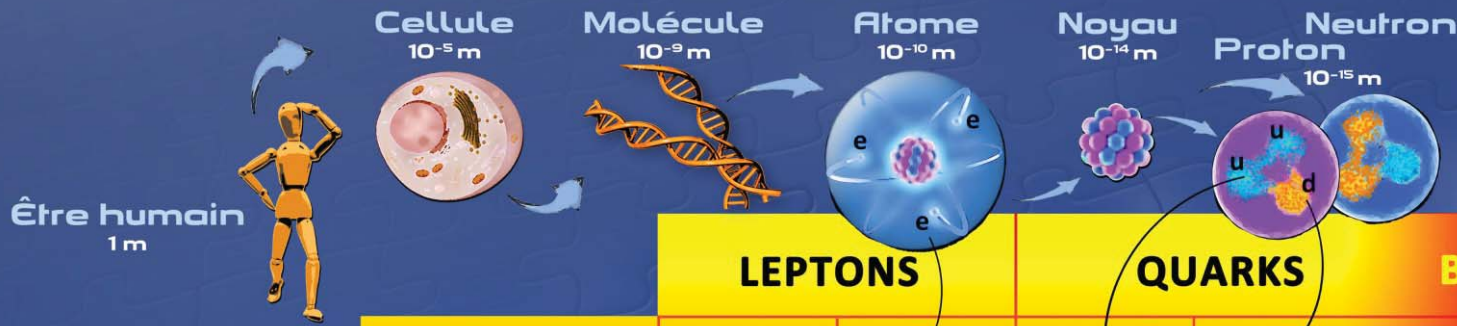


Retour vers le futur ...

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	$t = 1,6 \cdot 10^{-25} s$; $Q = 0$; $m = 125 \text{ GeV}/c^2$
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	



INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction
10^{-17} m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10^{-15} m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Bosons Z, W^\pm	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



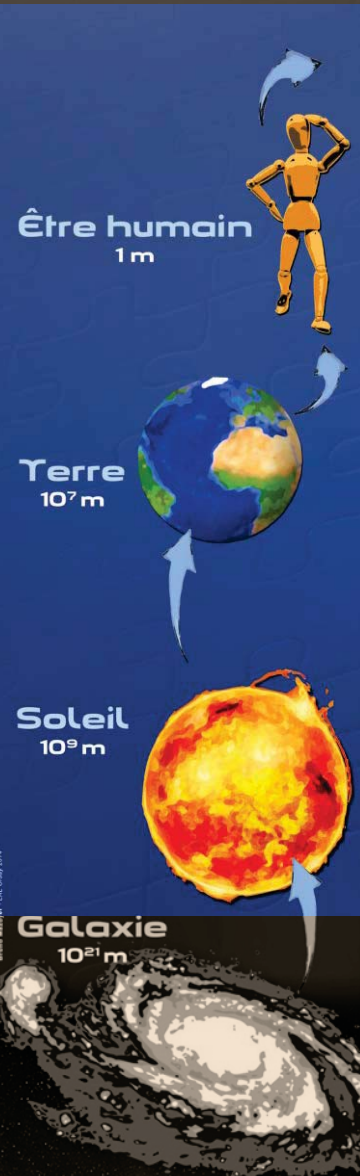
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Situation au tout début du XX^e siècle

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	1.26×10^{-26} kg ; $Q=0$; $m=125$ GeV/c ²
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

Champ de Higgs

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Glucos g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

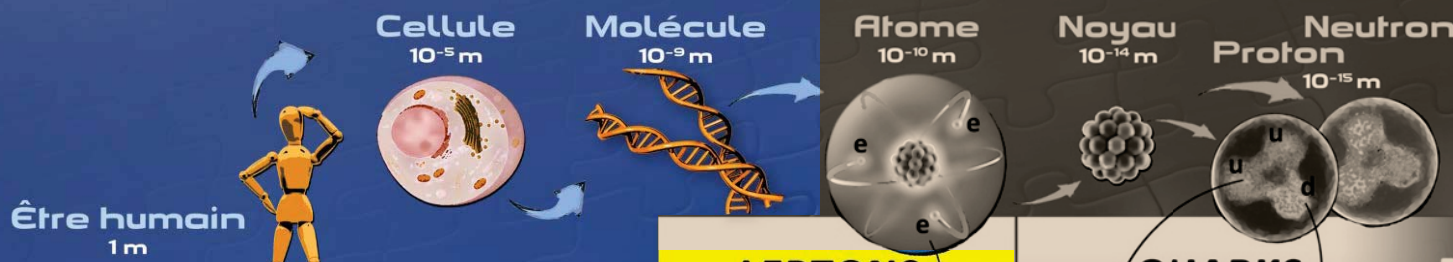
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1897 : découverte de l'électron

Composants élémentaires de la matière

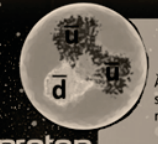


	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

INTERACTIONS FONDAMENTALES		Chaque interaction fondamentale est transmise par des particules qui lui sont associées	
Portée	10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W^\pm
	infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
	10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g
	infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



