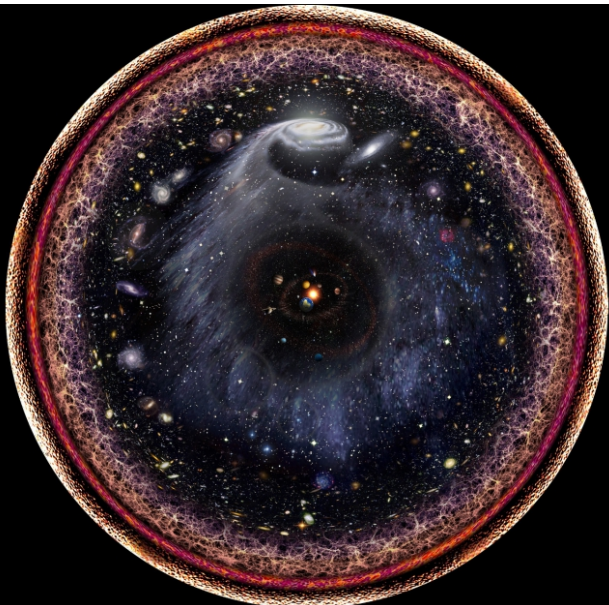


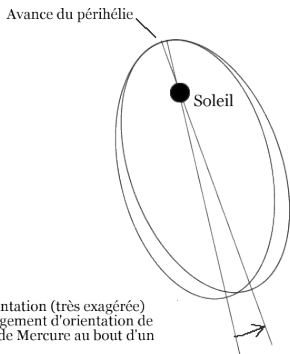
Les mystères de l'Univers



1^{er} succès de la relativité générale

- Les origines du problème:

La trajectoire de Mercure autour du Soleil prédite par la théorie de la **gravité de Newton** est en désaccord avec la mesure



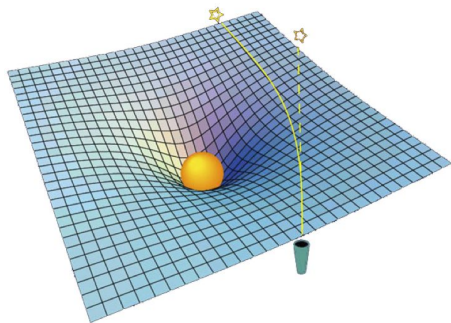
- $\phi_{\text{exp}} = (574.8 \pm 0.4)''/\text{siècle}$
 $\phi_{\text{Newton}} = (531.7 \pm 0.2)''/\text{siècle}$
- 1915: Einstein propose sa théorie de la **relativité générale** en faisant correspondre la nouvelle prédiction avec la mesure.

- **Nouvelle théorie: nouvelles prédictions!**

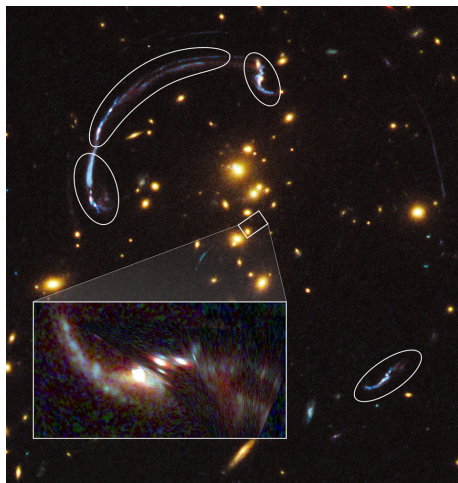
- Interaction entre deux objets massifs (Newton)
- Déformation de l'espace-temps par un objet massif (Einstein)

Déviation de la lumière (1919): lentille gravitationnelle

- Photon de masse nulle:
insensible à la gravité selon Newton mais pas selon Einstein



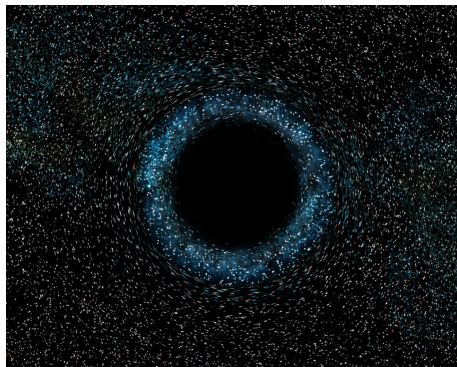
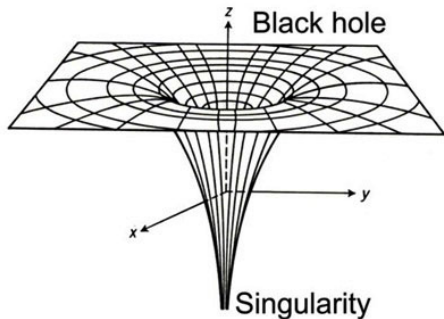
2^{me} succès de la relativité générale



- Que se passe t-il si la masse du soleil est contenue dans un petit volume?

