

Lundi 17 juin	Mardi 18 juin	Mercredi 19 juin	Jeudi 20 juin	Vendredi 21 juin
Ice Breaker / Présentation de la semaine (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)
Ecosystème recherche / activités CPPM (Julien C.)	Cosmologie (Julian B.)	Mécanique et visite salle blanche (Eric V.)	Particules (Elisabeth P.)	Informatique (Adrien R.)
La physique des 2 infinis (Marlon B.)	Astroparticules et KM3net (Vincent B.)		Visite salle imagerie (Yannick B.)	
Pause méridienne				
Visite CPPM (Marlon B. & Julien C.)	Visite hall KM3net (Vincent B.)	Electronique + TP Arduino (Pierre B. & Julien Z.)	TP Roue cosmique (Fabrice F. & Julien Z.)	Visite virtuelle CERN (Etienne Fortin)
TP Cherenkov (Jean-Pierre E.)	TP Accélérateur (Jean-Pierre E.)			Discussions (métiers de la recherche, ...) et clôture (Marlon B. & Julien C.)
TP Chambre à brouillard (Christian C.)				

(courte introduction à la...)

La physique des 2 infinis

17 juin 2024

Plan

- Echelles des distances en physique des particules, constituants élémentaires de la matière & histoire de l'univers.
- La physique à la fin du XIXe siècle.
- Révolutions conceptuelles début XXe siècle.
- De quoi est fait l'univers?
- Physique des constituants élémentaires de la matière.
- Quelques questions ouvertes.
- Programme de votre semaine et Q&A.

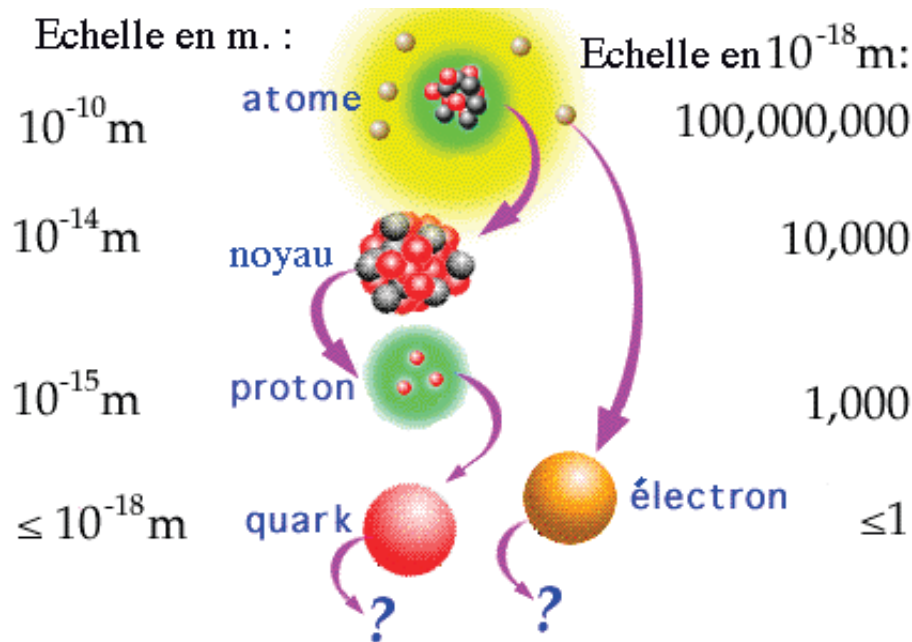
De l'infiniment grand à l'infiniment petit

- Interlude -film-

Distances en physique des particules

- Qu'est ce qui constitue la matière?

- Molécules, atomes, noyau, proton, quarks...

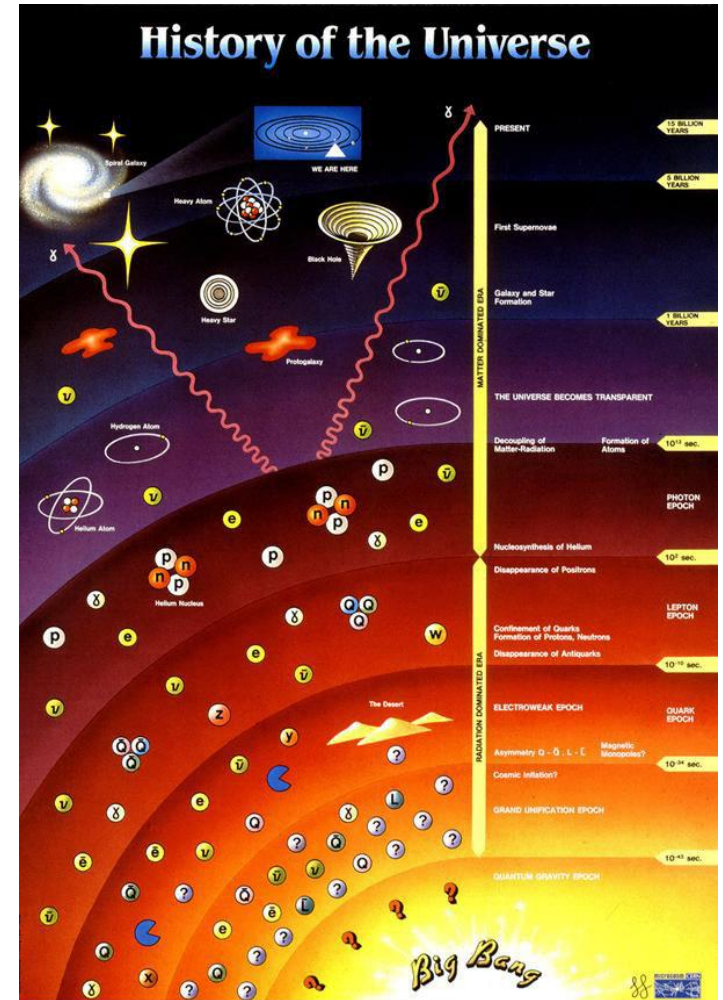


- Si protons et neutrons étaient a 10 cm l'un de l'autre, un quark ou un électron mesurerait 0,1 mm et un atome 10 km!

