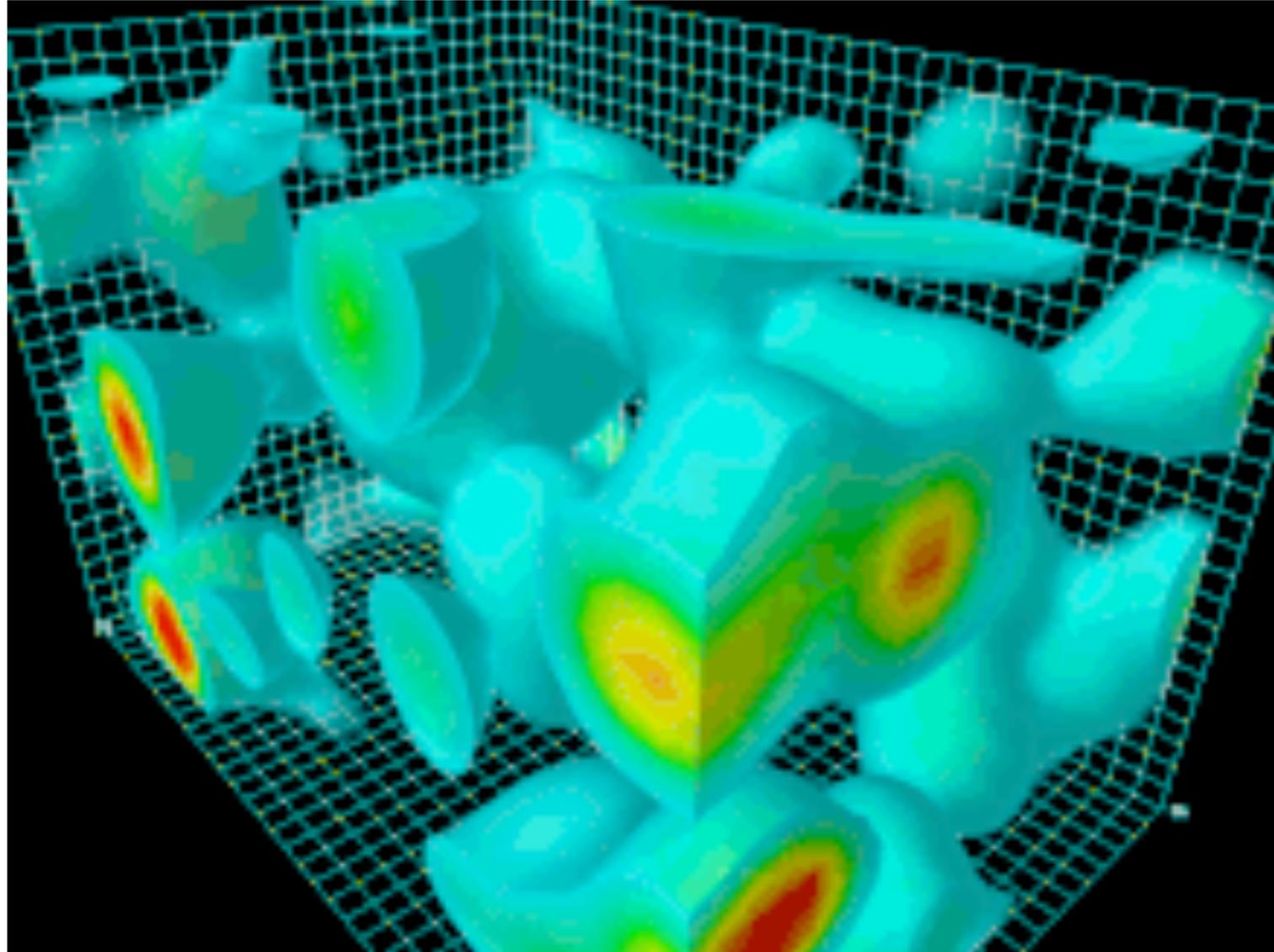
Attorno alle particelle vi sono i campi di forza. Questi permeano lo spazio:

- 1) Ogni particella produce un campo gravitazionale/perturba lo spazio tempo
- 2) Ogni particella carica, in aggiunta, produce un campo e.m. etc..

Gli elementi e le viti sono parte di un unico meraviglioso ingranaggio

Anche in assenza di particelle, lo spazio non è vuoto

Secondo la teoria quantistica, il vuoto ribolle di energia e particelle che esistono per un breve periodo



Questo ribollire si può misurare, attraverso la forza di Casimir

Sommario

- **La materia è complessa**
- **L'approccio riduzionistico ci consente di semplificare la descrizione della materia a pochi elementi fondamentali**
- **La fisica moderna, con buona approssimazione, si ferma alla scala del fm. Non è chiaro cosa c'è a scale più piccole o se ha senso andare a scale più piccole**
- **La materia è vuota. Vi sono poche particelle.**
- **Lo spazio è permeato da campi e da fluttuazioni quantistiche.**