Trou noir

- une masse M qui se trouve totalement concentrée à l'intérieur d'une sphère de rayon $R_s = \frac{2MG}{c^2}$



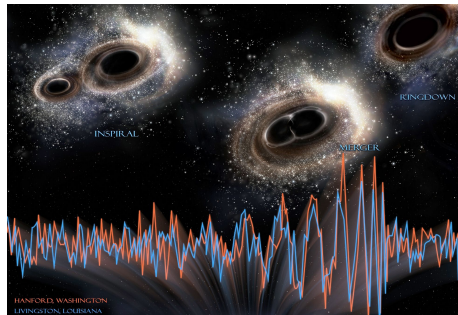
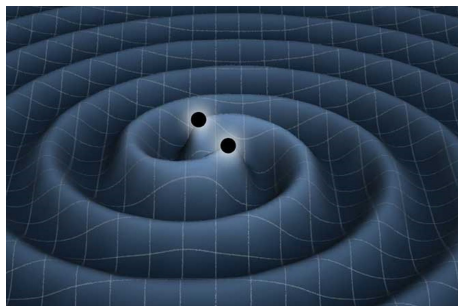
- observation indirecte car le trou noir n'émet rien dans le spectre électromagnétique (selon la relativité générale)

Une dernière prédiction

- Newton: interaction instantannée
- Einstein: propagation de la déformation de l'espace-temps

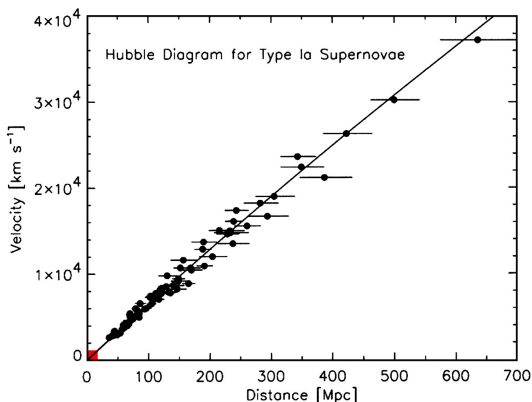
Une dernière prédiction

- Newton: interaction instantannée
- Einstein: propagation de la déformation de l'espace-temps
 - ⇒ présence d'**onde gravitationnelle**
- Prix nobel de physique 1993: observation indirecte à l'aide d'objets astrophysiques (système de pulsars binaire)
- 11 Février 2016! Première observation directe



Naissance de la cosmologie

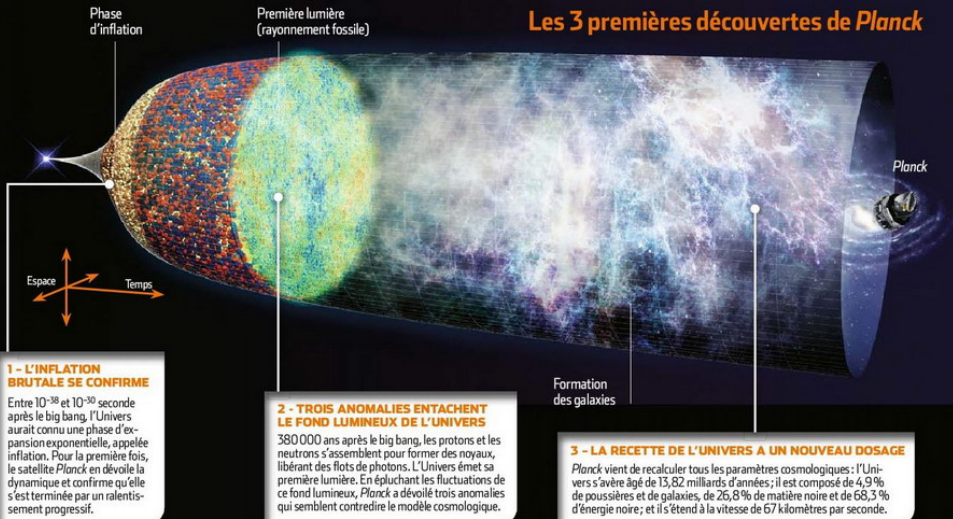
- Equation de Friedmann:
 - ⇒ l'univers peut être en **contraction** ou en **expansion**!
- Expérimentalement: on peut mesurer la **répartition** des masses autour de nous et la **distance** qui nous sépare des galaxies:
 - Edwin Hubble mesure la vitesse d'éloignement des galaxies en fonction de leur distance



- Que se passe t-il si l'on remonte dans le temps?

