

Expansion de l'Univers

Ricardo Moreno, Susana Deustua, Rosa M. Ros

Union Astronomique Internationale, École Retamar (Madrid, Espagne), Space Telescope Science Institute, (Baltimore, États-Unis), Université Polytechnique de Catalogne (Barcelone, Espagne)

Résumé

Cet atelier regroupe plusieurs activités simples à faire dans lesquelles nous allons travailler avec les concepts clés de l'univers en expansion. Dans la première activité, nous construisons un spectroscopie pour observer les spectres de gaz. Au deuxième, au troisième et au quatrième, nous expérimentons qualitativement avec l'expansion d'une bande de caoutchouc, d'un ballon et d'une surface de points, respectivement. Dans la cinquième activité, nous travaillons quantitativement sur l'expansion d'une surface et nous calculons la constante Hubble dans ce cas. Dans la sixième activité, nous détectons le rayonnement du fond micro-ondes.

Objectifs

- Comprendre l'expansion de l'Univers.
- Comprendre qu'il n'y a pas de centre de l'Univers.
- Comprendre la loi de Hubble.
- Comprendre la signification de la matière noire et simuler la lentille gravitationnelle

L'origine de l'Univers

La théorie de l'origine de l'univers qui est la plus acceptée aujourd'hui est connue sous le nom de Big Bang, une énorme explosion qui a commencé une expansion de l'espace lui-même. Il n'y a pas de galaxies qui se déplacent dans l'espace, mais c'est l'espace entre elles qui se développe, traînant les galaxies. Pour cette raison, nous ne pouvons pas parler d'un centre de l'univers, car de la même façon il est impossible de parler d'un pays qui se trouve au centre de la surface terrestre.

La vitesse de récession d'une galaxie est proportionnelle à sa distance. La constante qui les relie est appelée constante de Hubble. La loi de Hubble relie linéairement la distance d'une galaxie à la vitesse avec laquelle elle s'éloigne.

La première vérification du Big Bang a été faite avec l'observation des décalages vers le rouge dans les spectres des galaxies, et la preuve finale de la théorie du Big Bang a été la détection du fond cosmique de micro-ondes.

Décalage vers le rouge

Si au laboratoire on regarde avec un spectroscopie la lumière provenant d'un gaz chaud, par ex. Hydrogène, on verra des raies colorées typiques de ce gaz à une longueur d'onde déterminée. Si nous faisons de même avec la lumière provenant d'une galaxie distante, nous verrons ces raies légèrement déplacées (figure 1). On l'appelle : "décalage vers le rouge" (redshift), car dans la plupart des galaxies, les raies se déplacent vers cette couleur.

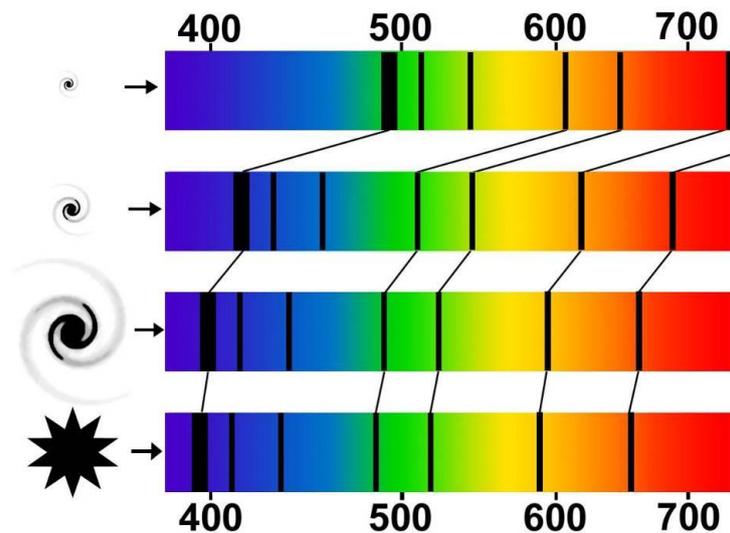


Fig.1: Plus la galaxie est éloignée, plus le spectre se décale vers le rouge, ce qui nous montre que la galaxie s'éloigne de nous plus rapidement.

Le décalage spectral de la lumière est due à la fuite de la galaxie loin de nous. Ce processus est semblable à ce qui se passe quand elle se déplace d'abord vers nous, puis loin de nous. Le bruit change plus le changement (décalage) est grand, plus la vitesse est grande.

En étudiant le spectre des galaxies de notre groupe local, nous constatons que le grand nuage de Magellan s'éloigne de nous à 13 km / s et que le petit recule à environ 30 km / s. Andromède se déplace environ 60 km / s vers nous, tandis que M 32 (l'un de ses satellites) recule à 21 km / s. En d'autres termes, les galaxies voisines ont des mouvements relatifs petits et irréguliers.

Mais si on regarde le groupe de la Vierge, à une distance moyenne de 50 millions d'années-lumière, nous voyons que toutes s'éloignent de nous à des vitesses comprises entre 1000 et 2000 km / s. Et dans le superamas des cheveux de Berenice à 300 millions d'années lumières de nous , les taux de vitesse sont entre 7000 et 8500 km / s. Mais en regardant dans la direction opposée, nous constatons que M 74 recule de nous à 800 km / s et M 77 à 1130 km / s. Et si on regarde les galaxies de plus en plus éloignées, la vitesse de récession est encore plus grande: NGC 375 se déplace à 6200 km / s, NGC 562 à 10 500 km / s et NGC 326 à 14 500 km / s. Toutes les galaxies, sauf les très proches, s'éloignent de nous. Est-ce qu'elles sont en colère contre nous?

Activité 1: Effet Doppler

Selon l'effet Doppler, la longueur d'onde d'un son varie lorsque la source se déplace. Nous l'expérimentons au son de motos ou de voitures dans une course: le son est différent quand il s'approche et s'éloigne de nous. D'autres exemples familiers sont un camion de pompier qui passe près de nous, le sifflet d'un train en mouvement, etc.

Vous pouvez le reproduire en tournant sur un plan horizontal, une sonnerie, par exemple, un réveil. Nous le mettons dans un sac en tissu (figure 2a) et attachons-le avec une ficelle. Lorsque nous le tournons autour de nos têtes (figure 2b), nous pouvons l'entendre quand il s'approche du spectateur: l est raccourci et le son est plus élevé. Quand il s'éloigne de nous, le l est étiré et le son est plus bas. Celui qui se trouve au centre de la rotation ne perçoit pas ces différences.