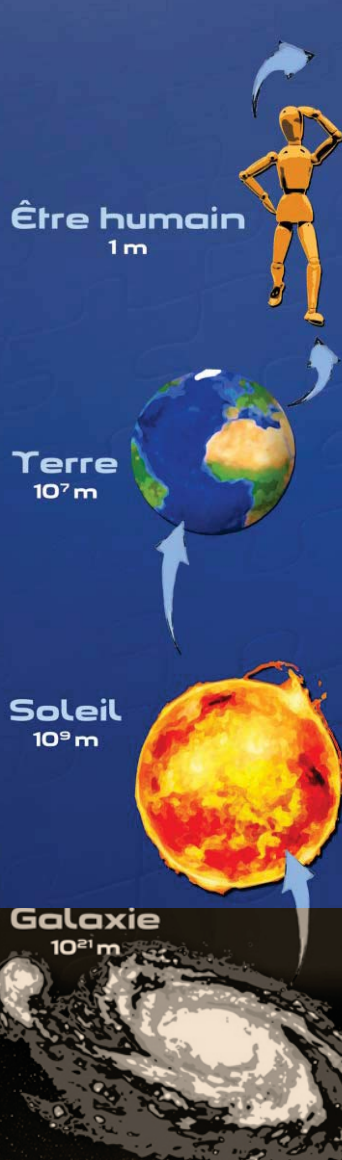
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Benoît Meunier - CEA, CERN 2014

1905 : preuve de la réalité des atomes

Composants élémentaires de la matière

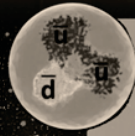


	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

INTERACTIONS FONDAMENTALES		Chaque interaction fondamentale est transmise par des particules qui lui sont associées	
Portée	10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
	infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
	10^{-15} m	Interaction forte	Glucos g
	infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

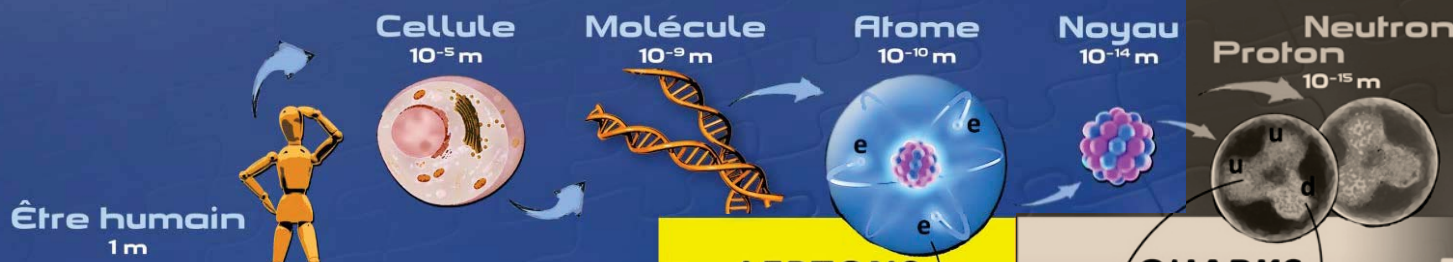


ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1909 : découverte du noyau atomique

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	<p>BOSON de HIGGS H $t = 1,3 \cdot 10^{-22}$ s $Q = 0$ $m = 125$ GeV/c²</p> <p>Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.</p>
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-13}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	



INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



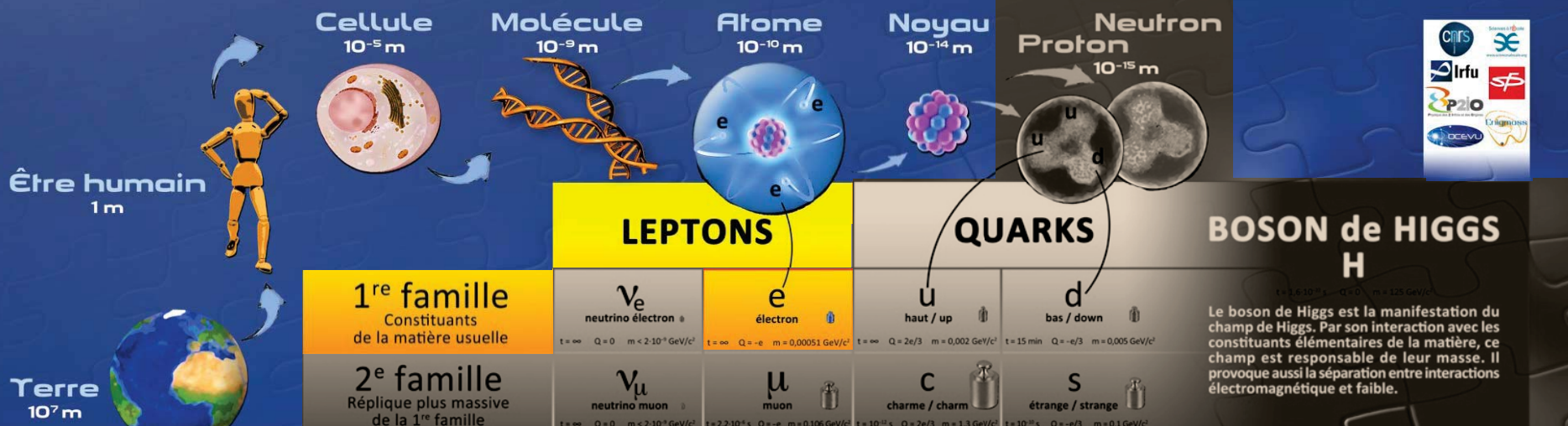
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Benoit Malaescu - CEA, CERN 2014

1915 : relativité générale

Composants élémentaires de la matière



Relativité générale (Einstein 1915) : généralisation de la Loi de la Gravitation Universelle (Newton, 1687)



Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

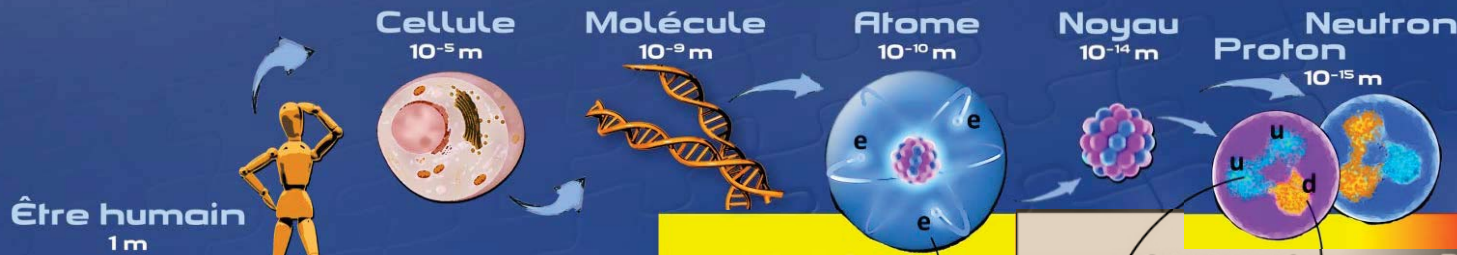
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

Découvertes des nucléons : proton (1918) & neutron (1932)

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	$125 \times 10^{-27} \text{ kg}$; $125 \text{ GeV}/c^2$ Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

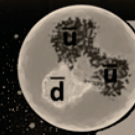
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



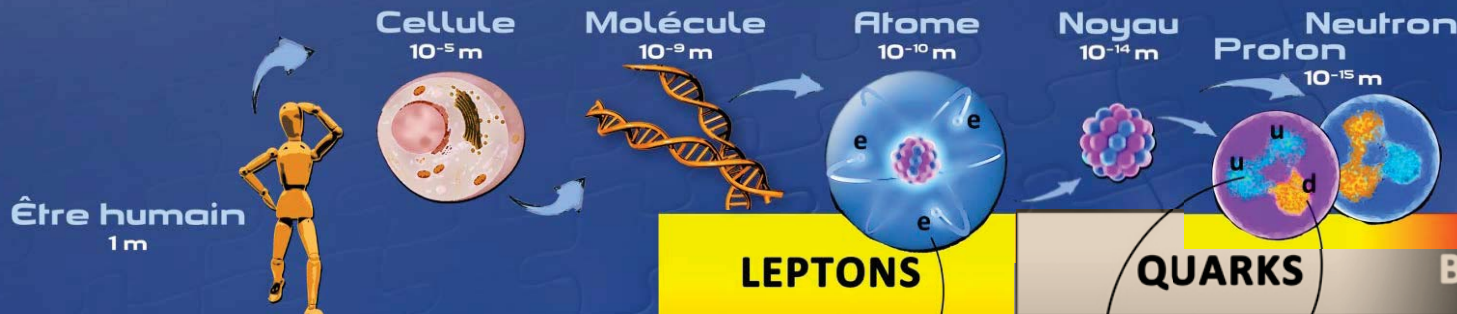
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Années 1920 : découverte des (autres) galaxies

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

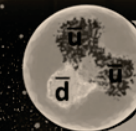
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g
infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



Antiproton

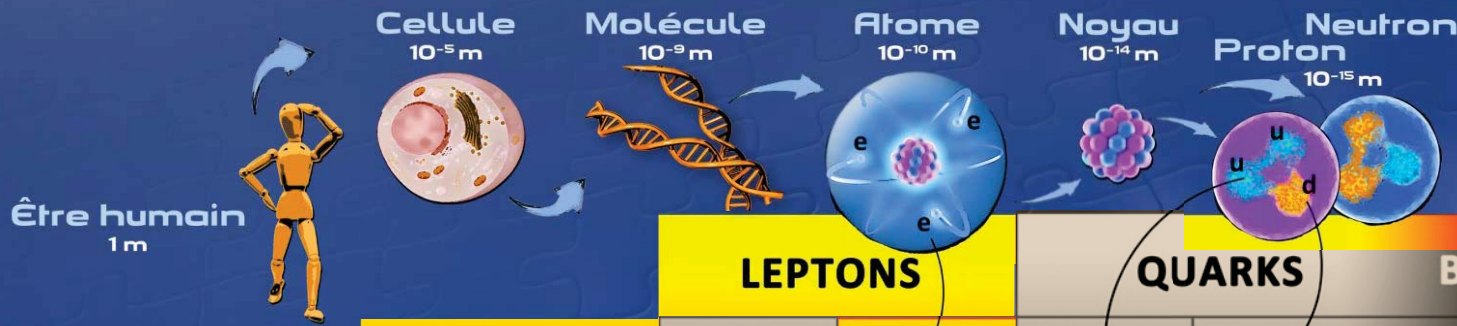
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Bruno Mauguère - AL, CERN 2012

1932 : découverte de l'antimatière

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	$1.26 \times 10^{-26} \text{ kg}$ $125 \text{ GeV}/c^2$
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



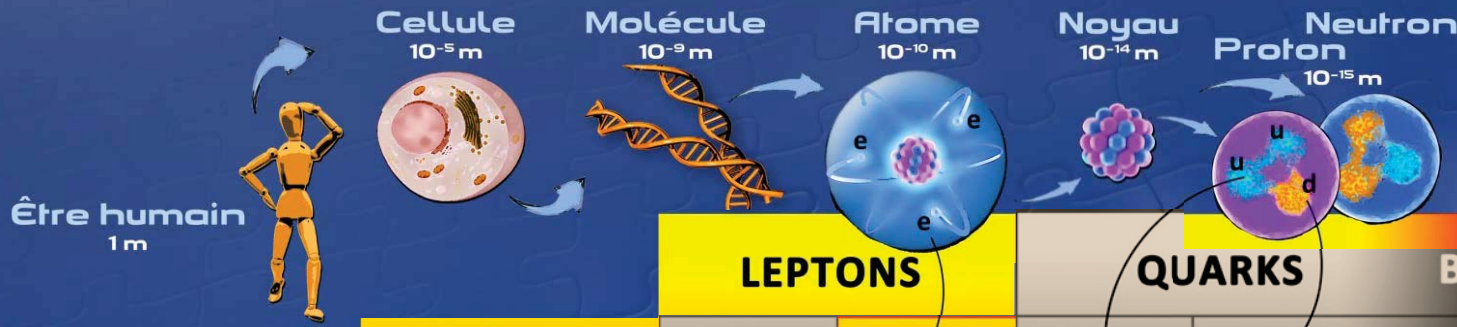
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1936 : découverte du muon