- Réponse à la question: **du vide!!!**

Physique des particules & histoire de l'univers

- Au CPPM nous étudions les **constituants élémentaires** de la matière et leurs **interactions**.
 - Qu'est ce qu'on appelle constituants élémentaires de la matière?
 - Des **particules sans structure interne** ...
 - Que sont les interactions?
 - Les **forces** qui s'exercent entre ces particules...
- Dans l'univers froid d'aujourd'hui, la plupart des particules ont disparu.
- **Comment y accéder?**
 - Par la **théorie** et la **modélisation**
 - Expérimentalement en les créant artificiellement dans des **accélérateurs de particules**
 - Comment?
 - On **accélère des particules**, lors de leur collisions on **concentre de l'énergie**.
 - Quand on concentre de l'énergie, on **remonte dans le temps!**



La physique à la fin du XIXème siècle

- Fin XIXe, la physique est basée sur:

- Mécanique newtonienne (Newton).

- Principe d'inertie
- Loi de la dynamique
- Gravitation universelle

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$



- Mécanique analytique (Lagrange):

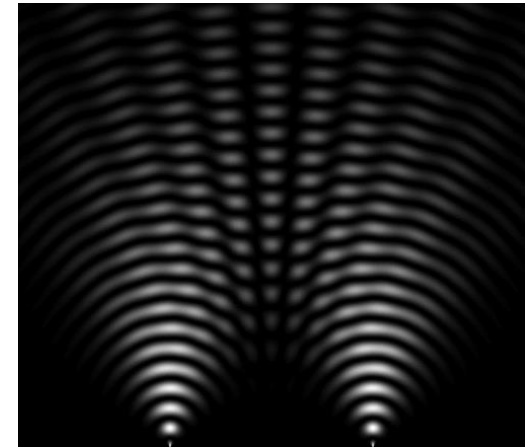
- Principe de moindre action

- Optique ondulatoire (Fresnel / Young)

- Nature ondulatoire de la lumière

- Electromagnétisme (Maxwell)

- Unification électricité-magnétisme!



- Existence des **atomes? pas prouvée, en débat!**

- **Lumière = onde** électromagnétique se propageant dans un **éther**

Début XXème : révolutions conceptuelles

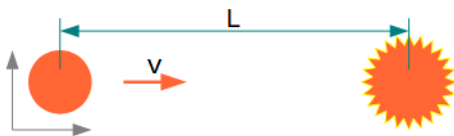
- Lord Kelvin en 1900 (British Association for advancement of Science):
 - « There is nothing new to be discovered in physics now. All that remains is more and more precise measurement. »
- Début XXe siècle, deux théories fondamentales voient le jour et changent notre compréhension de la physique, des plus petites échelles aux plus grandes:
 - La relativité restreinte
 - La mécanique quantique
- Ces théories vont bouleverser notre compréhension du monde de l'infiniment petit, des hautes énergies, et de l'infiniment grand.

La relativité restreinte

- Albert Einstein (1905) tire les conséquences du fait que la lumière se propage dans le vide avec une vitesse identique dans tous les référentiels → « c » (vitesse de la lumière) est un invariant
- Conséquence: **Contraction des longueurs et dilatation du temps.**
 - L'écoulement du temps dépend du référentiel.
 - On distingue un **temps propre** (t_0) mesuré dans le référentiel liée à l'objet considéré et le temps pour un observateur fixe pour lequel l'objet se déplace à vitesse v :
 - $t = \gamma t_0$ (avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}$)

... quand v approche de c , γ devient très grand).

- Exemple: Envoi d'une bombe programmée pour exploser après une seconde



1) $v = 300$ km/s (0,1 % c)	→ $L = 300$ km ($t = 1$ s)
2) $v = 29\ 979$ km/s (10 % c)	→ $L = 30\ 130$ km ($t = 1$ s)
3) $v = 269\ 813$ km/s (90 % c)	→ $L = 618\ 994$ km ($t = 2$ s)
4) $v = 296\ 794$ km/s (99 % c)	→ $L = 2\ 103\ 921$ km ($t = 7$ s)
5) $v = 299\ 493$ km/s (99,9 % c)	→ $L = 6\ 698\ 534$ km ($t = 22$ s)

- Il faut **prendre en compte la relativité restreinte dès que les vitesses s'approchent de la vitesse limite c** (vitesse de la lumière dans le vide)

Relativité restreinte, masse et énergie

- Equivalence masse-énergie : $E=mc^2$
- La masse est une forme d'énergie.
 - Energie au repos: $E_0 = mc^2$ (référentiel dans lequel le corps est immobile)
- Energie totale d'un système:
 - $E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$ ($p=mv$ est la quantité de mouvement)
- On peut transformer de l'énergie en masse:

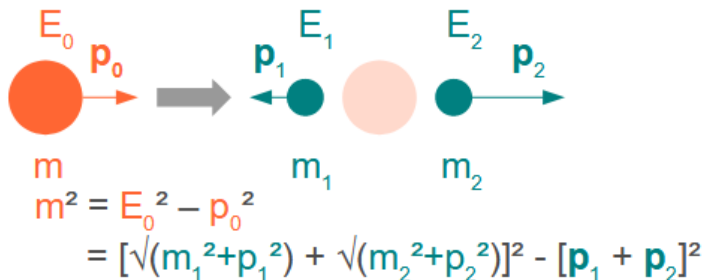


$$E_0 = E_1 + E_2 = \sqrt{(m_1^2 + p_1^2)} + \sqrt{(m_2^2 + p_2^2)} = \sqrt{(m^2 + p_0^2)}$$

exemple : collision de protons avec $E = 7$ TeV
 → énergie disponible : $E_0 = 14$ TeV

Lors de collision, on peut créer des objets plus lourds que ceux initialement présents !

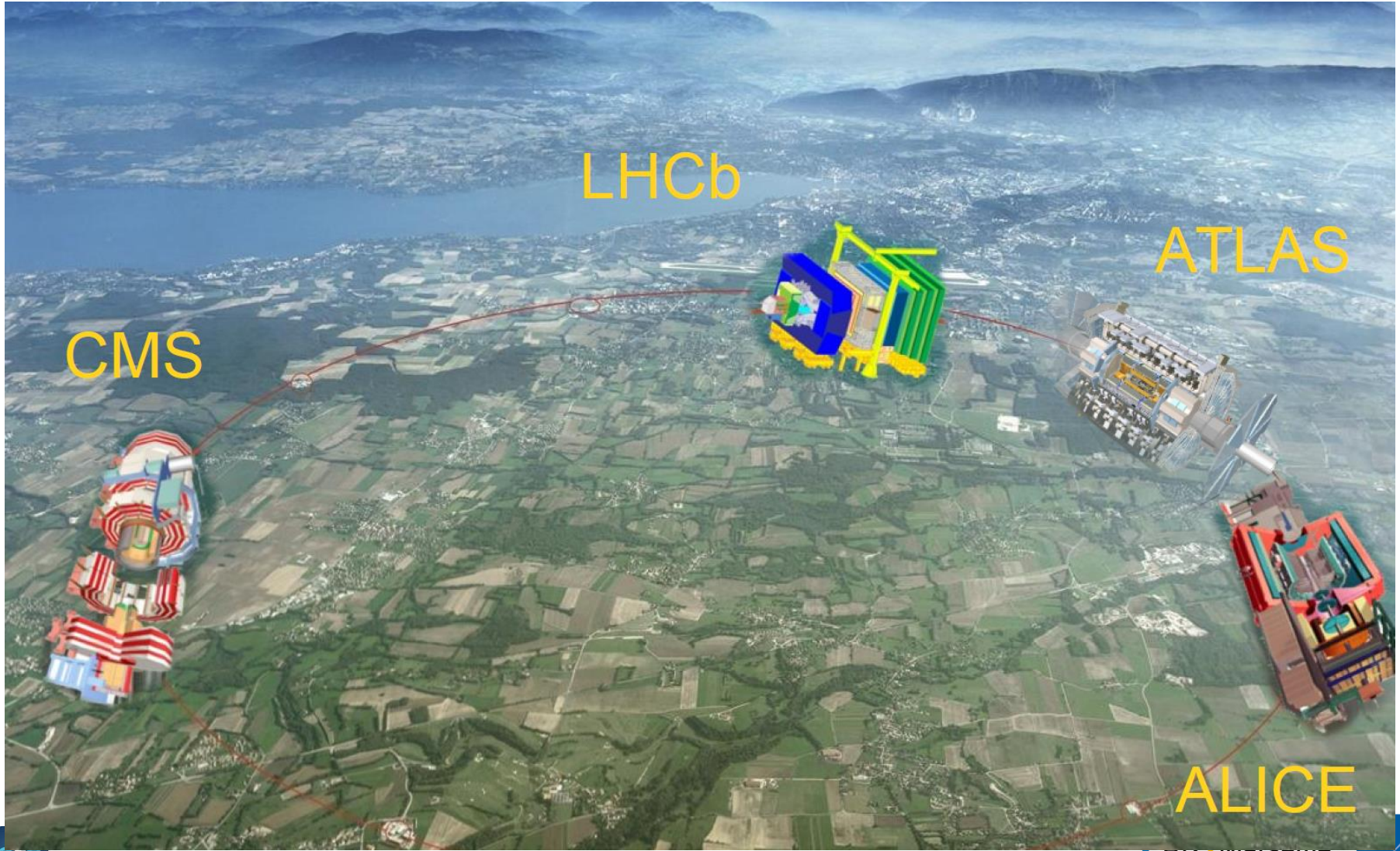
- Et inversement!