Fig. 2a: Réveil, sac et corde.



Fig. 2b: Les spectateurs d'un côté remarquent les différences dans la sonnerie

C'est l'effet Doppler dû au déplacement. Mais ce n'est pas celui que les galaxies ont avec l'expansion. Les galaxies ne se déplacent pas dans l'espace, c'est l'espace entre elles qui enflé.

Activité 2: L'étirement des photons

Lorsqu'il s'élargit, l'Univers "étire" les photons. Plus la durée du voyage du photon est longue, plus il y a d'étirement. Vous pouvez fabriquer un modèle de cet étirement avec un câble semi-rigide, utilisé dans les installations électriques des maisons. Couper environ un mètre de câble et le plier à la main en faisant plusieurs cycles d'une sinusoïde, représentant diverses ondes (figure 3a). Prenez le câble avec les deux mains et étirez (figure 3b) et observez que la longueur d'onde augmente, comme cela se produit dans le rayonnement provenant d'une galaxie. Les parties plus éloignées de nous ont eu plus de temps pour se dilater et se déplacer plus loin dans le rouge (λ plus grand).

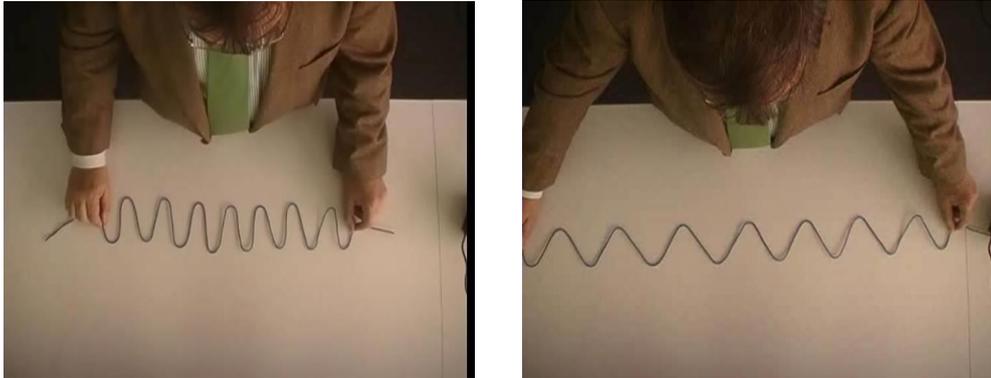


Fig. 3a: ondes faites avec un câble rigide. Fig. 3b: Les mêmes ondes affichent une plus longue longueur d'onde

Loi de Hubble

C'est Edwin Hubble (figure 4) qui, en s'appuyant sur ces données, a établi en 1930 la loi qui porte son nom: plus la galaxie est distante de nous, plus elle est rapide. Cela indique que l'univers se développe dans toutes les directions, de sorte que tous les corps qui s'y trouvent reculent l'un de l'autre. Le mouvement d'éloignement que nous voyons pour toutes les galaxies ne signifie pas que nous sommes au milieu d'elles: un alien aurait la même impression de n'importe où dans l'univers, comme cela se produit dans une explosion de feux d'artifice: toutes les particules légères seront écartées par l'explosion de la poudre à canon.

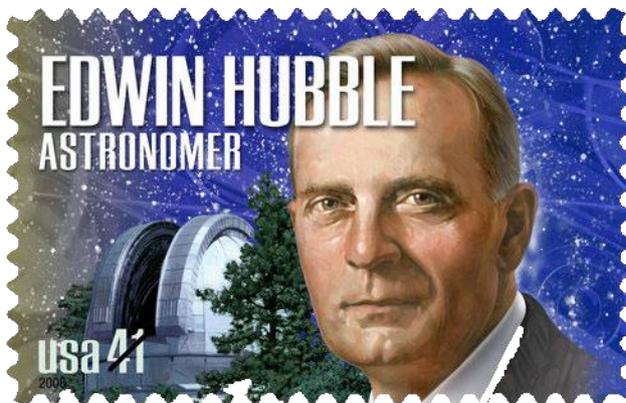


Fig.4: Edwin Hubble

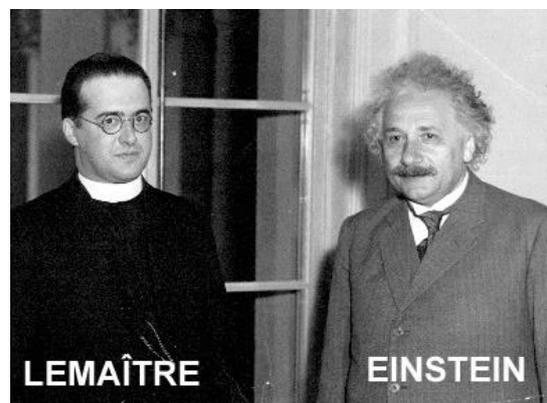


Fig. 5: George Lemaître et Albert Einstein

Cependant, le modèle réel n'est pas une galaxie qui traverse l'espace, mais c'est l'espace entre celles-ci qui subit une expansion, entraînant les galaxies.

Si l'espace se développe dans toutes les directions, cela signifie que, en retournant dans le passé, la matière devrait être regroupée à un moment initial où tout a commencé.

C'est ainsi que le prêtre et l'astronome belge George Lemaître (figure 5) a établi le modèle de l'Univers le plus largement accepté aujourd'hui: il y aurait eu une grande explosion originale, mais qui n'est pas terminée et nous concerne encore. Dans cette expansion, c'est l'espace lui-même qui se développe. Pour comprendre cela, imaginez un ballon en caoutchouc avec une série de points dessinés sur sa surface, représentant des galaxies (figure 6). Au fur et à mesure qu'il augmente, l'espace élastique entre les taches augmente. De même, au fur et à mesure que le temps passe, l'espace se développera, et la matière contenue elle-même se séparera.