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-6}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H $1,3 \times 10^{-25}$ s $Q = 0$ $m = 125$ GeV/c ² Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-6}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-6}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



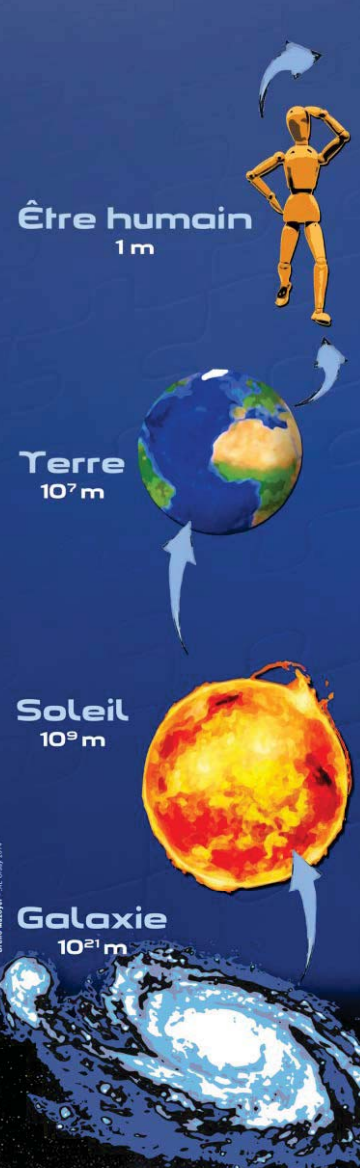
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Années 1930 : réactions nucléaires dans le Soleil

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



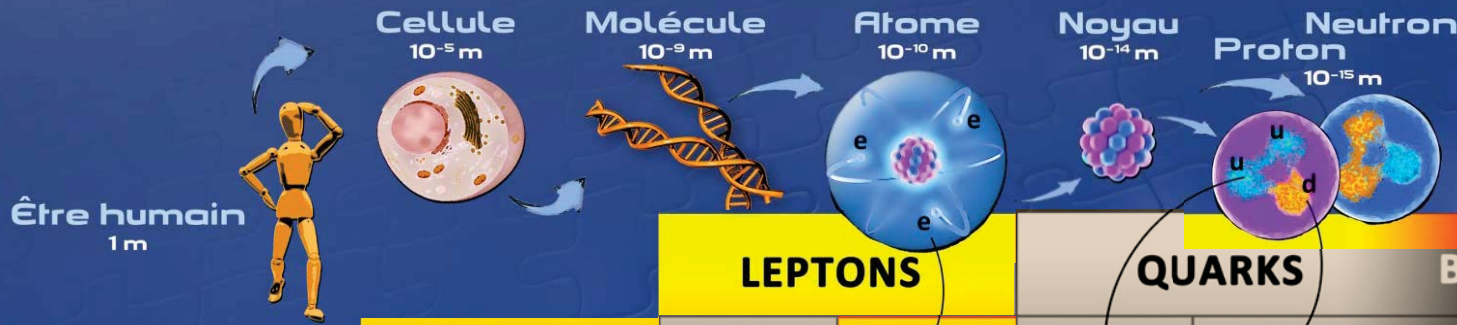
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1948 : l'électrodynamique quantique

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = 15$ min $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H $125,1 \pm 0,4$ GeV/c ² Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

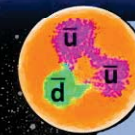
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



Antiproton

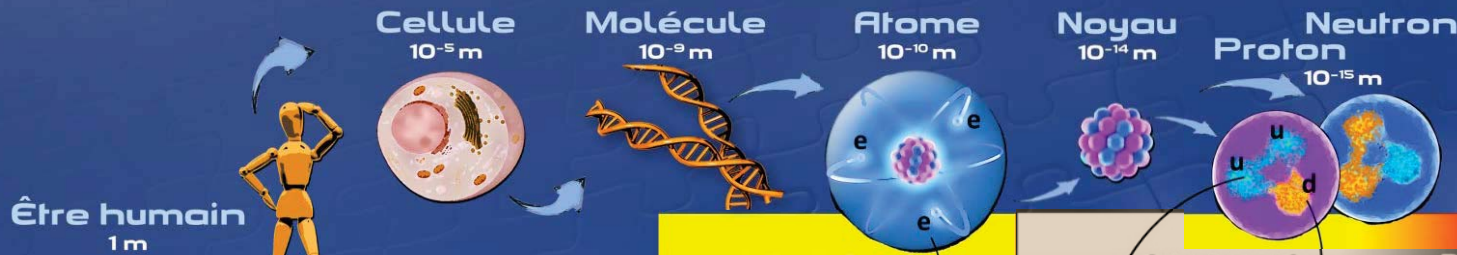
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Bruno Mauguier - AL, Cmap 2014

~1950 : découverte des particules étranges

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H $t = 1,3 \cdot 10^{-22}$ s $Q = 0$ $m = 125$ GeV/c ²
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

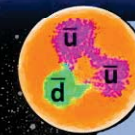
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



