

Lumière et gravité

François Desvallées

Adapté de "Crash Course Astronomy" (Phil Plait)





Introduction to Astronomy: Crash Course Astronomy #1

CrashCourse ✓

1 year ago • 1,105,942 views

Welcome to the first episode of Crash Course Astronomy. Your host for this intergalactic adventure is the Bad Astronomer himself, ...

CC



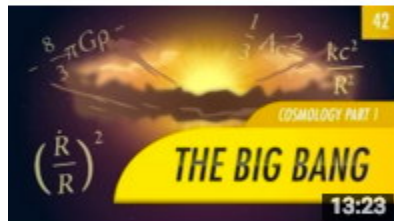
Everything, The Universe...And Life: Crash Course Astronomy #46

CrashCourse ✓

2 months ago • 282,495 views

Here it is, folks: the end. In our final episode of Crash Course Astronomy, Phil gives the course a send off with a look at some of his ...

CC



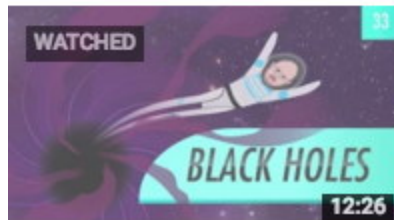
The Big Bang, Cosmology part 1: Crash Course Astronomy #42

CrashCourse ✓

4 months ago • 295,983 views

Thanks to observations of galaxy redshifts, we can tell that the universe is EXPANDING! Knowing that the universe is expanding ...

CC



Black Holes: Crash Course Astronomy #33

CrashCourse ✓

6 months ago • 576,205 views

We've covered a lot of incredible stuff, but this week we're talking about the weirdest objects in space: BLACK HOLES.

CC

La Lumière

Presque toute l'information sur l'Univers vient sous la forme de lumière.
Comment est-elle créée?

La lumière peut être décrite comme une onde, qui représente la variation de champs électrique et magnétique.

La distance entre vagues est la **longueur d'onde**, qui varie comme l'inverse de la fréquence ($c = \lambda f$)

L'énergie de la lumière augmente avec la fréquence

Newton: 1643-1727

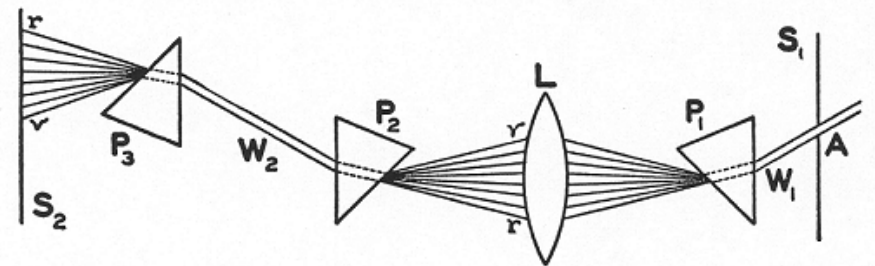


FIG. 8. NEWTON'S EXPERIMENT ON COLOR MIXTURE (1704)

W_1 is a beam of white light which passes through the aperture, A , in the shutter, S_1 , and, being refracted by the prism, P_1 , has its color dispersed as a spectrum, vr , upon the lens, L . The lens brings the colors together again on the prism, P_2 , which, reversing the refraction at P_1 , recombines the colors into a beam of white light, W_2 , which is like the original W_1 . The white light of W_2 can again be refracted and dispersed by the prism, P_3 , so that the spectrum, rv , is thrown on the screen, S_2 .

Maxwell: 1831-1879



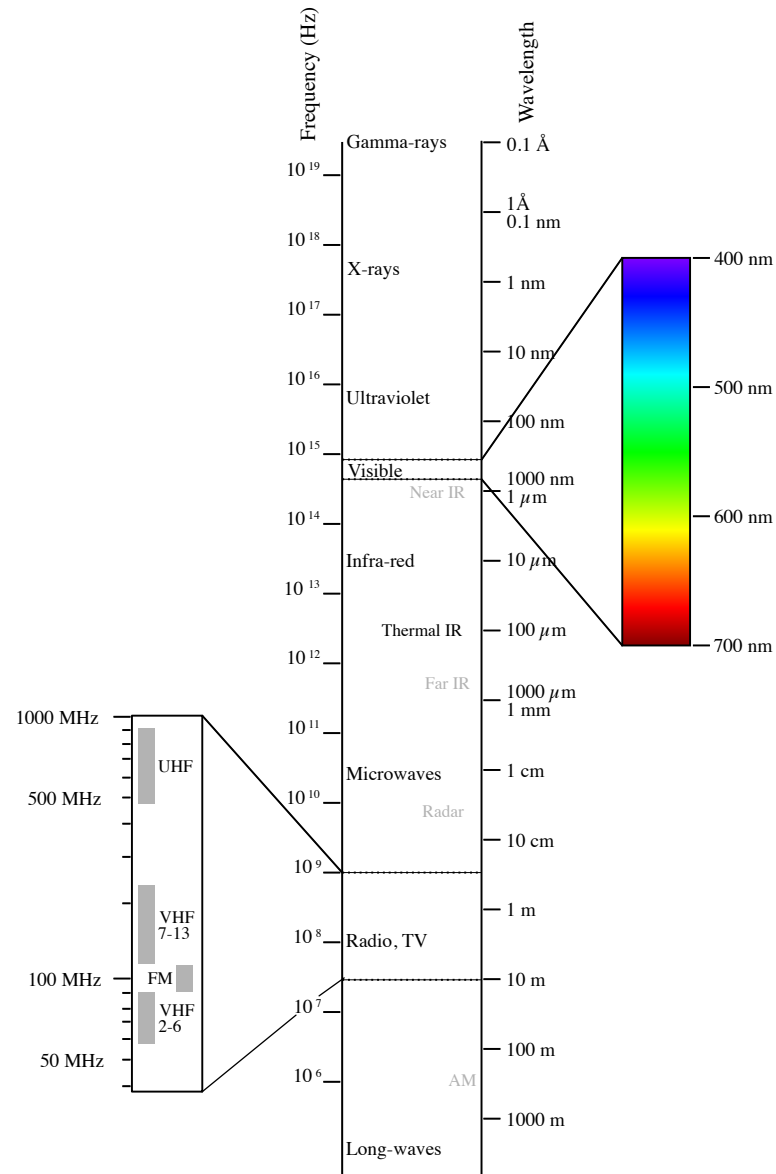
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Le spectre électromagnétique