Par conséquent, la vitesse de récession d'une galaxie et sa distance nous semble être proportionnelle. La constante qui les relie est appelée constante Hubble. La loi de Hubble relie la distance d'une galaxie à la vitesse avec laquelle elle s'éloigne:

$$v=H \cdot d$$

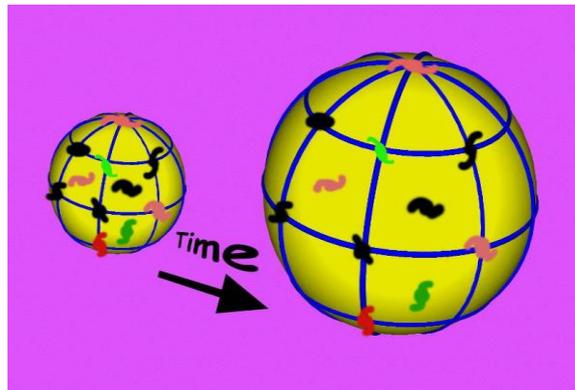


Fig. 6: Au fur et à mesure que le temps passe, l'espace s'élargit, et le matériel qui s'y trouve se sépare les uns des autres

On peut déterminer approximativement sa valeur en connaissant la vitesse et la distance de certaines galaxies. La vitesse à laquelle une galaxie s'éloigne est facile à mesurer avec précision par le décalage vers le rouge, mais la mesure de la distance, surtout dans le cas des galaxies plus éloignées, est plus difficile. Les scientifiques ne s'entendent pas sur la valeur de la constante de Hubble. En utilisant une méthode ou une autre, les valeurs qui en résultent se situent généralement entre 50 et 100 km / s par Megaparsec. La valeur actuellement acceptée est d'environ 70~100 km / s, ce qui indique que l'âge de l'Univers est de 13 700 millions d'années.

Activité 3: L'univers en élastique

Edwin Hubble a découvert que toutes les galaxies s'éloignent. Plus elles sont éloignées, plus vite elles le font. La loi de Hubble stipule que la vitesse de récession d'une galaxie par rapport à nous est proportionnelle à sa distance. C'est une conséquence logique de l'univers en expansion. Et bien que toutes les galaxies s'éloignent de nous, cela ne signifie pas que nous sommes le centre de l'univers.

Avec un marqueur, faites une marque tous les centimètres sur une bande élastique. Chaque marque représente une galaxie (A, B, C, ...). Notre galaxie sera la première. Placez le ruban à côté de la règle (figure 7a), et permettez à notre galaxie de coïncider avec la marque de 0 cm. Les autres galaxies A, B, C, ... coïncident avec les marques 1, 2, 3, 4 ... cm.

Étirez la bande de caoutchouc (figure 7b) afin que notre galaxie reste à la marque de 0 cm et que la galaxie (A) suivante soit placée sur la marque de 2 cm. La distance de cette galaxie à la nôtre a doublé. Qu'est-il arrivé à la distance entre les autres galaxies B, C, D et la nôtre? Ont-elles aussi doublé?



Fig. 7a: bande en caoutchouc sans étirement.



Fig. 7b: bande élastique étirée.

Supposons que le temps consacré à l'étirement du caoutchouc était de 1 sec. Les taux de recul des autres galaxies sont-ils identiques, ou certains se déplacent plus vite que d'autres? Comment un habitant de la la plus proche "galaxie" voit-il notre galaxie et les autres galaxies? Sont - elles toutes éloignées ?

Activité 4: L'univers dans un ballon

Dans l'univers en expansion, il existe un espace entre les galaxies qui s'étend. Les galaxies elles-mêmes ne se s'étendent pas, ni nos maisons. Ce qui est étroitement lié par la gravité n'augmente pas de taille.



Fig. 8a: Des morceaux de coton collés à un ballon légèrement gonflé



Fig. 8b: les morceaux de coton s'éloignent lorsque le ballon est plus gonflé

Il y a une expérience simple qui peut démontrer cela. Il suffit d'utiliser un ballon et de le gonfler un peu au début. Ensuite, collez quelques morceaux de coton sur la surface avec du ruban adhésif (les pièces de monnaie fonctionnent également). Ensuite, gonflez le ballon jusqu'à ce qu'il soit plein. Les morceaux de coton seront séparés l'un de l'autre (figures 8a et 8b). Certains semblent aller plus loin que d'autres, mais aucun ne se rapproche. C'est un modèle très simple de l'univers en expansion.

Activité 5: Calcul de la constante de Hubble

La loi de Hubble dit que la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à sa distance de nous: $v = H \cdot d$. La constante H est appelée constante Hubble, et vous pouvez la calculer en utilisant les distances et les vitesses de certaines galaxies. De la formule ci-dessus:

$$H = \frac{v}{d}$$

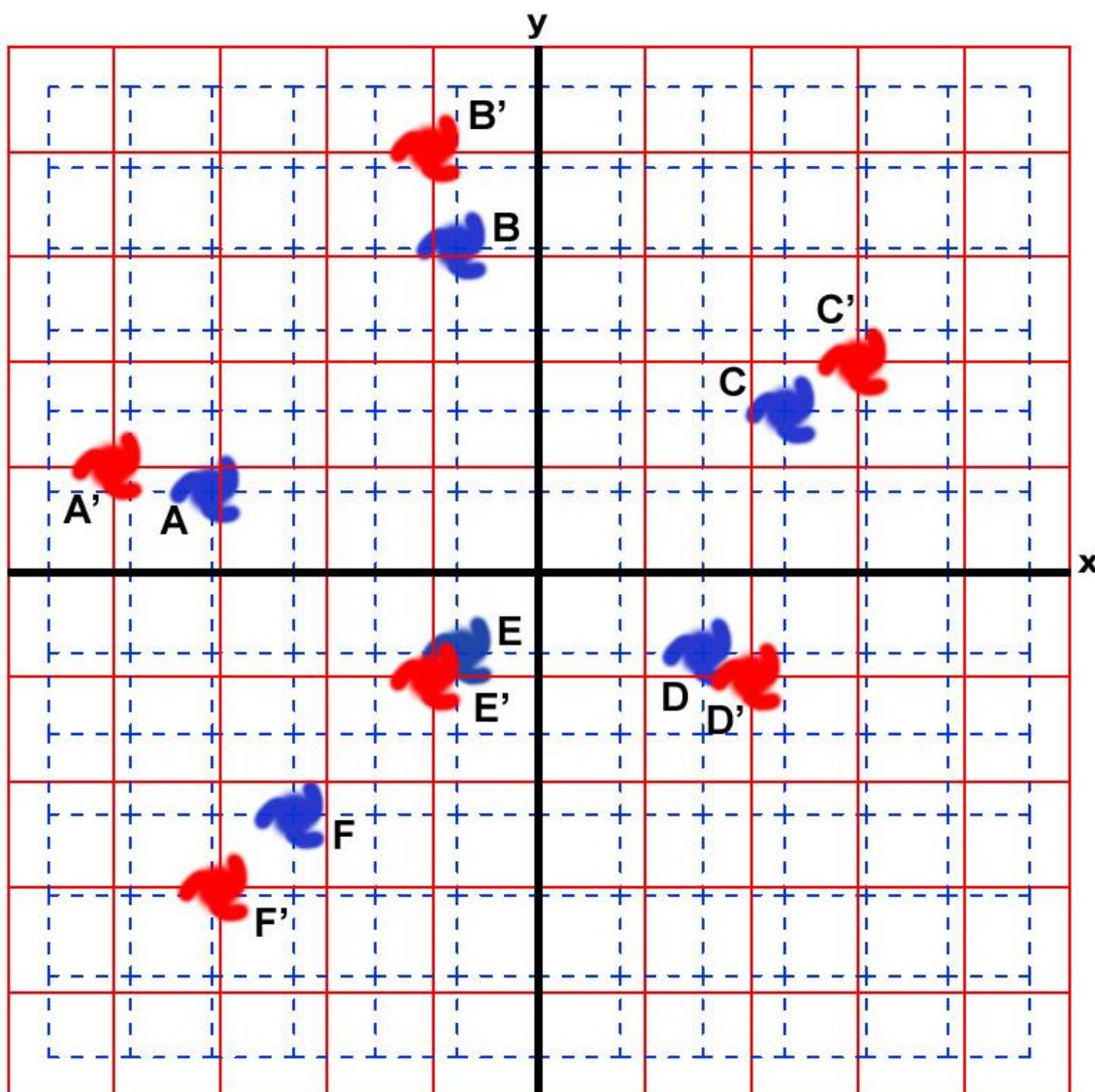


Fig 9: La grille des lignes continues (rouges) est identique à celle des lignes pointillées (bleues) mais élargie. Les galaxies sont attachées aux grilles.

Le schéma de la figure 9 montre l'espace, représenté par une grille bleue de lignes pointillées, avec nous au centre et plusieurs galaxies bleues à une certaine distance de nous. Après un certain temps, environ 10 secondes, l'espace s'est développé : la grille (en lignes solides) et les galaxies sont alors représentées en rouge.

Galaxia	Coordenadas <i>x,y</i>	<i>d</i> =distancia al origen	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

Tableau 1: avec les coordonnées écrites comme exemple

Galaxie	Coordonnées <i>x,y</i>	<i>d</i> = distance à l'origine	Δd	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

Tableau 2: à compléter avec les données de la figure 9.

Remplissez le tableau 1 sous le dessin. Dans chaque rangée, mettez les données de chaque galaxie. Par exemple, les coordonnées sont calculées avec les carrés bleus (lignes pointillées) ou rouges (lignes pleines) comme galaxie A ou A' respectivement, et la distance d est obtenue en mesurant la longueur en centimètres avec une règle, en commençant au centre de Notre galaxie. Les données de la colonne Δd doivent être obtenues en soustrayant la distance de A' et A. Dans la dernière colonne, nous devons utiliser la distance avant l'expansion (p. Ex. A, non A') dans le dénominateur:

- a) Les coordonnées de chaque galaxie ne varient pas avec l'expansion (les galaxies ne se déplacent pas dans l'espace).
- b) La valeur de H est assez constante indépendamment des galaxies.

Le Big Bang

À l'heure actuelle, la théorie de l'origine de l'univers comme une énorme explosion est largement acceptée dans la communauté scientifique, bien qu'il y ait ceux qui doutent et estiment qu'il reste encore des détails inexplicables. En 1994, le magazine américain *Sky & Telescope* a émis un concours pour renommer cette théorie. 12 000 soumissions ont été reçues, mais aucune n'a pu supplanter celle qui existait déjà: la théorie du Big Bang. Le nom avait été choisi comme une plaisanterie un peu dénigrante par l'astronome Fred Hoyle, qui, avec un certain à-priori anti-religieux, pensait que ce nom évoquait beaucoup trop l'idée d'un Créateur.

Avec l'observation d'un univers en expansion, on montre qu'en remontant le temps il y avait un instant où l'explosion s'est produite, donnant lieu à l'espace et au temps tel que nous le connaissons maintenant. Nous pouvons nous demander comment cela s'est produit et pourquoi cela s'est produit. La science n'a pas de réponses parce que celle-ci ne fonctionne qu'avec ce qui existe déjà. La science peut essayer d'expliquer comment les choses ont fonctionné lors du Big Bang, mais pas pourquoi la matière existe. Ce genre de question s'adresse aux philosophes, qui étudient la méta-physique (au-delà de la physique).

Certaines tentatives pour expliquer la cause en recourant à certains concepts physiques tels que les fluctuations quantiques du vide confondent le vide et le rien: le vide quantique existe, il a de l'espace et de l'énergie. Le concept de rien, c'est-à-dire l'absence de toute existence, y compris l'espace, n'est pas scientifique, c'est métaphysique. Dans le rien, rien ne peut exister et fluctuer. D'autres théories parlent de multi-univers mais, par définition, cela est impossible à vérifier (si nous pouvions observer d'autres univers, ils feraient partie du nôtre, car notre univers est l'ensemble de la matière qui est à notre portée de quelque manière que ce soit). Pour cette raison, toutes ces théories ne sont pas vraiment scientifiques.

Mais revenons à la science. À l'instant initial, toute la matière et toute l'énergie étaient infiniment petites et denses. Le Big Bang a été l'explosion de l'espace au début des temps, et à partir de ce moment, la question est devenue opérationnelle, avec des lois qui ont été écrites, et qui ont conduit l'univers à l'état actuel.

Activité 6: il n'y a pas de centre d'expansion

Sur la page suivante figure un dessin (figure 10) avec de nombreux points qui simulent des galaxies à un moment donné. Créez d'abord une copie sur du papier transparent, puis une autre sur un papier transparent différent, légèrement agrandi (par exemple, 105%).

Si on superpose les deux images avec un rétroprojecteur (figure 11a), nous obtenons une image qui représente l'expansion de l'espace au fil du temps: associez les images en un point, et vous pouvez très bien observer le déplacement de tous les points radiaux. Plus vous êtes loin du point de coïncidence, plus il semble que les points s'éloignent plus vite.