L'origine de l'Univers: le big bang

Les 3 premières découvertes de Planck



1 - L'INFLATION BRUTALE SE CONFIRME

Entre 10^{-38} et 10^{-30} seconde après le big bang, l'Univers aurait connu une phase d'expansion exponentielle, appelée inflation. Pour la première fois, le satellite *Planck* en dévoile la dynamique et confirme qu'elle s'est terminée par un ralentissement progressif.

2 - TROIS ANOMALIES ENTACHENT LE FOND LUMINEUX DE L'UNIVERS

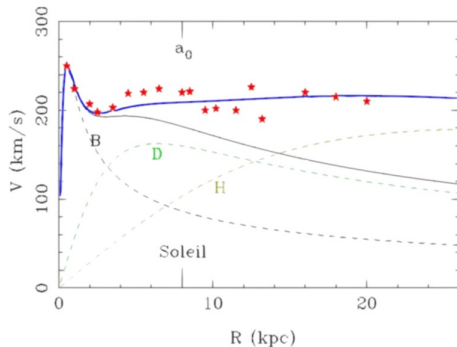
380 000 ans après le big bang, les protons et les neutrons s'assemblent pour former des noyaux, libérant des flots de photons. L'Univers émet sa première lumière. En épluchant les fluctuations de ce fond lumineux, *Planck* a dévoilé trois anomalies qui semblent contredire le modèle cosmologique.

Formation des galaxies

3 - LA RECETTE DE L'UNIVERS A UN NOUVEAU DOSAGE

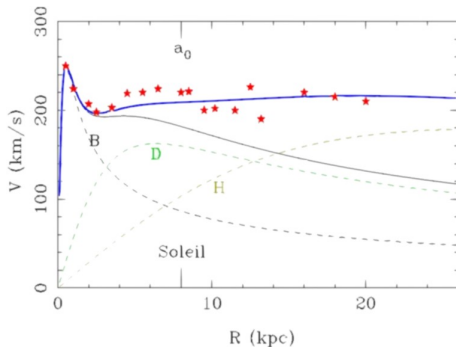
Planck vient de recalculer tous les paramètres cosmologiques : l'Univers s'avère âgé de 13,82 milliards d'années ; il est composé de 4,9 % de poussières et de galaxies, de 26,8 % de matière noire et de 68,3 % d'énergie noire ; et il s'étend à la vitesse de 67 kilomètres par seconde.

Mystérieux composants

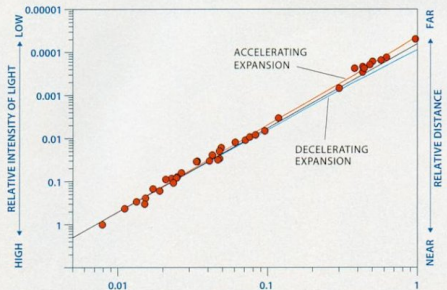


- 1) On observe une rotation des galaxies plus grande que prévue
⇒ existence d'une matière non visible: **matière noire**

Mystérieux composants



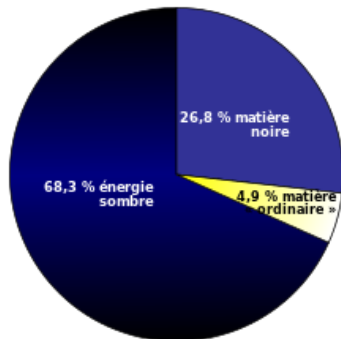
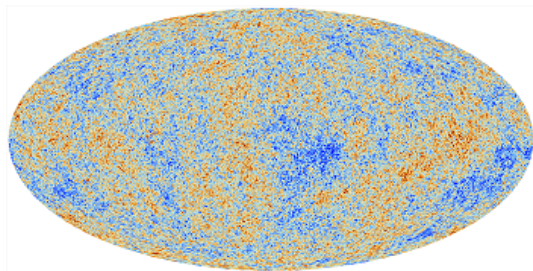
- 1) On observe une rotation des galaxies plus grande que prévue
⇒ existence d'une matière non visible: **matière noire**



- 2) On observe que les galaxies s'éloignent de nous
⇒ l'univers est en expansion
- 3) ... en s'accélérant!
⇒ existence d'une force répulsive: **énergie sombre**

Constituants de l'Univers

- A l'aide du satellite Planck et de l'étude du **fond diffus cosmologique**, on obtient le bilan énergétique de l'univers suivant:



⇒ 95.1% de notre Univers dont on ne sait “presque” rien!!