La spectroscopie

Newton



spectre continu

Fraunhofer



spectre d'absorption

Kirchhoff et Bunsen



spectre d'émission

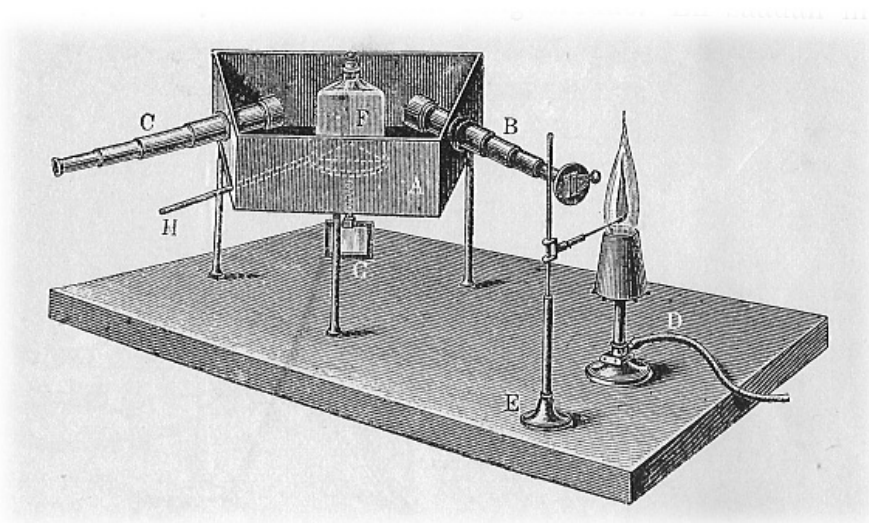
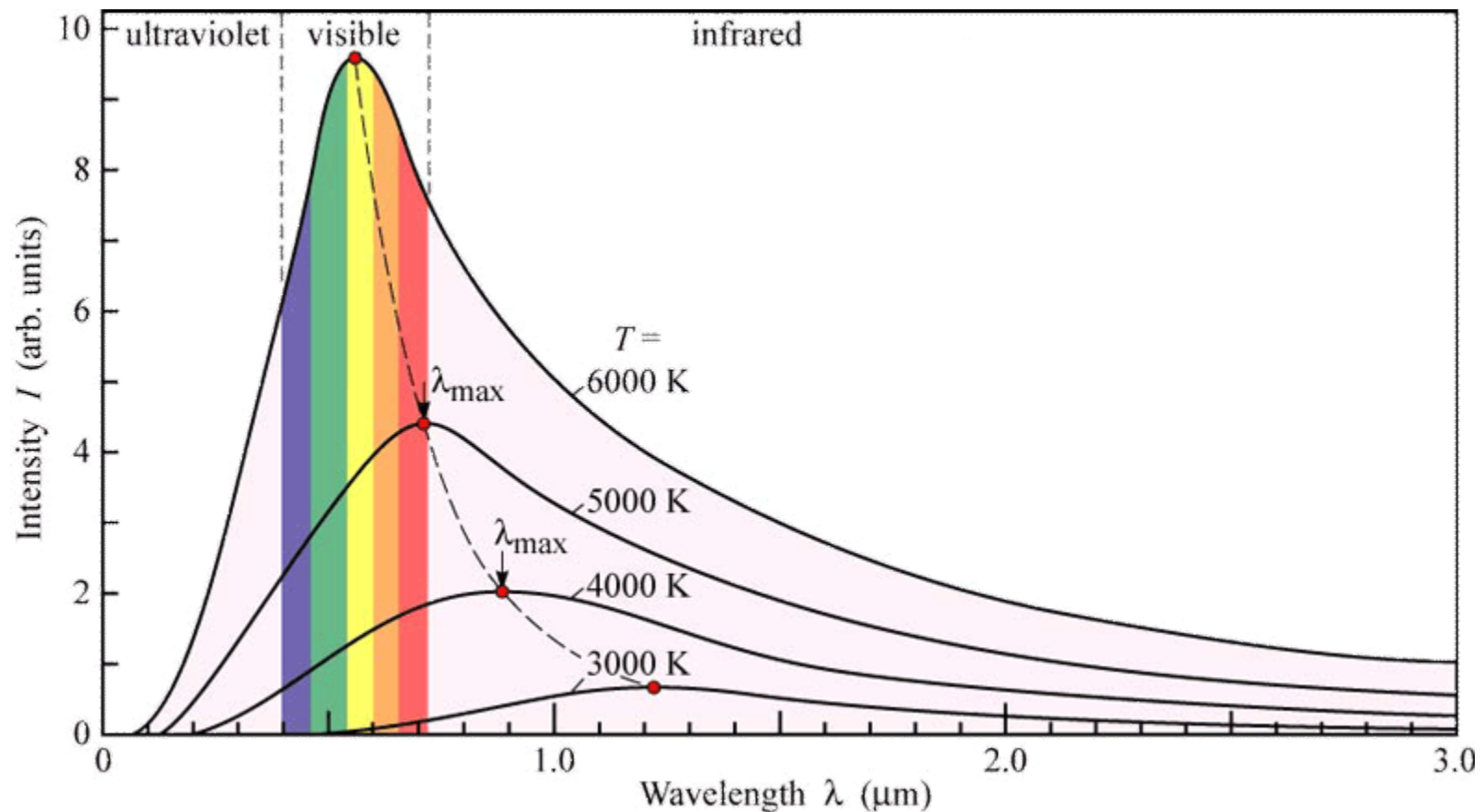


Fig. 411. Kirchhoff's Spectroscopic Apparatus.