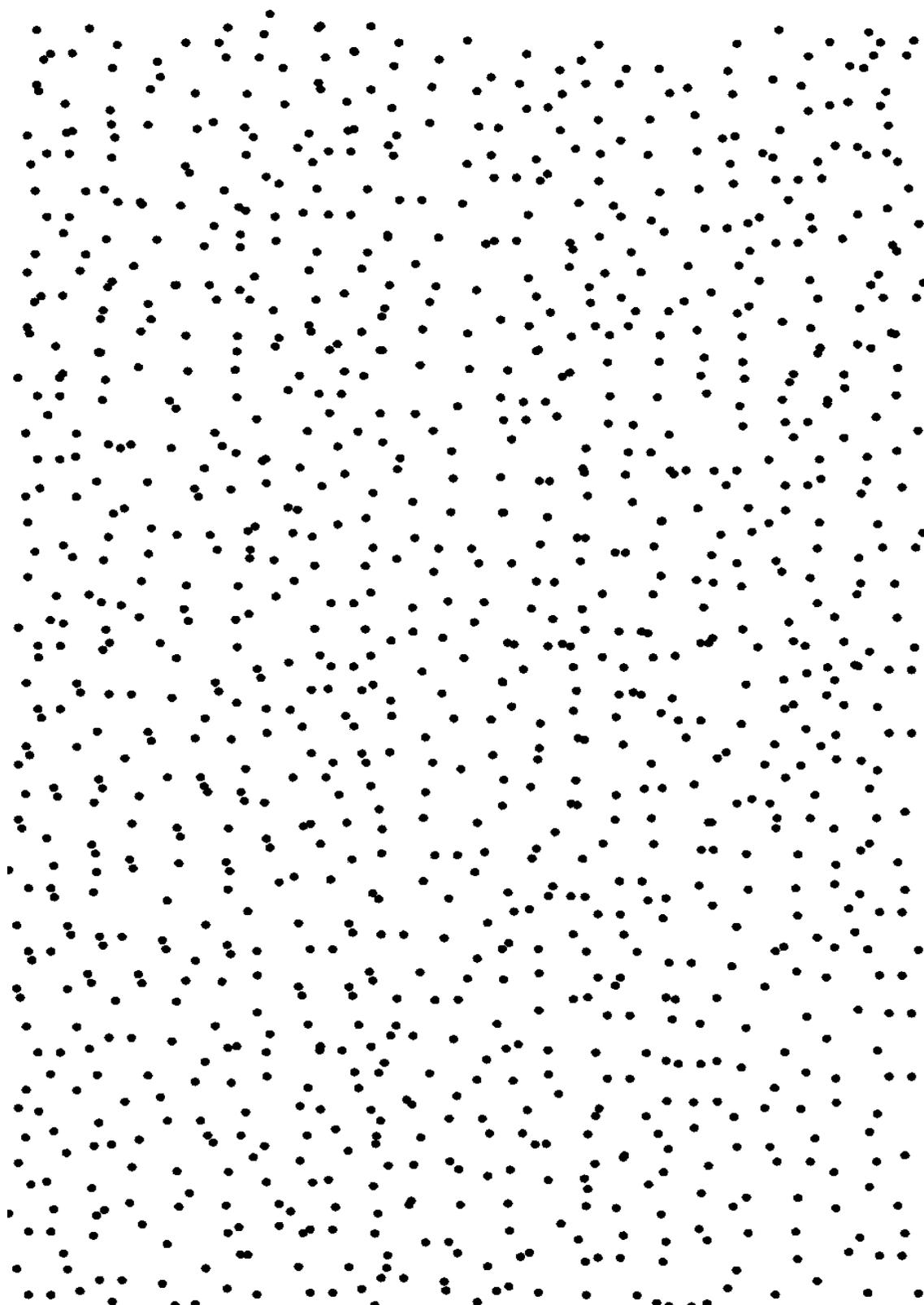


Fig. 10: photocopiez cette page sur un transparent, puis agrandissez une autre à 105%

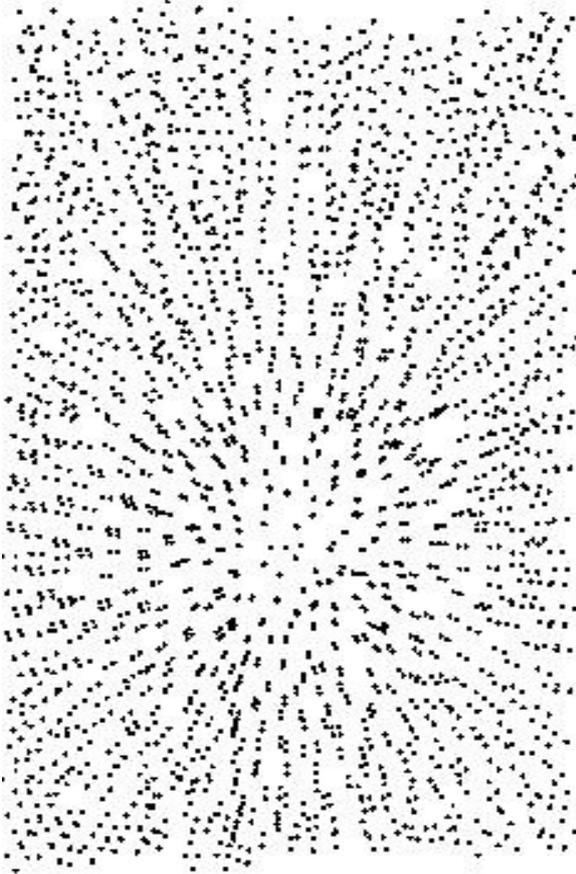


Fig. 11^a: Superposition de deux diapositives, l'une augmentée de 105%.