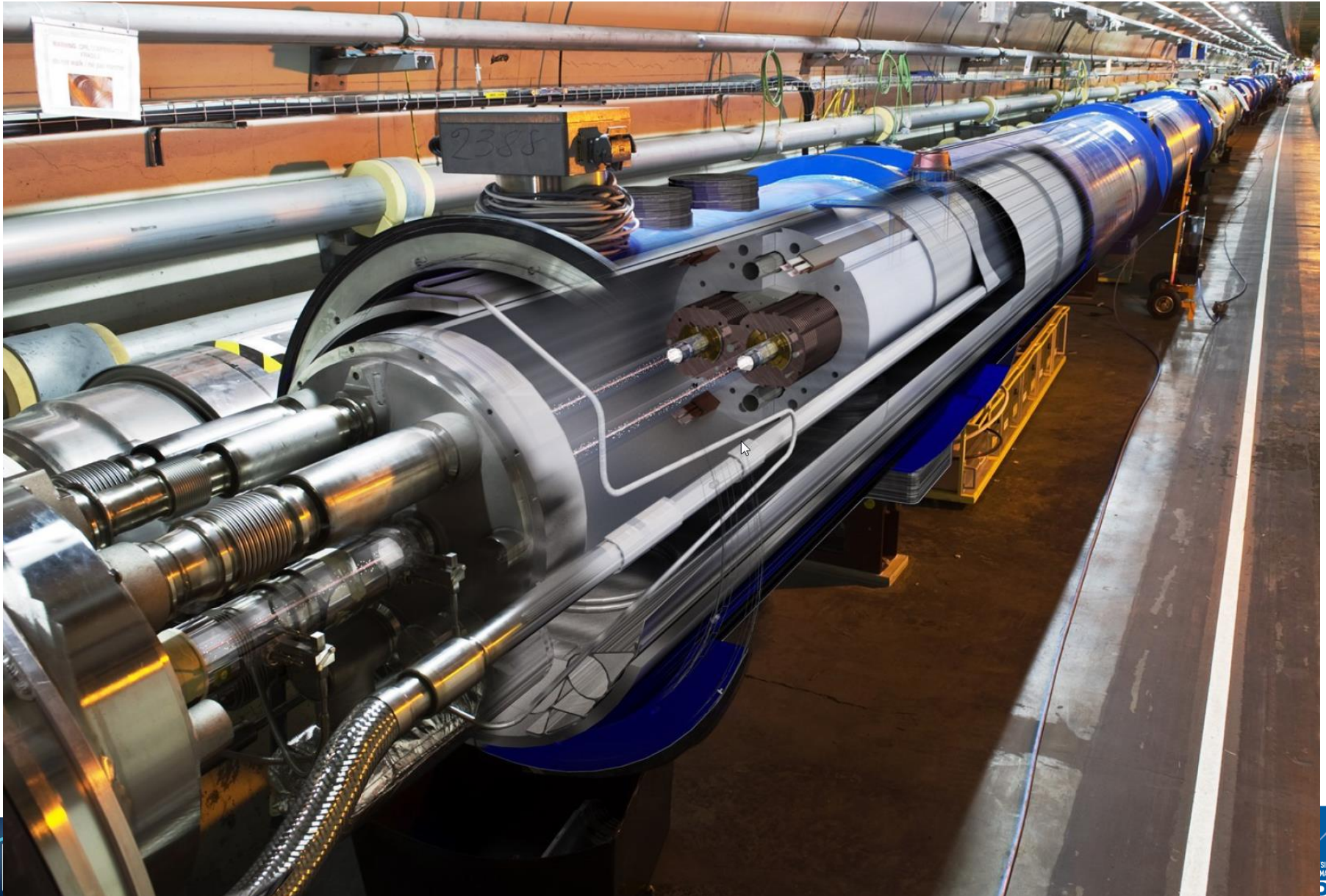
exemple : désintégration de particules instables

En identifiant la nature des produits de désintégration, on connaît leur masse.
 En mesurant en plus leur impulsion, on peut remonter à la masse et donc à la nature de la particule initiale

Le Large Hadron Collider

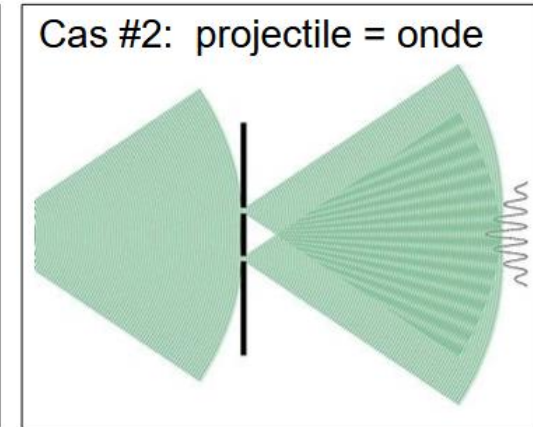
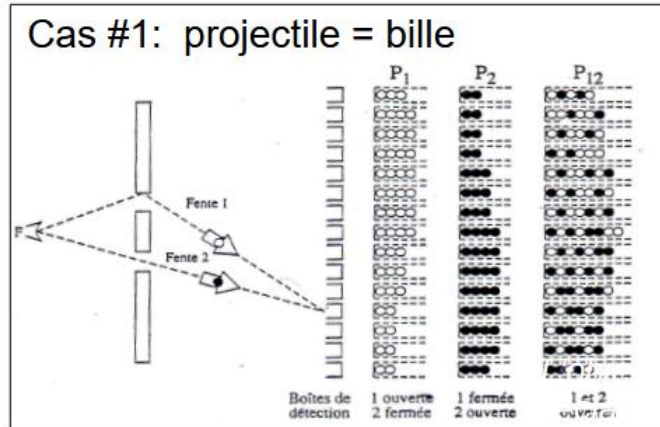
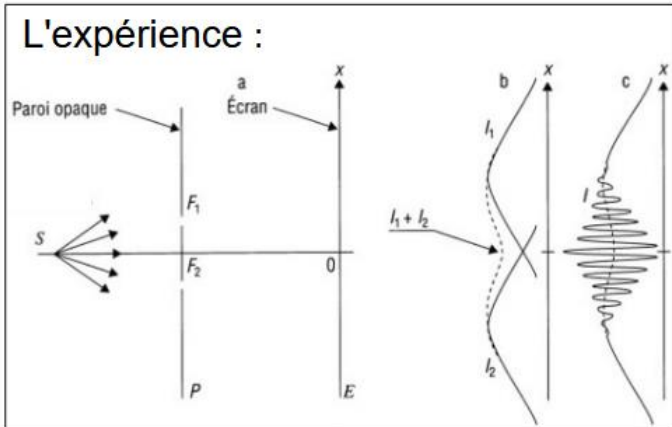