Le spectre continu

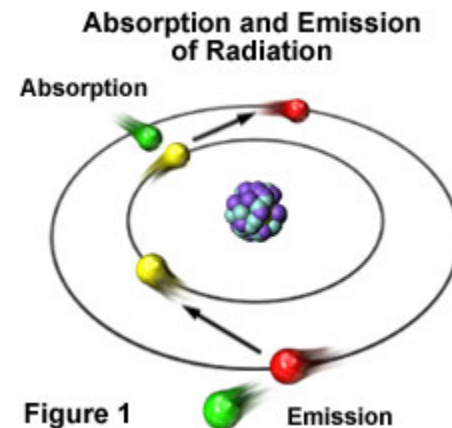
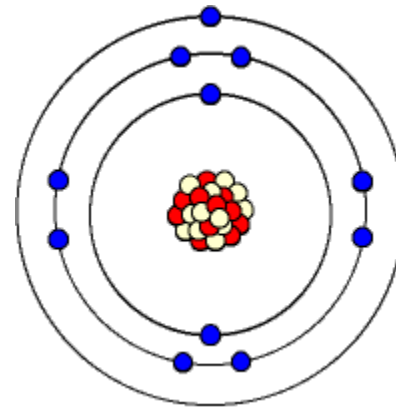
Quand on chauffe un objet, il perd son énergie en émettant de la lumière, dont le type dépend de la température: plus l'objet est chaud, plus la longueur d'onde est courte.



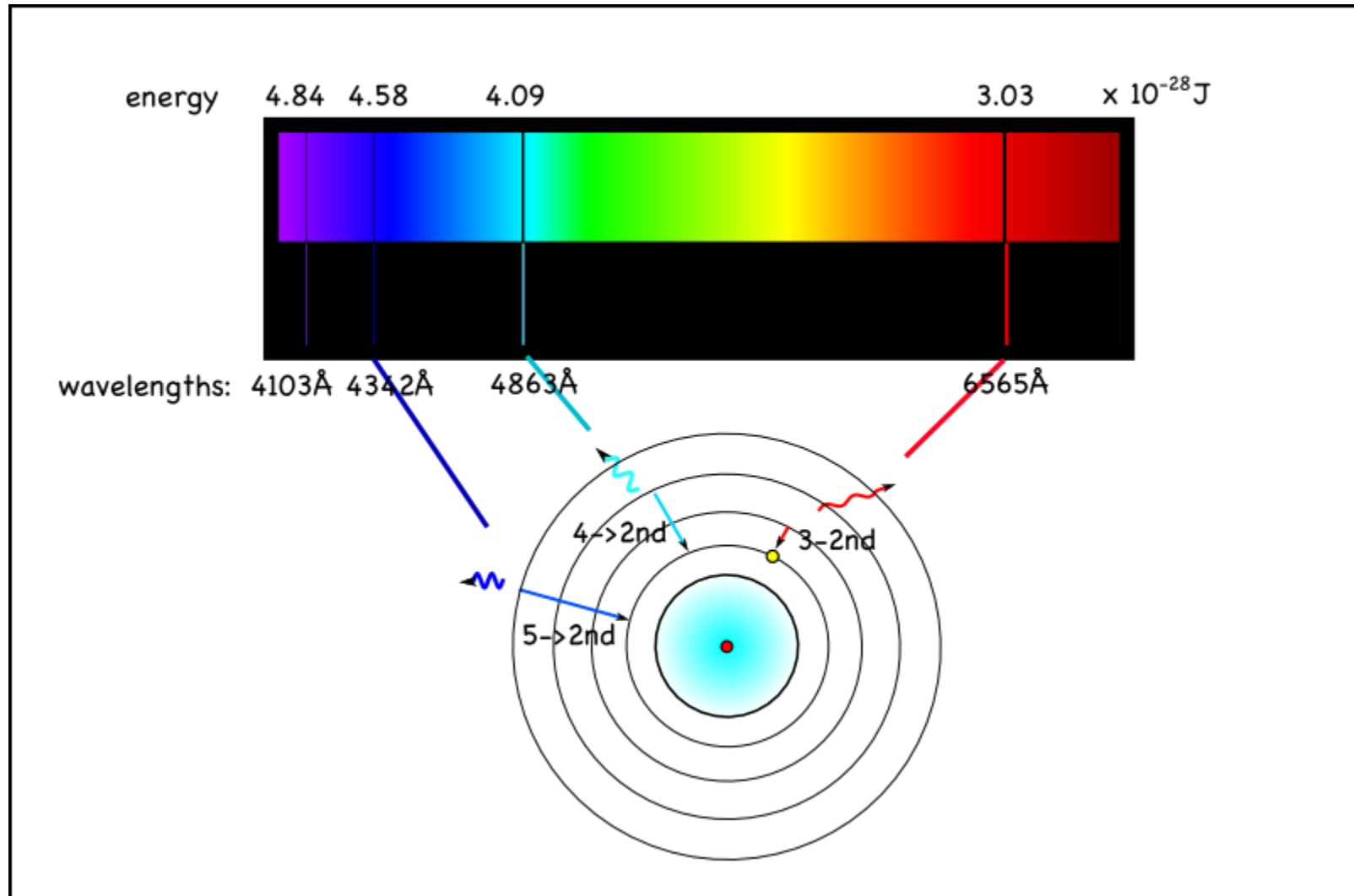
Spectres d'émission et d'absorption

Les électrons dans les atomes ne peuvent occuper que des espaces bien définis autour du noyau, qui dépendent de l'énergie des électrons, comme les marches d'un escalier.

Quand on leur **donne** de l'énergie sous forme de lumière, ils montent d'une marche, et cette lumière est ré-émise quand ils **perdent** la même énergie.



Quand un électron saute vers le haut ou vers le bas, il absorbe ou émet une énergie (couleur) spécifique, qui caractérise l'atome: l'hydrogène a un spectre différent de l'hélium, de l'oxygène, etc.



L'analyse du spectre est la **clé** de la compréhension de l'Univers: Si on peut mesurer la lumière, on peut déterminer de quoi l'objet est fait, même s'il est à des milliards d'années lumière. Dans un nuage de gaz ténu, la couleur dépend plus de la composition que de la température. Les étoiles et nuages de gaz sont surtout composés d'hydrogène, avec un peu d'hélium et d'autres éléments.



En analysant la lumière, on peut déterminer d'autres propriétés des objets lointains comme:

- leur vitesse d'éloignement ou de rapprochement (grâce à l'effet Doppler). C'est le décalage vers le rouge ("red shift") qui a permis de trouver que l'Univers est en expansion
- leur vitesse de rotation
- leur champ magnétique
- leur masse et leur densité.