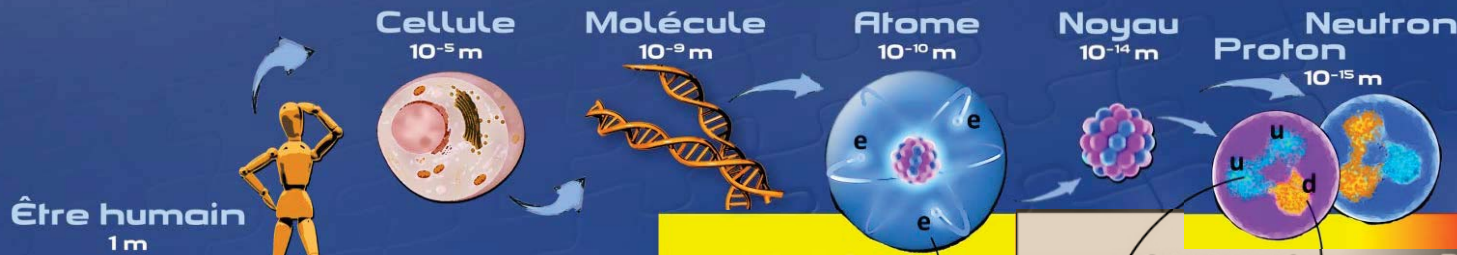
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1956 : découverte du neutrino électron

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9} \text{ GeV}/c^2$	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051 \text{ GeV}/c^2$	u haut / up $t = 15 \text{ min}$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002 \text{ GeV}/c^2$	d bas / down $t = 15 \text{ min}$ $Q = -e/3$ $m = 0,005 \text{ GeV}/c^2$	BOSON de HIGGS H $t = 1,3 \cdot 10^{-22} \text{ s}$ $Q = 0$ $m = 125 \text{ GeV}/c^2$ Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9} \text{ GeV}/c^2$	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ $Q = -e$ $m = 0,106 \text{ GeV}/c^2$	c charme / charm $t = 10^{-12} \text{ s}$ $Q = 2e/3$ $m = 1,3 \text{ GeV}/c^2$	s étrange / strange $t = 10^{-10} \text{ s}$ $Q = -e/3$ $m = 0,1 \text{ GeV}/c^2$	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-9} \text{ GeV}/c^2$	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13} \text{ s}$ $Q = -e$ $m = 1,78 \text{ GeV}/c^2$	t top $t = 3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$ $Q = 2e/3$ $m = 173 \text{ GeV}/c^2$	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12} \text{ s}$ $Q = -e/3$ $m = 4,2 \text{ GeV}/c^2$	

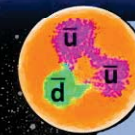
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W^\pm	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



Antiproton

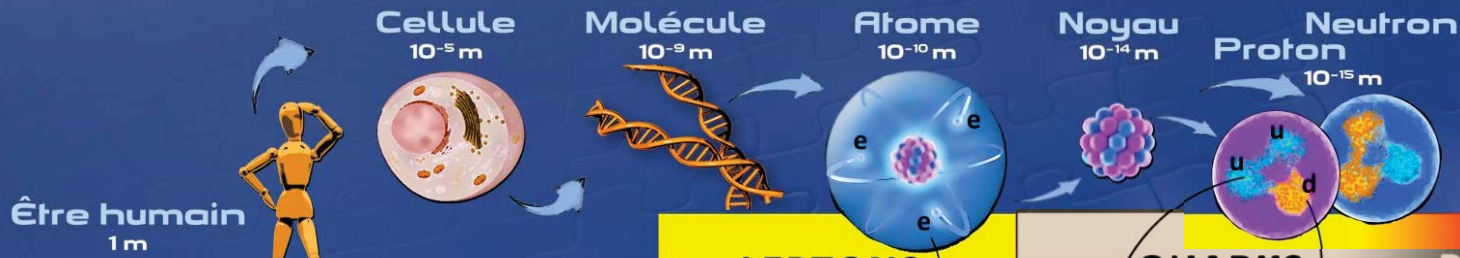
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Bruno Mauguier - AL, Cmap 2014

1962 : découverte du neutrino muon

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

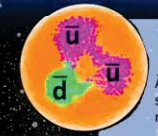
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W^\pm	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



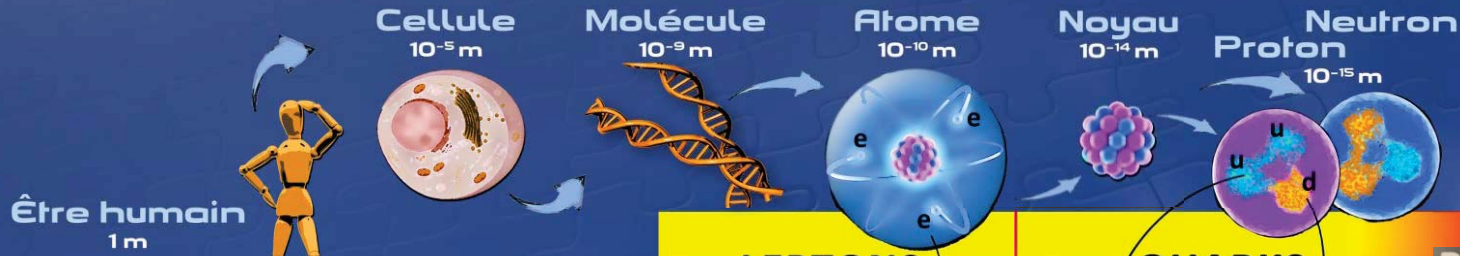
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1968 : découverte de la structure du proton

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-18}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H $t = 1,3 \cdot 10^{-22}$ s $Q = 0$ $m = 125$ GeV/c ² Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-19}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-16}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

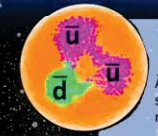
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