Le Large Hadron Collider

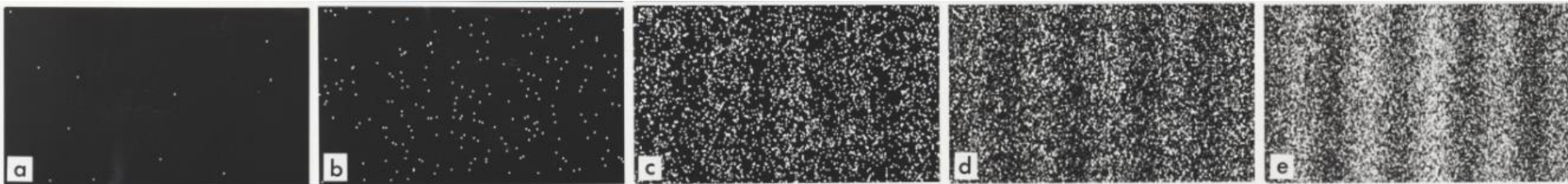


La mécanique quantique

- Expérience des **fentes de Young** (début XIXe):



- Observation: ni cas 1 ni cas 2 \rightarrow cas 3!

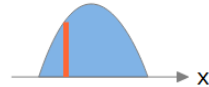


- Observation: **impacts individuels ET franges d'interférences** (si détection d'où passent les particules, l'interférence disparaît)
- Expérience initiale avec la **lumière**... depuis: **électrons, atomes**...

Les objets quantiques

- **Dualité onde-corpuscule** (objet étendu pouvant interférer ET objet ponctuel avec position et impulsion déterminées)
- Objet quantique: des **caractéristiques corpusculaires** suivant des **lois de probabilité dictées par l'onde associée**.
- Le flou quantique:
 - **Relations d'incertitude d'Heisenberg (1927):**

ex : la position d'une particule



Si la précision sur la mesure de position d'une particule est Δx , alors son impulsion $p=mv$ a une précision telle que:

$$\Delta x \cdot \Delta p > h/4\pi$$

(constante de Planck... quantité très petite!)

Si la précision sur la mesure du temps de passage d'une particule est Δt , alors son énergie ΔE a une précision telle que:

$$\Delta E \cdot \Delta t > h/4\pi$$

Intérêt du flou quantique:

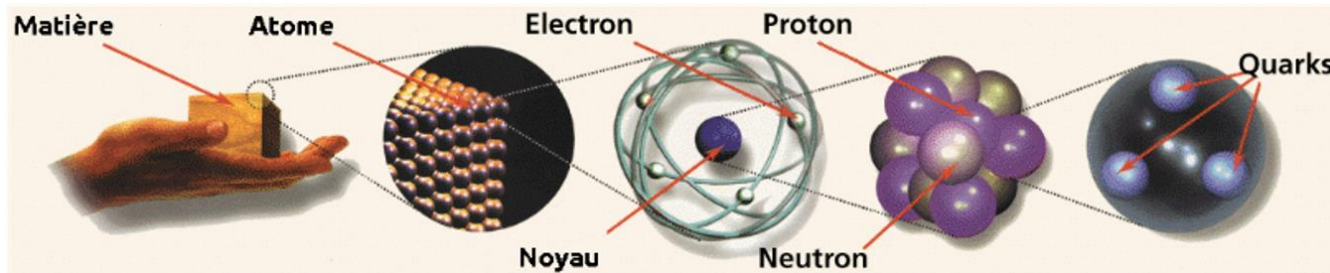
- Une **énergie peut être empruntée au vide** pendant un temps très court (respectant $\Delta E \cdot \Delta t$ assez petit)
- Puis, $E = mc^2$, des **particules virtuelles peuvent être créées pendant un temps** d'autant plus court que la particule est lourde.