La mesure de la vitesse de la lumière



Ole Christensen Roemer
(1644-1710)

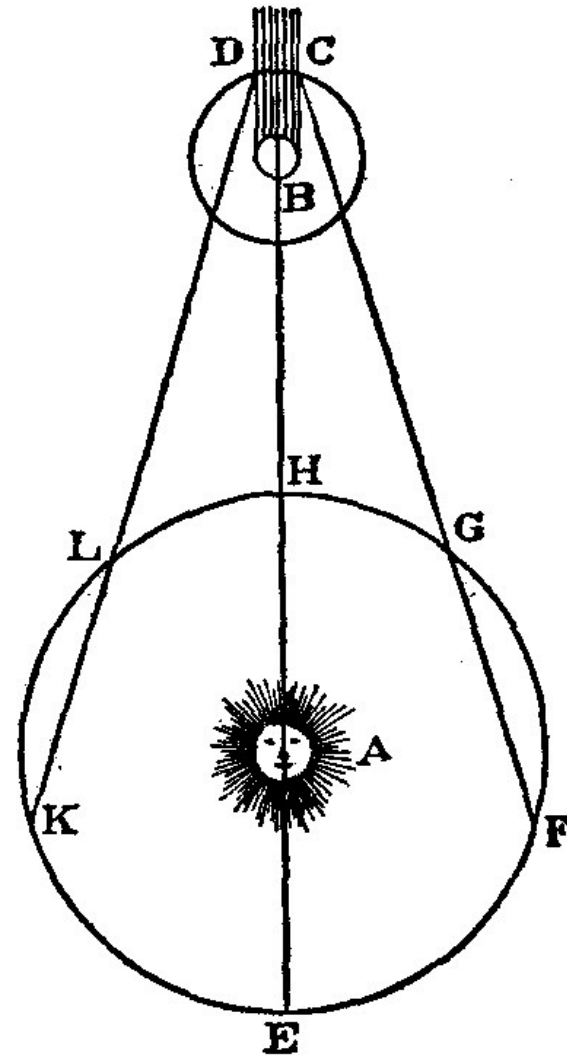
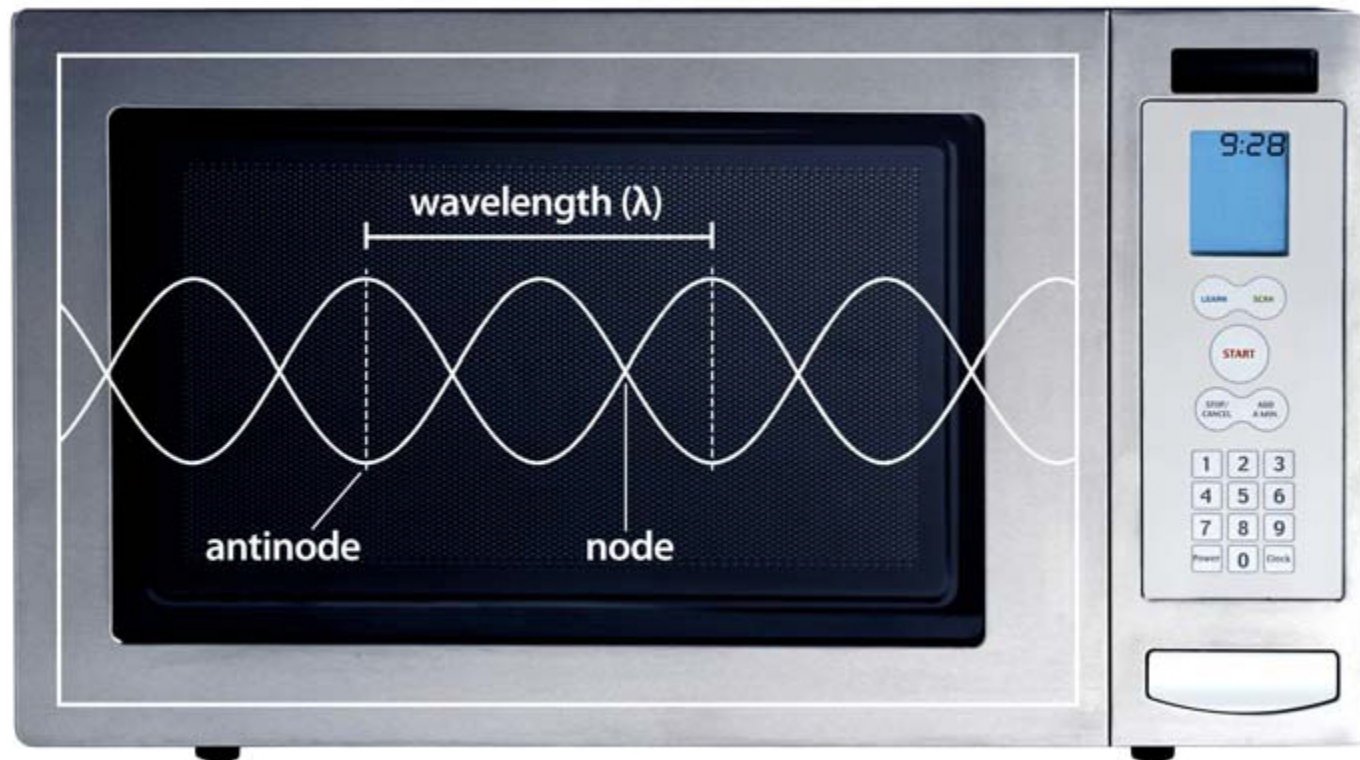


FIG. 70.