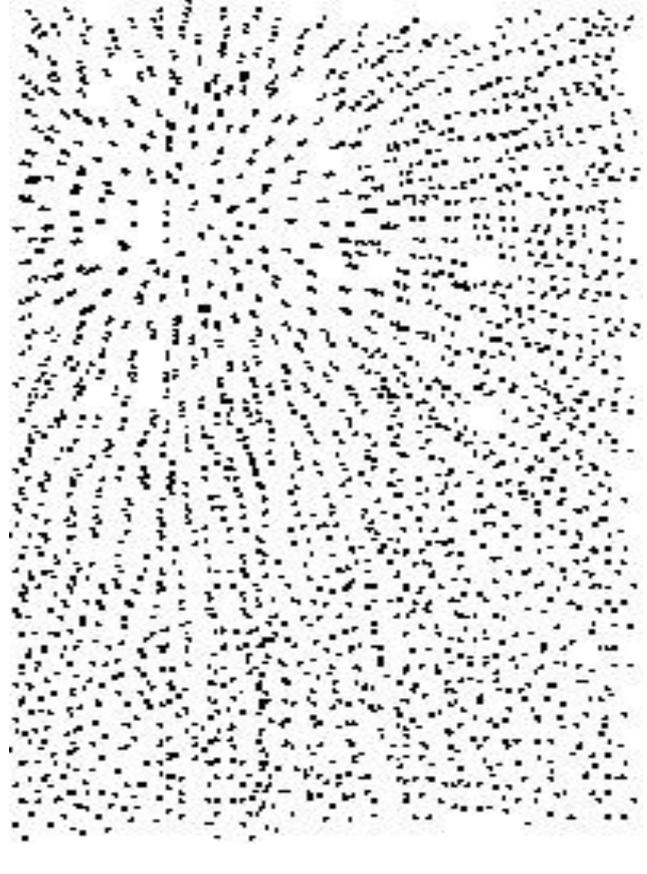


Fig. 11^b: Pour un observateur dans un autre point, il semble que tout s'éloigne de lui: il n'y a pas de centre de l'univers

Mais si la correspondance est choisie à un autre point (figure 11b), c'est la même chose que ce que l'on observe. De notre galaxie, nous voyons que toutes les galaxies s'éloignent de nous, mais cela est vrai quelque soit où se situe l'observateur. Nous pensons que nous sommes au centre de l'univers, mais nous ne le sommes pas, en tant qu'observateur dans une autre galaxie il verrait la même chose et cela semblerait être au centre. Il n'y a vraiment aucun centre.

Développement de l'Univers

Pour avoir une idée de l'histoire ultérieure de l'univers, supposons que tout le temps depuis le Big Bang est comprimé en un an du 1er janvier au 31 décembre (voir la figure 12).

En avril, notre Voie lactée a été formée. En août, le soleil s'est formé, et la Terre était sphérique vers la fin du mois. Mais ce n'est qu'en octobre que l'oxygène est apparu dans notre atmosphère. Bien que des cellules vivantes très simples apparaissent sur Terre immédiatement, les cellules nucléées apparaissent le 2 décembre et le 12 décembre, les

premiers organismes multicellulaires sont présents. Le 19, le premier poisson apparaît, tout comme les plantes, les insectes et les amphibiens, du 21 au 22. Le 25, les dinosaures apparaissent, jusqu'au 28 du mois. Le 30, les mammifères vivent sur Terre, mais ce n'est que le 31 décembre, à 23 heures, c'est l'homme qui apparaît. À 11h57, l'homme de Néanderthal a disparu, et la peinture des grottes d'Altamira a eu lieu à la dernière minute. Cinq secondes avant minuit, Jésus-Christ est né. Le siècle dernier correspond au deux derniers dixièmes de seconde.

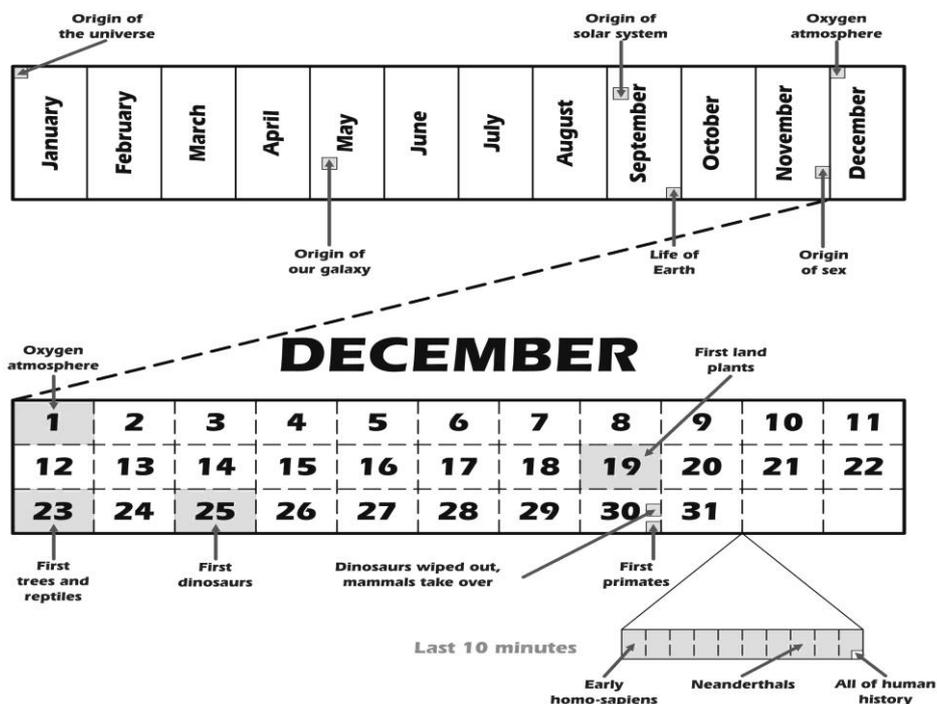


Fig.12: Le calendrier cosmique. L'histoire de l'Univers a été compressée à un an. Toute l'histoire enregistrée (civilisation humaine) se produit au cours des 21 dernières secondes.

Radiation du fond cosmique micro-ondes

Au début, à des températures très élevées, les quatre forces que nous connaissons maintenant étaient unifiées. La force de gravitation, la force électromagnétique, les forces nucléaires fortes et faibles (les deux derniers n'agissent que dans les atomes) étaient unies. Ensuite, elles se sont séparées et ont formé des photons, des électrons, des protons et d'autres particules élémentaires. Alors que l'univers se développe, il devient plus froid. Après 300 000 ans, la température a chuté assez pour permettre la formation d'atomes, principalement de l'hydrogène et de l'hélium. La densité a diminué, et les photons sont devenus libres de se déplacer dans toutes les directions: il y avait de la lumière. Les scientifiques disent que l'univers est devenu transparent.