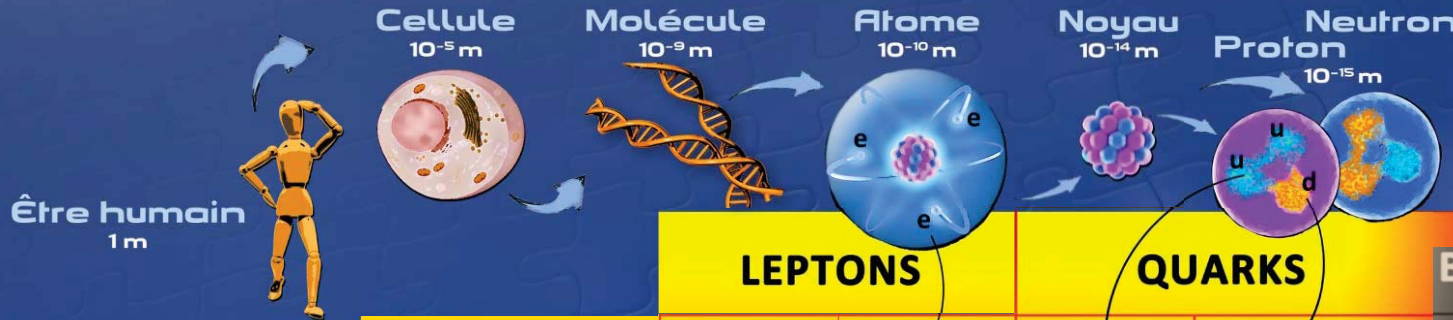
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1974 : découverte du 4^{ème} quark – le charme

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H $t = 1,3 \cdot 10^{-22}$ s $Q = 0$ $m = 125$ GeV/c ² Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 1,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

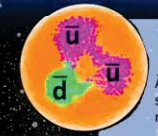
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



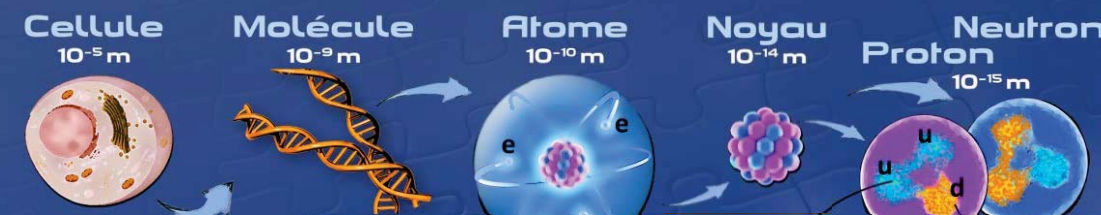
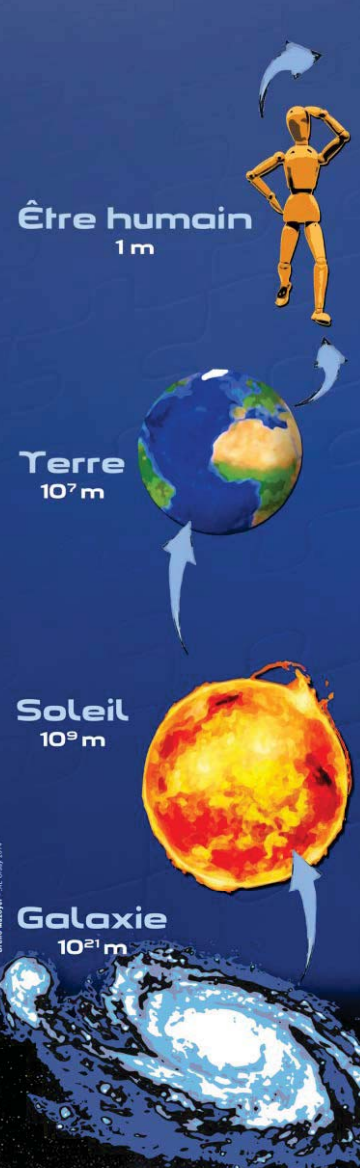
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1975-1976 : découverte du lepton tau

Composants élémentaires de la matière



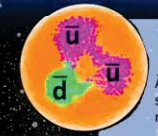
	LEPTONS		QUARKS		
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	BOSON de HIGGS H $125.1 \pm 0.2 \text{ GeV}/c^2$ Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

INTERACTIONS FONDAMENTALES			
Portée	10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
	infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
	10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Gluons g
	infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



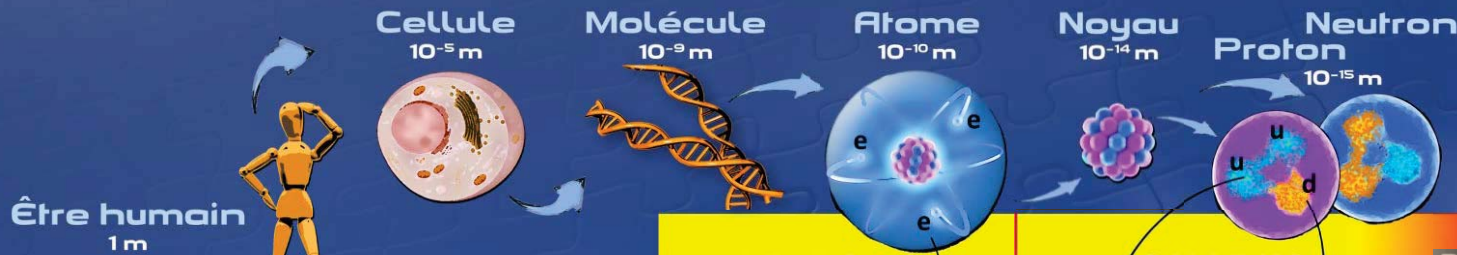
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1977 : découverte du 5^{ème} quark – le b