Une autre méthode

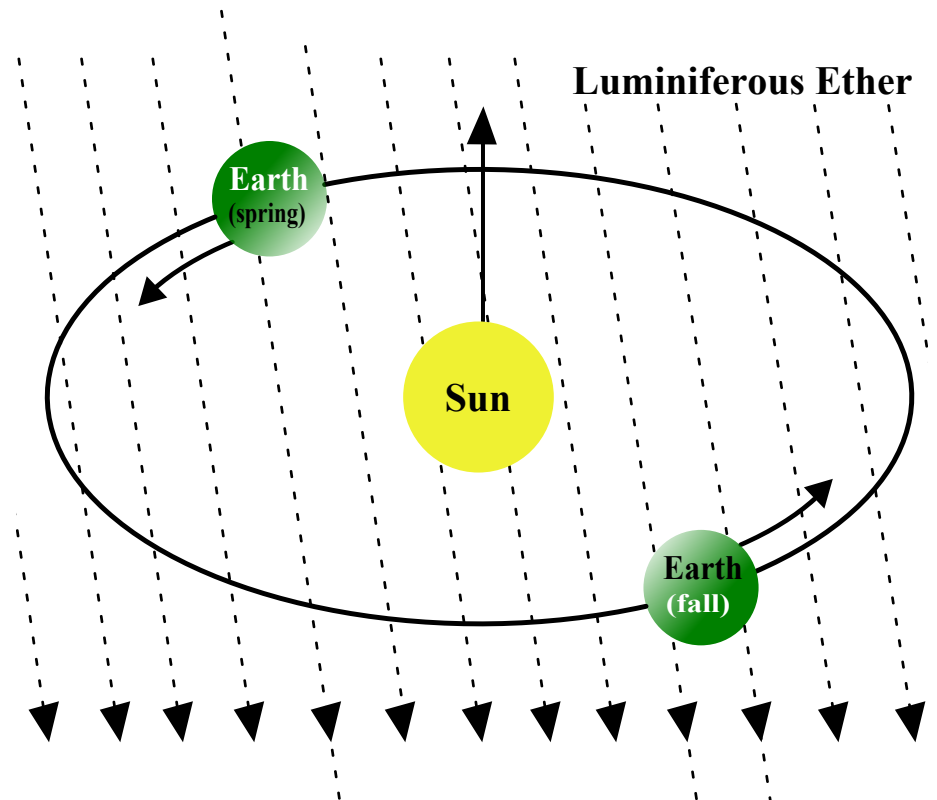


$$c = \lambda f$$

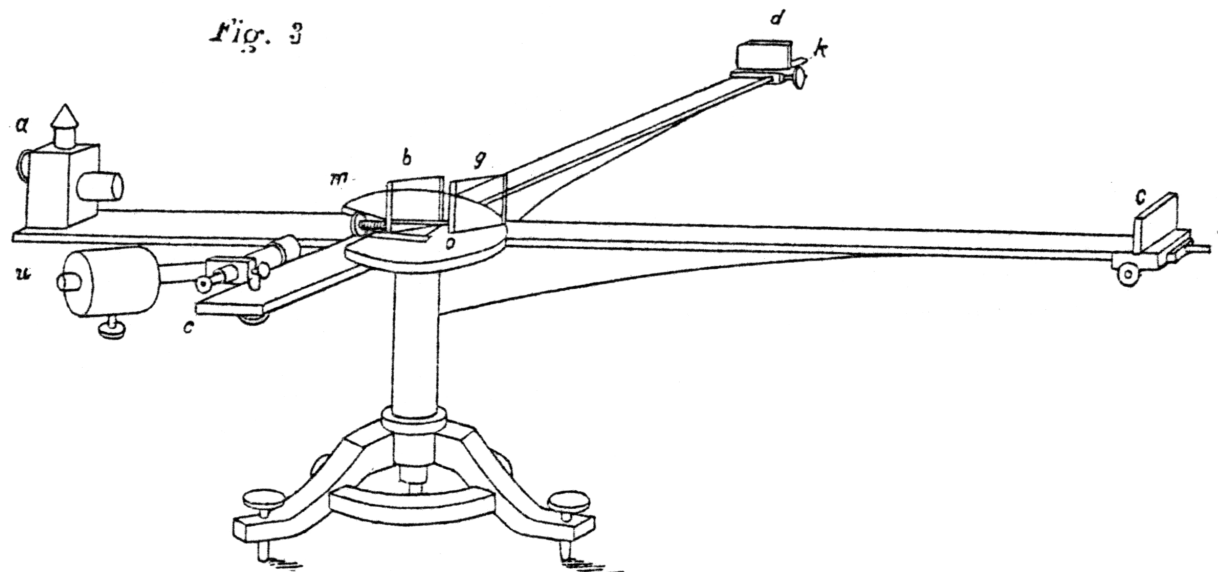
L'éther

La Terre se déplace à environ 30km/s, donc 0,01% de la vitesse de la lumière.

Si l'éther existait, on devrait donc pouvoir détecter une différence de vitesse de la lumière dans deux directions à angle droit.



Les expériences de Michelson et Morley utilisaient un miroir semi-réfléchissant pour séparer et recombinaer deux rayons ayant accompli des parcours à angle droit.



Ces expériences ont eu un résultat négatif, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas permis de mesurer une différence de vitesse. On sait maintenant que la lumière a une vitesse constante.

La Gravité

Les objets ne se comportent pas de la même façon selon qu'ils sont sur Terre (ou une autre planète) ou dans l'espace intersidéral: sur Terre, les choses **tombent** parce que la **gravité** y est plus forte. Cette force agit partout, mais son action se réduit rapidement avec l'éloignement. Sur certains corps célestes, elle est beaucoup plus forte que sur Terre.

Masse et gravité

- La masse nous indique comment un objet résiste à une force appliquée. Un objet plus massif est plus difficile à déplacer.
- Elle peut aussi être sentie grâce à la gravité: Tout ce qui a une masse génère aussi de la gravité, qui agit sur les autres objets.

Microgravité

La gravité agit partout, et par exemple dans l'ISS en orbite à 200km elle est encore de 90% de celle à la surface. Les astronautes ne sentent pas la gravité parce qu'ils tombent en même temps que leur vaisseau. Ceci nous fait comprendre la différence entre la **masse** et le **poids**. En orbite on a la même masse, mais on ne sent plus son poids.