Ces photons parcourent maintenant l'espace, bien qu'il soit refroidi, de sorte que la longueur d'onde a considérablement augmenté (figure 13), et ils deviennent des photons beaucoup plus froids, qui transmettent une énergie de seulement 2,7 degrés Kelvin. C'est ce qu'on appelle le fond de micro-ondes cosmique ou CMB.

Ce rayonnement de fond a d'abord été détecté en 1964 par Penzias et Wilson aux États-Unis. Ils essayaient d'éliminer tout le bruit dans leur radiotélescope lorsqu'ils ont capté une émission de longueur d'onde de 7,35 cm qui s'est révélée être toujours présente, quel que soit l'endroit où l'énorme antenne pointait. Ils ont passé en revue toute l'installation et ont même pensé que certains oiseaux qui nichaient dans l'antenne pourraient être la cause du problème, mais ils n'ont pas pu éliminer ce bruit de fond. Ils ont conclu qu'il venait d'un émetteur, qui avait une température de 2,7 Kelvin - la température actuelle de l'univers - et n'était pas dans un endroit particulier.

C'était l'univers lui-même qui émettait ce rayonnement de fond, une relique du Big Bang. Tout le monde peut le détecter avec un téléviseur analogique sur un canal gratuit: environ un point sur dix que vous voyez à l'écran provient de ce rayonnement de fond. Ces émissions sont dans le domaine des micro-ondes, semblables aux fours domestiques, mais avec très peu d'énergie: il ne pourrait chauffer la nourriture que de 2,7 K.



Fig. 13: Au fur et à mesure que l'espace s'élargit, les photons se développent en longueur d'onde. C'est le rayonnement du fond micro-ondes..

Bien que ce rayonnement soit remarquablement uniforme, G. Smoot, R. Mather et ses collègues ont pu voir de très légères variations dans les mesures effectuées par le satellite COBE (figure 14a), à l'ordre du millionième d'un degré. Simultanément, ces fluctuations ont été détectées à partir du sol dans l'expérience de Tenerife à l'Institut d'Astrophysique des Îles Canaries. Et en 2001, la NASA a lancé le télescope WMAP pour étudier le rayonnement de fond avec beaucoup plus de résolution (figure 14b).

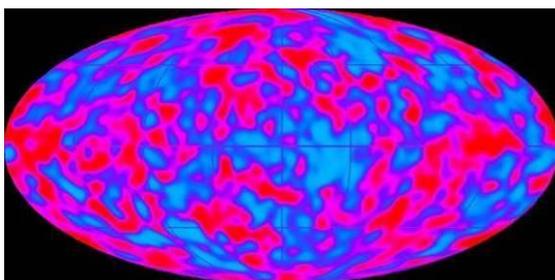


Fig. 14a: Image COBE

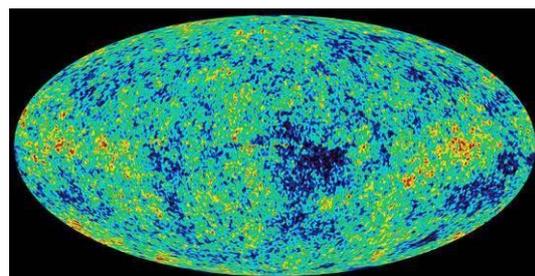


Fig. 14b: Image WMAP

Bien que petites, ces variations sont les empreintes de morceaux de matière à partir desquels les galaxies ont commencé à se former. Nous ne savons pas ce qui a causé ces fluctuations de densité. Ce que nous pouvons dire, c'est que les «rides» se sont produites dans cette zone, et la condensation a commencé à se produire dans les proto-galaxies seulement quelques centaines de millions d'années après le Big Bang. Presque simultanément, les premières étoiles se sont formées dans ces premières galaxies.

Activité 7: Détection du rayonnement de fond cosmique micro-ondes

Environ 300 000 ans après le Big Bang, les photons ont été séparés de la matière et ont commencé à voyager librement dans l'univers. Lorsque l'espace s'est développé, ces photons ont augmenté leur longueur d'onde. Maintenant, nous estimons qu'ils ont une longueur d'onde d'environ 2 mm, ce qui correspond à la zone des micro-ondes, et est équivalent à celui émis par un corps noir qui sont à 2,7 degrés Kelvin. Penzias et Wilson, en 1964 ont d'abord détecté le rayonnement de fond cosmique de micro-ondes, un rayonnement relique qui vient très uniformément de toutes les directions. Le satellite COBE (figure 14a) et plus tard le WMAP (figure 14b) ont effectué une mesure très précise de ce rayonnement dans toutes les directions, détectant de minuscules variations d'une région à l'autre, correspondant à ce qui était alors des grappes de galaxies.

Nous pouvons également détecter ce rayonnement de fond avec un téléviseur simple (figure 15). Pour ce faire, régler le téléviseur sur un canal vide analogique. L'image est composée d'une multitude de points en constante évolution. Environ 10%, c'est-à-dire qu'un sur dix provient du rayonnement de fond de l'univers.



Fig 15: Certains des points d'un écran de télévision analogique sans connexion provient du fond micro-ondes.

Pourquoi la nuit est sombre?

C'était le titre d'un article intéressant que l'allemand Heinrich Olbers ait publié en 1823. Auparavant, en 1610, Kepler considéré ce fait comme une preuve que l'univers ne pouvait pas être infini. Edmund Halley, un siècle plus tard, a remarqué des zones particulièrement

lumineuses dans le ciel et a suggéré que le ciel n'est pas uniformément brillant durant la nuit car, même si l'univers est infini, les étoiles ne sont pas uniformément réparties. L'écrivain Edgar Allan Poe (1809-49), a aussi écrit sur le sujet. Cependant, le problème est rentré dans l'histoire comme étant le paradoxe d'Olbers.



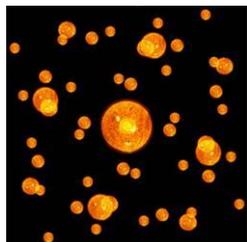
Fig. 16a: Johannes Kepler, Fig. 16b: Edmund Halley, Fig. 16c: Heinrich Olbers y Fig. 16d: Edgar Allan Poe

La réponse pourrait sembler être banale, mais certainement pas après avoir lu l'article d'Olbers. Le raisonnement d'Olbers conduit en effet à la conclusion paradoxale que le ciel nocturne devrait être aussi brillant que le jour le plus lumineux. Voyons le raisonnement.