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	<p>BOSON de HIGGS H</p> <p>$1.25 \times 10^{-26} \text{ kg}$ - $125 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.</p>
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

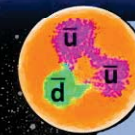
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particule associée	Effets
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W^\pm	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
infinie	Gravitation	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



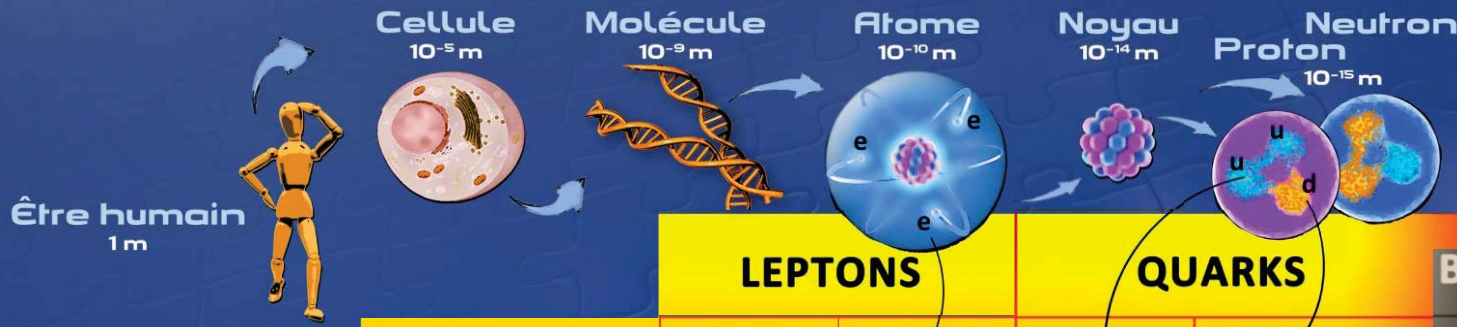
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1979 : découverte des gluons

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	H $1.25 \times 10^{-25} \text{ kg}$, $m = 125 \text{ GeV}/c^2$
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

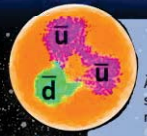
INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées
10^{-17} m	Interaction faible	Bosons Z, W^\pm
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
10^{-15} m	Interaction forte	Gluons g
infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



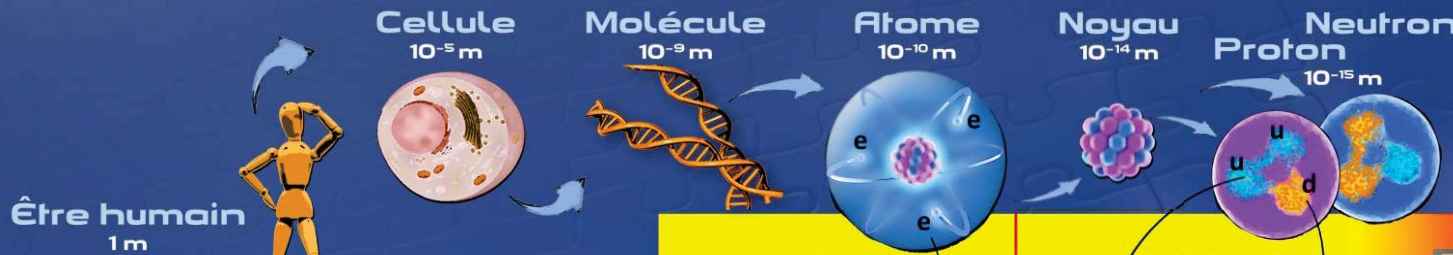
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1983 : découverte des bosons W et Z

Composants élémentaires de la matière



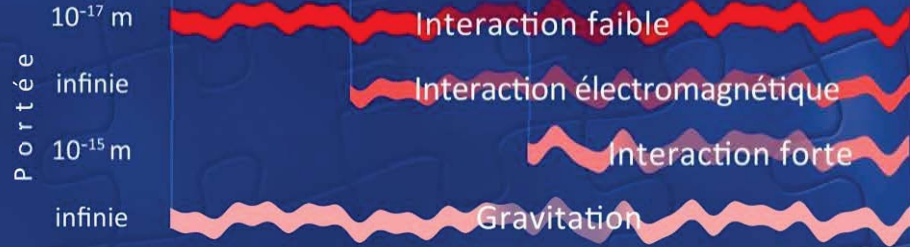
	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.



INTERACTIONS FONDAMENTALES

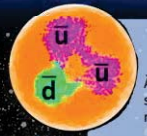


Bosons Z, W[±]	Désintégrations radioactives β^- et β^+ de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



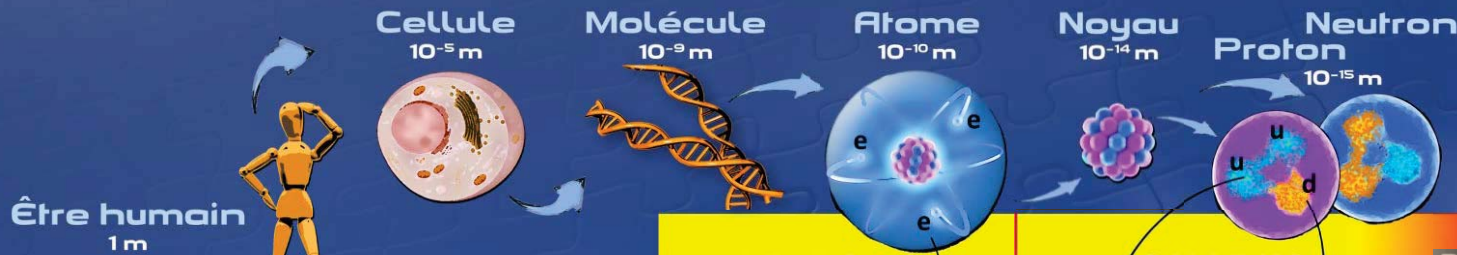
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1995 : découverte du 6^{ème} quark – le top