Interprétation de la mécanique quantique

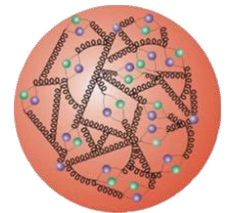
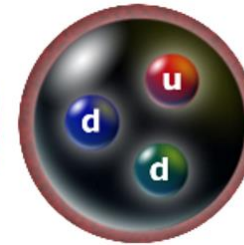
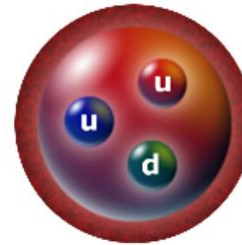
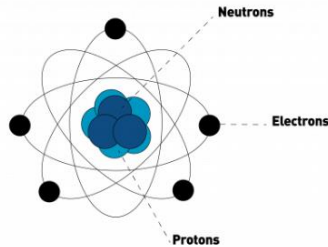
- Est-ce un **artifice mathématique** ou **une réalité de la physique**?
- L'**aspect probabiliste** heurte les partisans du déterminisme:
 - Einstein 1927 : « Dieu ne joue pas aux dés avec l'univers »
- Dualité onde-particule:
 - Difficile à interpréter, à longterm fait débat, **toujours un sujet d'études actives** (S. Haroche, prix Nobel 2012)
- Malgré réticences et aspects contre-intuitifs, **de multiples expériences confirment les prédictions de la mécanique quantique**.
- Applications: cryptologie quantique, téléportation quantique (lié à l'intrication quantique), informatique quantique...

De quoi est fait l'univers visible?

- La matière visible, des galaxies aux virus, est faite de **quarks up (u) et down (d) et d'électrons**.



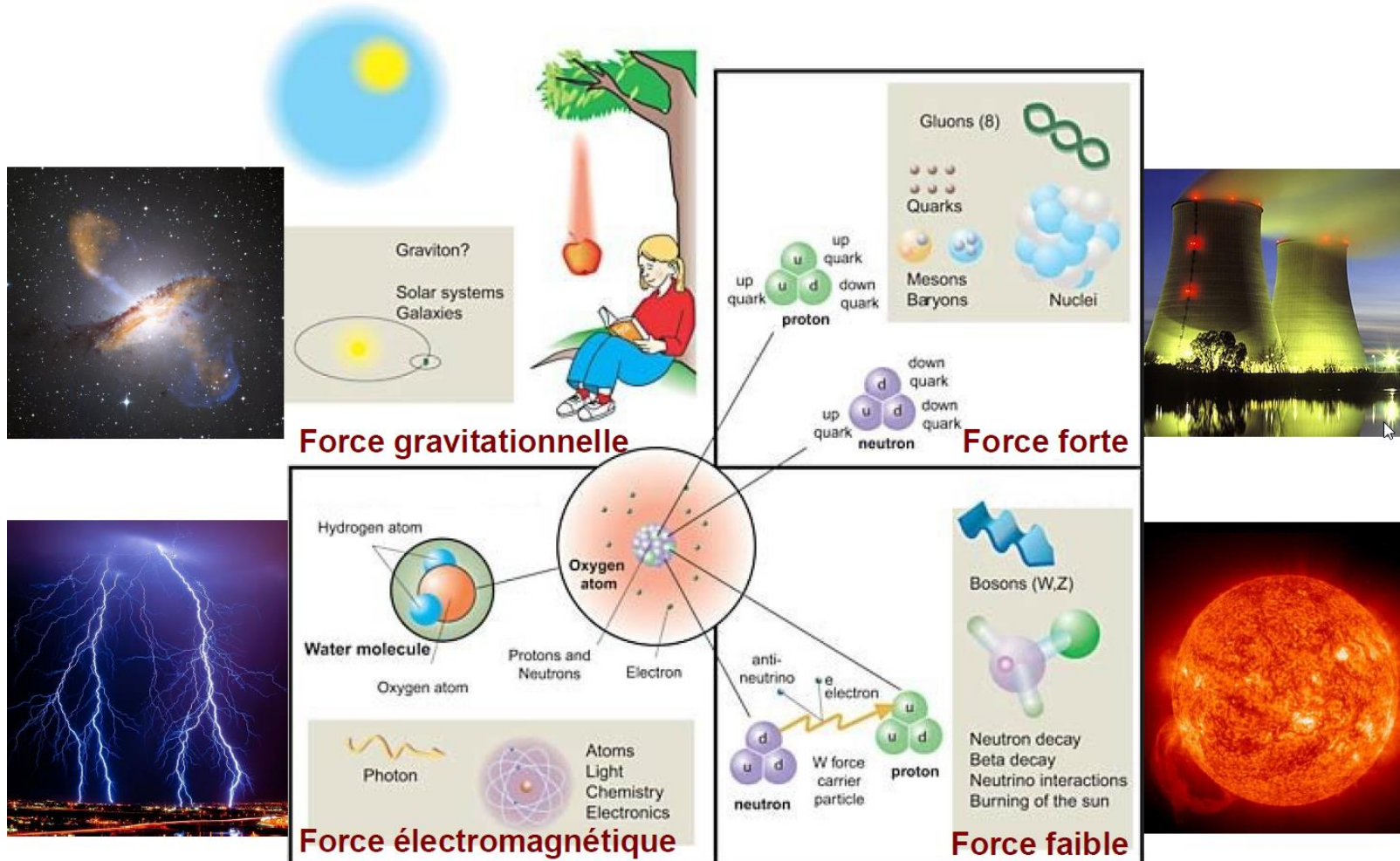
- Les **électrons** gravitent autour des noyaux



- Protons et neutrons des noyaux atomiques sont faits de **3 quarks**
- Des **neutrinos** sont émis dans les réactions nucléaires au cœur des étoiles

Les forces

- Elles régissent les interaction entre particules:



1 famille de particules ?