La matière et l'antimatière dans l'univers

- Créées en quantité **égale** lors du big bang,
- Annihilation de la matière et de l'antimatière:
 $q + \bar{q} \rightarrow \gamma \gamma$
- Plus (ou peu) d'antimatière dans l'univers.
 $N_{\text{barions}}/N_{\text{photons}} \approx 6 \times 10^{-10}$

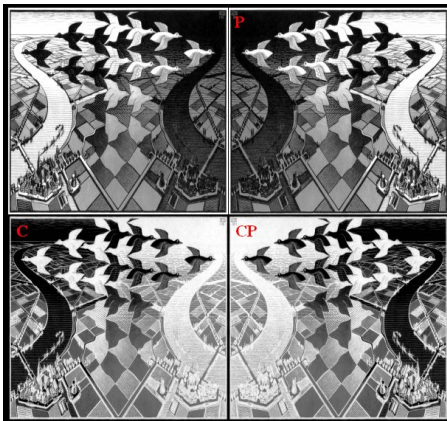
⇒ La matière est favorisée dans ce processus à l'aide d'une **asymétrie**

Symétrie CP et violation

- Une symétrie est une transformation qui laisse invariante les lois de la physique
- C: charge opposée
- P: on regarde dans un miroir
- CP: particule \equiv antiparticule

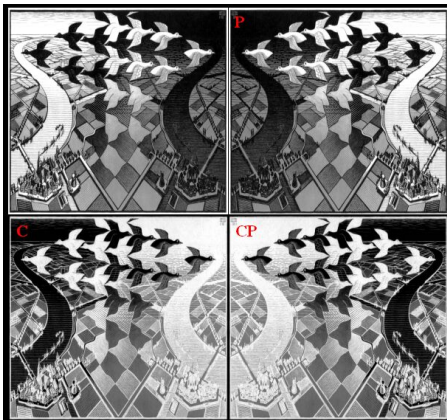
Symétrie CP et violation

- Une symétrie est une transformation qui laisse invariante les lois de la physique
- C: charge opposée
- P: on regarde dans un miroir
- CP: particule \equiv antiparticule



Symétrie CP et violation

- Une symétrie est une transformation qui laisse invariante les lois de la physique
- C: charge opposée
- P: on regarde dans un miroir
- CP: particule \equiv antiparticule

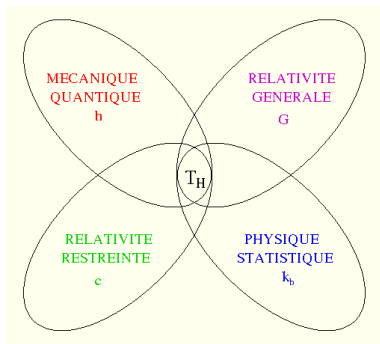


- l'asymétrie fournie par le modèle standard n'est pas suffisante pour expliquer la disparition de l'antimatière!
- il existe une autre contribution à la violation de CP

- expérimentales:
 - détecter de nouvelles particules!

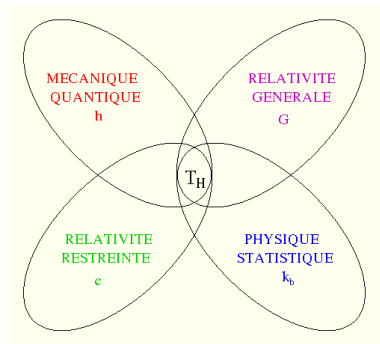
Les recherches actuelles et futures

- expérimentales:
 - détecter de nouvelles particules!
 - rayonnement de Hawking
 - mesurer la masse des neutrinos
- théoriques:
 - problème des singularités et des infinis
 - comment remettre l'observateur au sein de la théorie
 - unification des forces

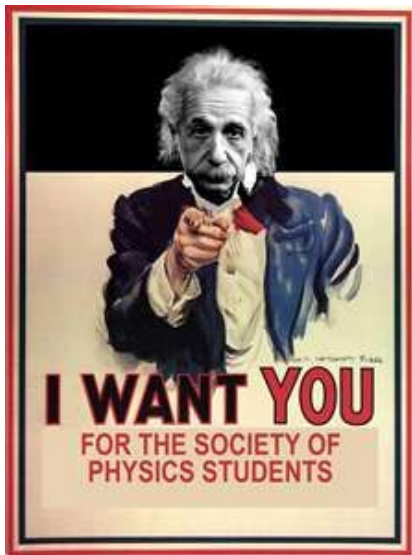


Les recherches actuelles et futures

- expérimentales:
 - détecter de nouvelles particules!
 - rayonnement de Hawking
 - mesurer la masse des neutrinos
- théoriques:
 - problème des singularités et des infinis
 - comment remettre l'observateur au sein de la théorie
 - unification des forces



⇒ **On est encore très loin d'avoir fini!!**
LHCb et toutes les autres expériences
apporteront une partie des réponses



Backup

LIGO/VIRGO