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	e électron $t = \infty$ $Q = -e$ $m = 0,00051$ GeV/c ²	u haut / up $t = \infty$ $Q = 2e/3$ $m = 0,002$ GeV/c ²	d bas / down $t = 15$ min $Q = -e/3$ $m = 0,005$ GeV/c ²	BOSON de HIGGS H Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	μ muon $t = 2,2 \cdot 10^{-6}$ s $Q = -e$ $m = 0,106$ GeV/c ²	c charme / charm $t = 10^{-12}$ s $Q = 2e/3$ $m = 1,3$ GeV/c ²	s étrange / strange $t = 10^{-10}$ s $Q = -e/3$ $m = 0,1$ GeV/c ²	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau $t = \infty$ $Q = 0$ $m < 2 \cdot 10^{-36}$ GeV/c ²	τ tau $t = 2,9 \cdot 10^{-13}$ s $Q = -e$ $m = 1,78$ GeV/c ²	t top $t = 3 \cdot 10^{-25}$ s $Q = 2e/3$ $m = 173$ GeV/c ²	b beau / beauty / bottom $t = 3,5 \cdot 10^{-12}$ s $Q = -e/3$ $m = 4,2$ GeV/c ²	

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée
10⁻¹⁷ m
infinie
10⁻¹⁵ m
infinie

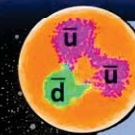


Bosons Z, W[±]	Désintégrations radioactives β^- et β^+ de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière ;



Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

2000 : découverte du neutrino tau

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

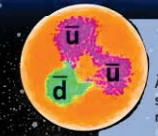
INTERACTIONS FONDAMENTALES	
Portée 10^{-17} m	Interaction faible
Portée infinie	Interaction électromagnétique
Portée 10^{-15} m	Interaction forte
Portée infinie	Gravitation

Bosons Z, W^\pm	Désintégrations radioactives β^- et β^+ de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



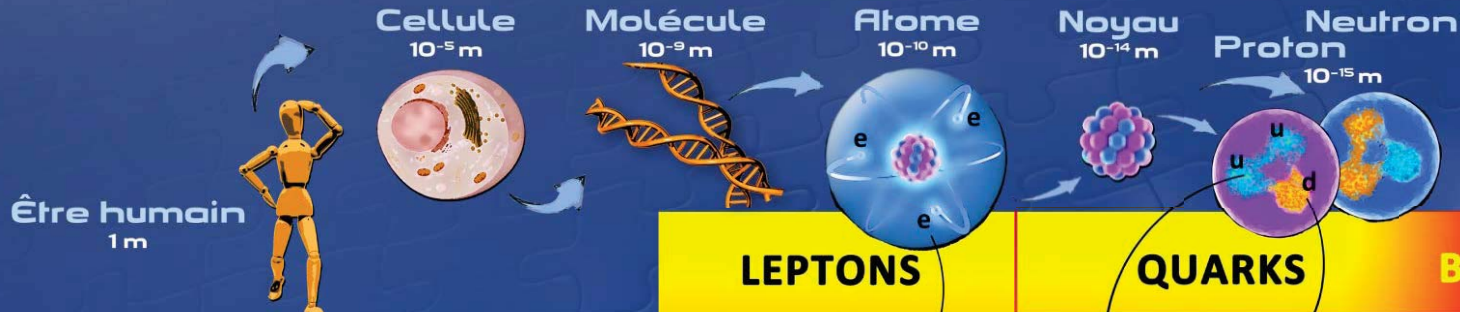
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

2012 : découverte du boson de Higgs

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	H $m = 125 \text{ GeV}/c^2$
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

BOSON de HIGGS H
 $m = 125 \text{ GeV}/c^2$
 Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction
10^{-17} m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10^{-15} m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Bosons Z, W[±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



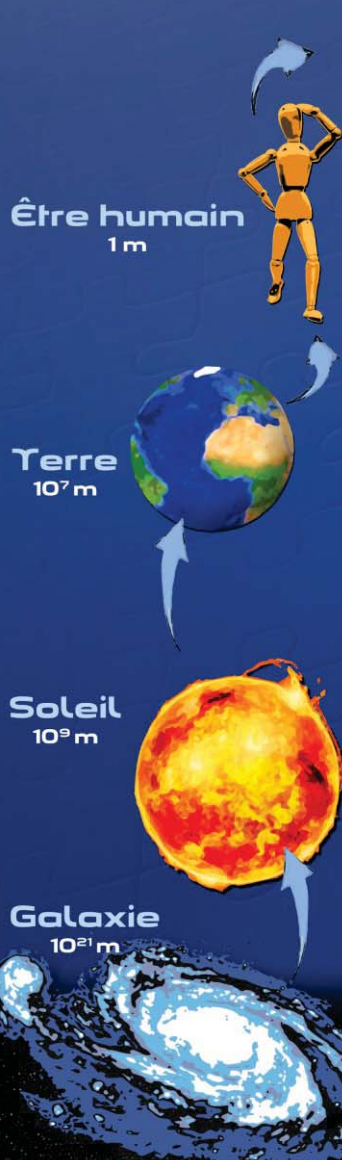
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

La situation en 2016

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

$t = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ s}$, $Q = 0$, $m = 125 \text{ GeV}/c^2$

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction
10^{-17} m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10^{-15} m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Bosons Z, W[±]	Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables
Photon γ	Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesantier, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.