- Expérimentalement on a vu que non: **3 familles**

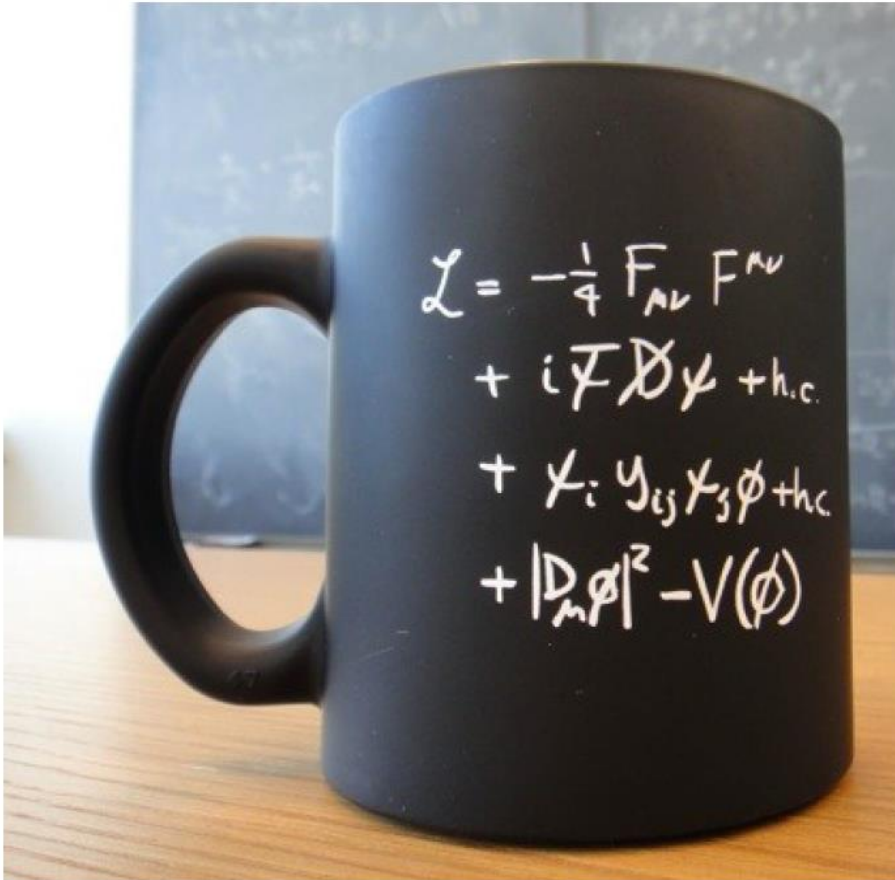
	masse → 2.3 MeV charge → $\frac{2}{3}$ spin → $\frac{1}{2}$ u up	1.275 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charmé	173 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 g gluon
QUARKS	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s étrange	4.18 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 γ photon
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e électron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	91.2 GeV 0 1 Z boson Z
LEPTONS	< 2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e neutrino électronique	< 0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ neutrino muonique	< 15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ neutrino tau	80.4 GeV ±1 1 W boson W
				BOSONS

Cette organisation théorique (et les maths qui la sous-tende) s'appelle le **modèle standard des particules**

Le modèle standard

- Version synthétique

- Version développée...



$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2} \partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4} g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \\ & \frac{1}{2} i g_s^2 (\bar{q}_i^\alpha \gamma^\mu q_j^\alpha) g_\mu^a + G^\alpha \partial^2 G^\alpha + g_s f^{abc} \partial_\mu G^\alpha G^\beta g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\ & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2} \partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \\ & \frac{1}{2} \partial_\mu \mathbf{H} \partial_\mu \mathbf{H} - \frac{1}{2} m_H^2 \mathbf{H}^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\ & \frac{1}{2c_w^2} M \phi^0 \phi^0 - \beta_h \left[\frac{2M^2}{g^2} + \frac{2M}{g} \mathbf{H} + \frac{1}{2} (\mathbf{H}^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - \\ & i g c_w [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + \\ & Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - i g s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - \\ & A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \\ & \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\mu^- + \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\nu^+ Z_\nu^0 W_\mu^- - \\ & Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\nu^+ W_\mu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\nu^+ A_\nu W_\mu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ W_\mu^-) + \\ & g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g \alpha [\mathbf{H}^3 + \\ & \mathbf{H} \phi^0 \phi^0 + 2\mathbf{H} \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{8} g^2 \alpha_h [\mathbf{H}^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + \\ & 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4\mathbf{H}^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 \mathbf{H}^2] - g M W_\mu^+ W_\mu^- \mathbf{H} - \\ & \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 \mathbf{H} - \frac{1}{2} i g [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \\ & \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2} g [W_\mu^+ (\mathbf{H} \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \mathbf{H}) - W_\mu^- (\mathbf{H} \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \mathbf{H})] + \\ & \frac{1}{2} g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (\mathbf{H} \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu \mathbf{H}) - i g \frac{s_w}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \\ & i g s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - i g \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\ & i g s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [\mathbf{H}^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\ & \frac{1}{4} g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [\mathbf{H}^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2} g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\ & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2} i g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \mathbf{H} (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\ & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} i g^2 s_w A_\mu \mathbf{H} (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\ & g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \\ & \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + i g s_w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3} (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \\ & \frac{i g}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - \\ & 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\ & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \\ & \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} \frac{m_\lambda^2}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \\ & \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} (\mathbf{H} (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)) + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + \\ & m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \\ & \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \mathbf{H} (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \mathbf{H} (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \\ & \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + X^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + X^- (\partial^2 - M^2) X^- + X^0 (\partial^2 - \\ & \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + i g c_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + i g s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \\ & \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + i g c_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + i g s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \\ & \partial_\mu \bar{Y} X^+) + i g c_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + i g s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\ & \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2} g M [\bar{X}^+ X^+ \mathbf{H} + \bar{X}^- X^- \mathbf{H} + \frac{1}{c_w} \bar{X}^0 X^0 \mathbf{H}] + \\ & \frac{1-2c_w^2}{2c_w} i g M [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} i g M [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \\ & i g M s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2} i g M [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0] \end{aligned}$$

1 famille de particules ?