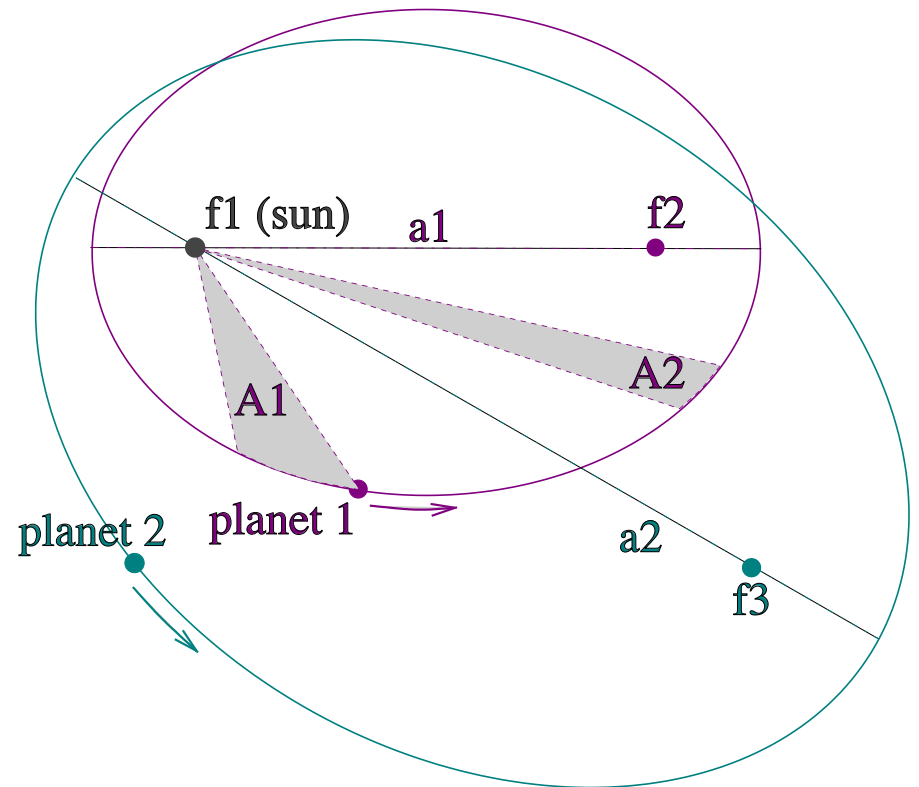


Effondrement gravitationnel

Un nuage de gaz d'une densité suffisante **s'effondre sur lui-même** sous l'effet de sa propre gravité, en s'échauffant, ce qui est la source d'énergie initiale pour démarrer la fusion dans le noyau d'une étoile.



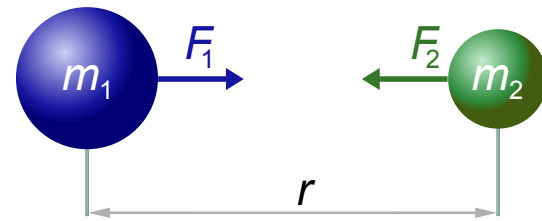
Kepler: 1571-1630



Newton: 1643-1727



$$F = M \times a$$



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Mécanique céleste

start

reset

25

```
Stone.prototype.move = function()
{
    // compute current acceleration
    var r = this.pos.length;
    var gamma = k / (r * r);

    // acceleration points to center
    var vec = this.pos.normalize();
    this.v = this.v.subtract(vec.multiply(gamma));

    // update position of satellite
    this.pos = this.pos.add(this.v);
    this.spot.position = view.center.add(this.pos);
    this.pth.add (new Point(this.spot.position));
}
```

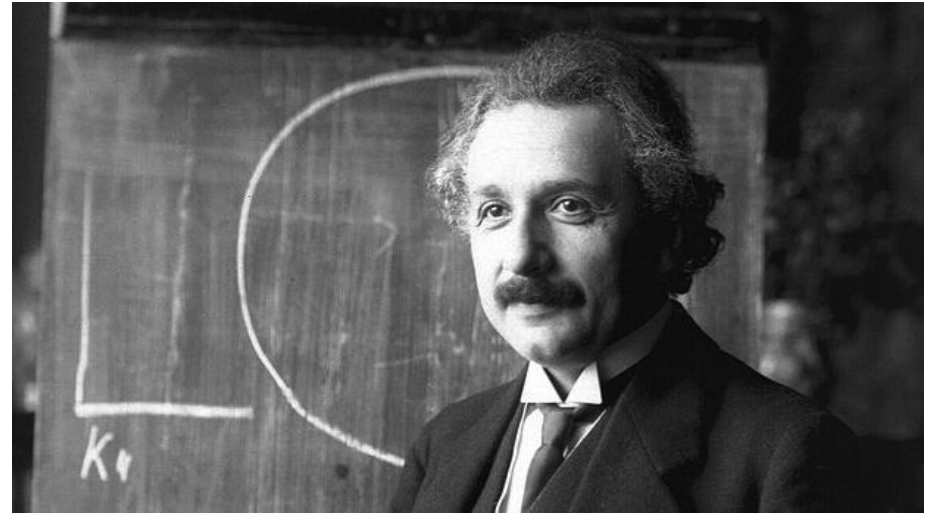
La situation à la fin du XIX^e siècle

- Relativité newtonienne: les lois de la physique sont identiques pour tout observateur se déplaçant à vitesse uniforme
- Electromagnétisme et équations de Maxwell