- Expérimentalement on a vu que non: **3 familles**

	masse → 2.3 MeV charge → $\frac{2}{3}$ spin → $\frac{1}{2}$ u up	1.275 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charmé	173 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 gluon g	126 GeV 0 0 Higgs H
QUARKS	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s étrange	4.18 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 photon γ	
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e électron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	91.2 GeV 0 1 boson Z Z	
LEPTONS	< 2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e neutrino électronique	< 0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ neutrino muonique	< 15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ neutrino tau	80.4 GeV ±1 1 boson W W	BOSONS

Cette organisation théorique (et les maths qui la soutende) s'appelle le **modèle standard des particules** → Problème : **des particules sans masse!** jusqu'en 1964 (théorie de P. Higgs et al)

Le boson de Higgs a été découvert en 2012 au CERN (expérience ATLAS et CMS)

A-t-on tout compris de notre univers?

Nous et l'Univers visible

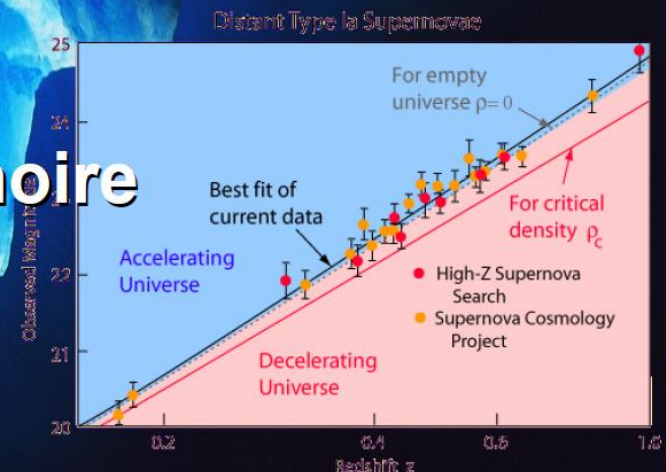
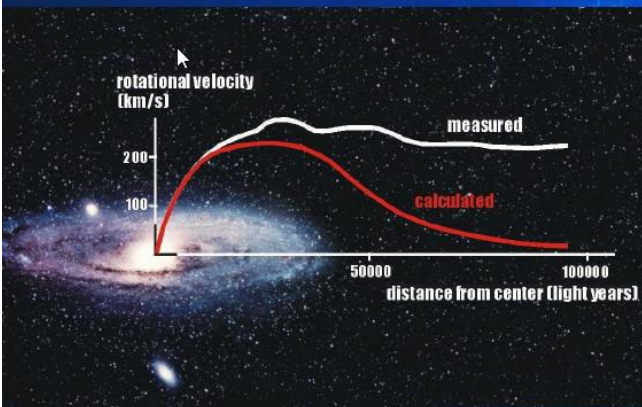
5% Modèle standard

27% Matière noire

68% Énergie noire

Pas la moindre idée de son origine !

- On ne sait pas ce que c'est mais on croit savoir que c'est là
- Candidats observables au LHC (supersymétrie, ...) ?



Votre semaine

... à la lumière de ce que nous avons vu ensemble...

Lundi 17 juin	Mardi 18 juin	Mercredi 19 juin	Jeudi 20 juin	Vendredi 21 juin
Ice Breaker / Présentation de la semaine (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)	Débrief J-1 et discussions (Marlon B. & Julien C.)
Ecosystème recherche / activités CPPM (Julien C.)	Cosmologie (Julian B.)	Mécanique et visite salle blanche (Eric V.)	Particules (Elisabeth P.)	Informatique (Adrien R.)
La physique des 2 infinis (Marlon B.)	Astroparticules et KM3net (Vincent B.)		Visite salle imagerie (Yannick B.)	
Pause méridienne				
Visite CPPM (Marlon B. & Julien C.)	Visite hall KM3net (Vincent B.)	Electronique + TP Arduino (Pierre B. & Julien Z.)	TP Roue cosmique (Fabrice F. & Julien Z.)	Visite virtuelle CERN (Etienne Fortin)
TP Cherenkov (Jean-Pierre E.)	TP Accélérateur (Jean-Pierre E.)			Discussions (métiers de la recherche, ...) et clôture (Marlon B. & Julien C.)
TP Chambre à brouillard (Christian C.)				

Plan

- Echelles des distances en physique des particules, constituants élémentaires de la matière & histoire de l'univers.
- La physique à la fin du XIXe siècle.
- Révolutions conceptuelles début XXe siècle.
- De quoi est fait l'univers?
- Physique des constituants élémentaires de la matière.
- Quelques questions ouvertes.
- Programme de votre semaine et Q&A.