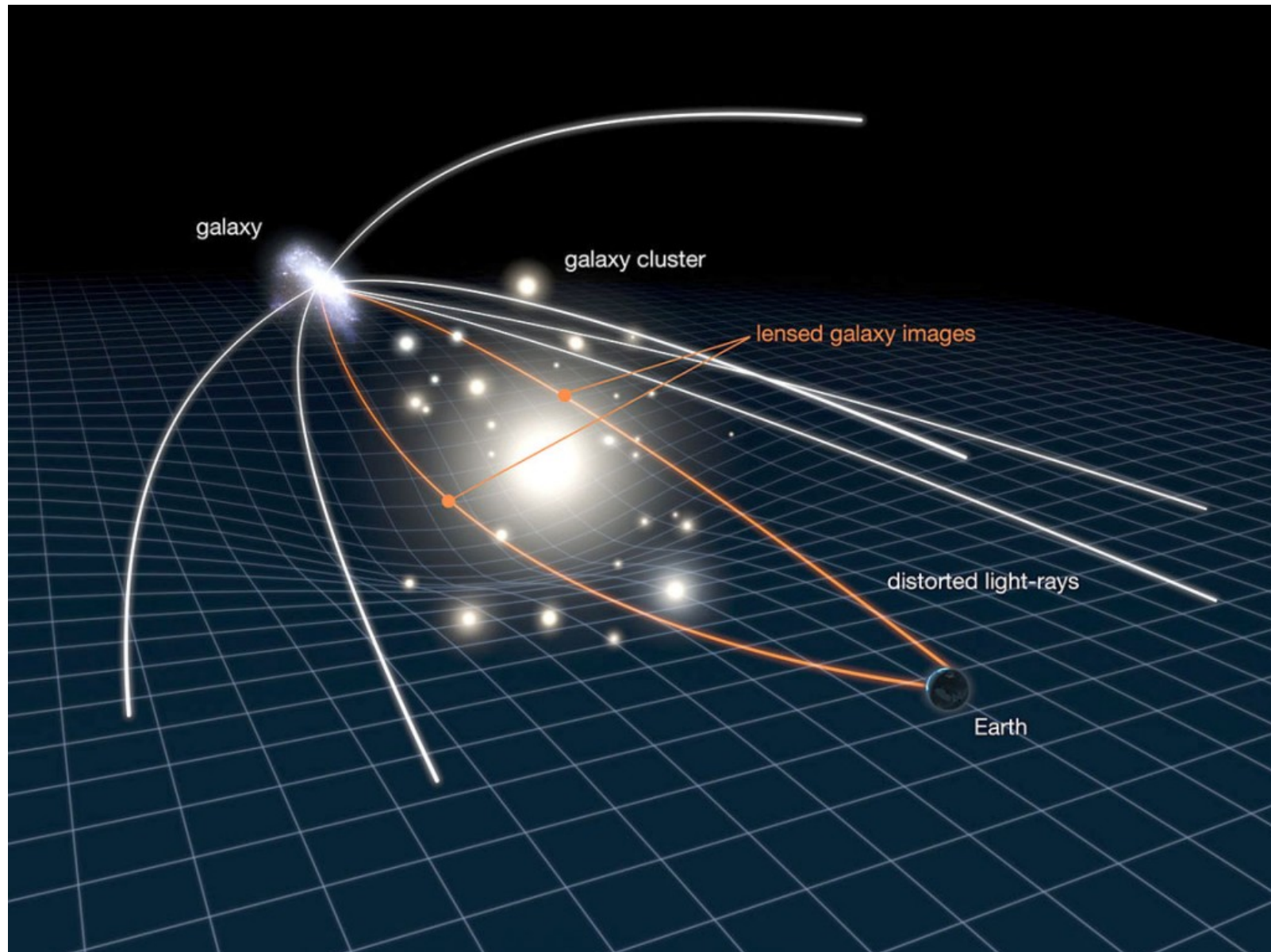
Einstein: 1879-1955

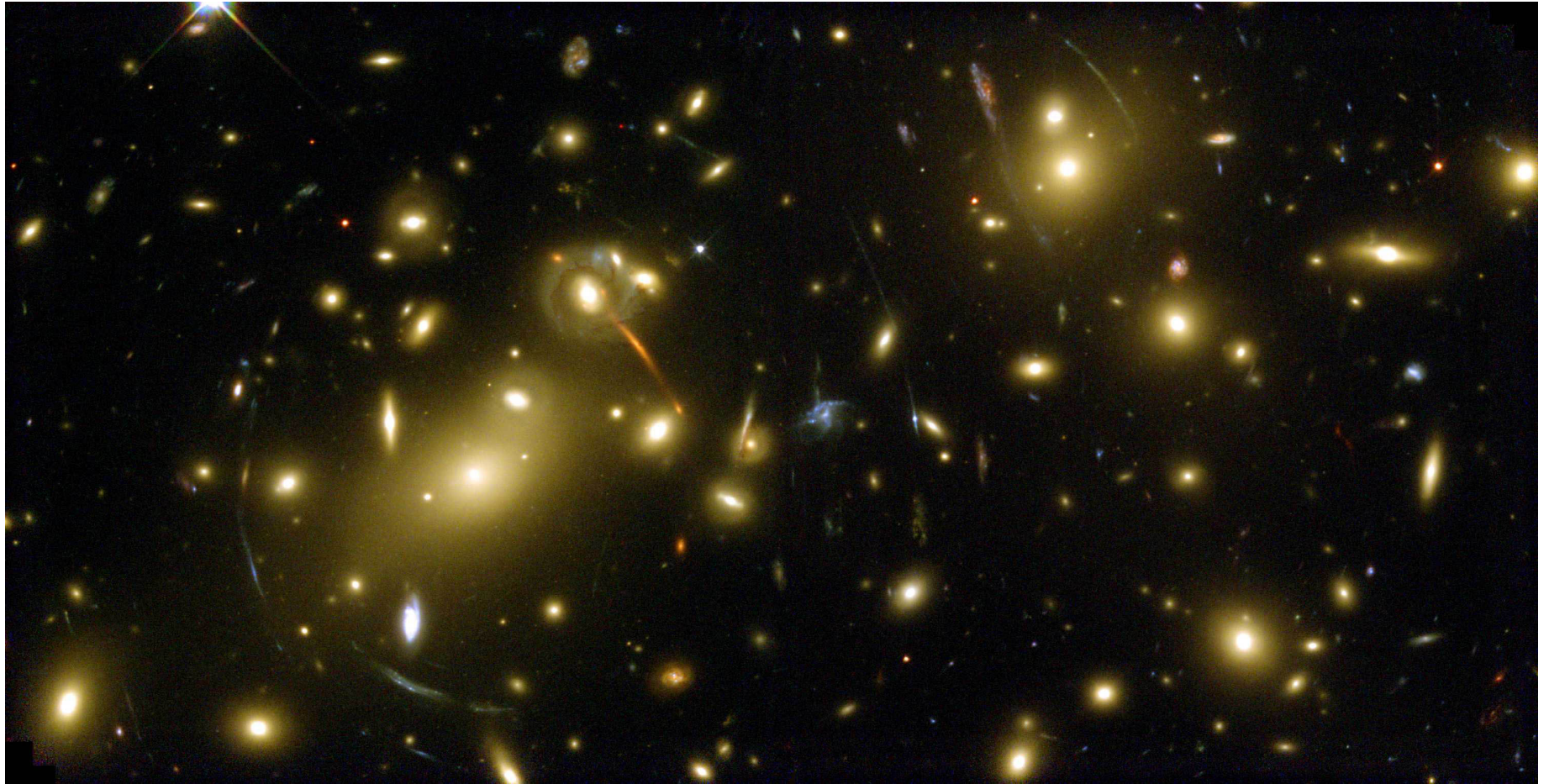
C'est Einstein qui, par ses deux théories de la relativité, a résolu le problème, en bouleversant la physique:

- la masse et le temps varient avec la vitesse
- la gravité courbe l'espace
- il doit exister des ondes gravitationnelles



Lentilles gravitationnelles





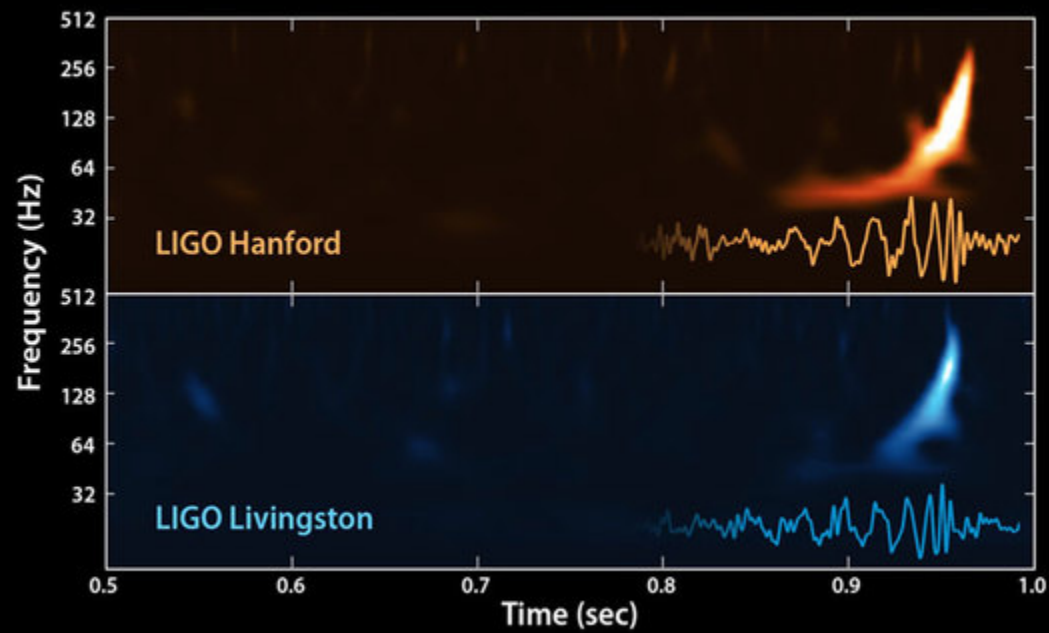
Abell 2218

Ondes gravitationnelles

LIGO est un ensemble d'interféromètres destiné à détecter les ondes gravitationnelles.



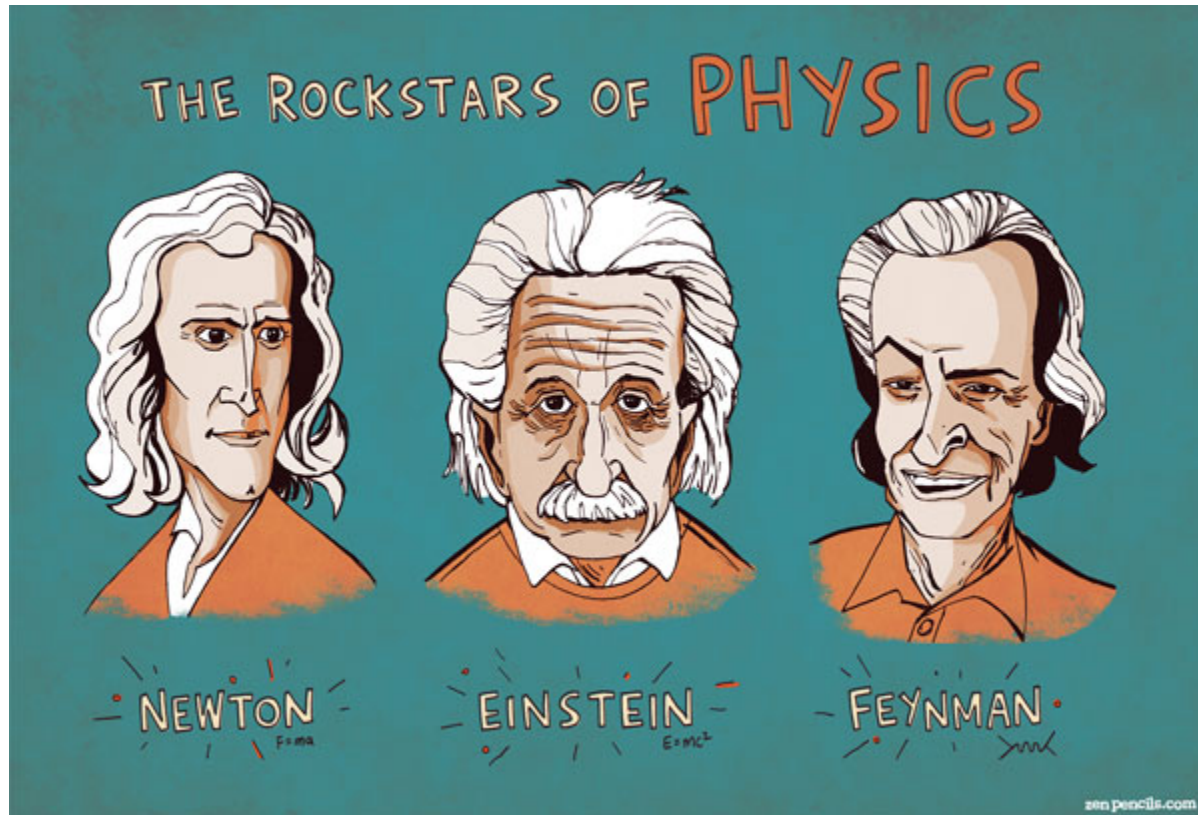
La détection du 14 septembre 2015



Résumé

Nous avons décrit les diverses formes de rayonnement électromagnétique, la longueur d'onde et la fréquence, les deux modes principaux d'émission de lumière, le décalage vers le rouge, et nous avons évoqué la théorie de l'éther, maintenant abandonnée, puis nous avons décrit l'action de la gravité, les orbites, la microgravité et l'effondrement gravitationnel, et enfin l'expérience LIGO de détection des ondes gravitationnelles.

Références



- Isaac Newton - Principia Mathematica
- The collected papers of Albert Einstein
- Cours de physique de Richard Feynman