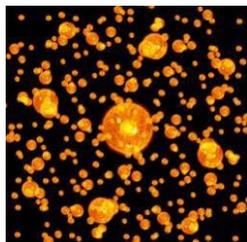
Le raisonnement d'Olbers reposait sur les principes suivants:

- 1.- L'Univers est infini en distance.
- 2.- Les étoiles sont réparties de manière plus ou moins uniforme dans tout l'univers.
- 3.- Toutes les étoiles ont une luminosité moyenne similaire à travers l'univers.

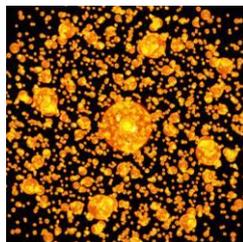
Regardez l'univers à partir de la Terre. Supposons une première coquille sphérique d'étoiles dans le ciel à une distance R_1 . Le nombre d'étoiles qu'il contient sera N_1 . Supposons une seconde enveloppe sphérique à une distance supérieure à R_2 . Chacune de ses étoiles éclairera la Terre beaucoup moins, mais la couche est plus grande et contient plus d'étoiles. Selon le principe selon lequel l'intensité de la lumière diminue proportionnellement à $1/R^2$ et diminue proportionnellement à la surface de la couche. On en déduit que le nombre d'étoiles augmente comme R^2 . La conclusion est que la deuxième couche illumine la Terre autant que la première. Et selon le principe n° 1, il existe une infinité de couche, donc la conclusion est que le ciel devrait apparaître brillant la nuit.



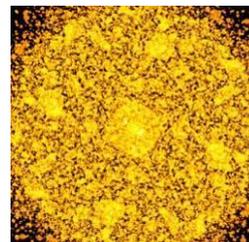
La lumière provenant des étoiles voisines



Mais il y a aussi d'autres étoiles qui nous envoient leur lumière



Plus loin, plus d'étoiles



De n'importe quel point du ciel, nous devons atteindre la lumière d'une étoile

Fig. 17: par wikimedia commons

Une autre façon de le dire: si nous observons le ciel nocturne, où il y a d'innombrables étoiles, notre œil devrait toujours voir la surface d'une étoile, et donc un endroit lumineux. Cela est vrai pour n'importe quel endroit du ciel qui devrait apparaître totalement brillant.

Évidemment, ce n'est pas vrai. Ce paradoxe d'Olbers a causé beaucoup de controverse et n'a pas pu être résolu correctement avant le début du XXe siècle avec la théorie du Big Bang. En effet, avec l'expansion de l'univers, la lumière des étoiles éloignées est à un plus grand décalage vers le rouge, et ce, de façon d'autant plus importante que les étoiles sont loin. Cela implique un affaiblissement de l'intensité du rayonnement.

Nous savons aussi que plus l'étoile est éloignée, plus il y a longtemps, que la lumière a été émise, nous la voyons dans un état antérieur. Les étoiles les plus éloignées ont été formées peu de temps après le Big Bang, mais nous ne pouvons pas en observer plus parce qu'il n'y a pas de couches infinies d'étoiles - le principe n° 1 est également faux.

Lentilles gravitationnelles

La lumière suit toujours le chemin le plus court possible entre deux points. Mais si une masse est présente, l'espace est courbé et le chemin le plus court possible est une courbe comme on le voit sur la figure 18a. Cette idée n'est pas difficile pour les étudiants. On peut facilement le montrer sur un globe terrestre (figure 18c). De toute évidence, ils peuvent comprendre que, à la surface de la Terre, la distance entre deux points suit toujours une courbe.



Fig. 18a et 18b: si l'espace est courbé, le chemin le plus court entre deux points est une courbe.



Fig. 18c: Le chemin le plus court au-dessus de la surface terrestre n'est pas une ligne droite.

En général, nous pouvons imaginer une lentille gravitationnelle comme une lentille ordinaire, mais dans laquelle la déviation de la lumière est produite par une grande masse qui se trouve dans le chemin de la lumière, appelée déflecteur (figure 19a).

Les lentilles gravitationnelles produisent une courbure dans les faisceaux de lumière qui sont émis par des objets astronomiques. Si ces objets sont des sources ponctuelles (étoiles ou quasars), ils apparaissent à un endroit différent d'où ils se trouvent réellement, ou parfois même des images multiples de l'objet sont produites (figure 19b). Si les objets émettant sont étendus (par exemple, galaxies), les images apparaissent déformées en arcs lumineux (figures 20a, 20b et 20c).

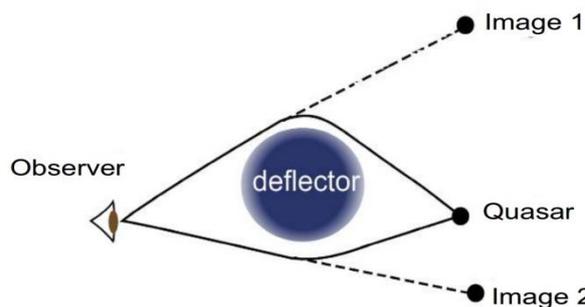


Fig. 19a: L'observateur voit deux images, car il semble que la lumière provienne de deux endroits différents.

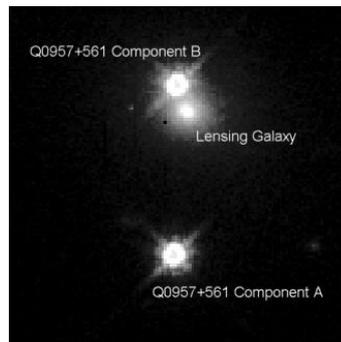


Fig. 19b: image de l'image double quasar Q0957 + 561. Le déflecteur est la galaxie proche du composant B

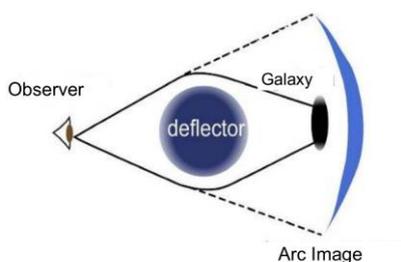


Fig. 20a: Si le corps dévié est un objet étendu, les images obtenues sont un ensemble d'arcs lumineux ou une sonnerie complète

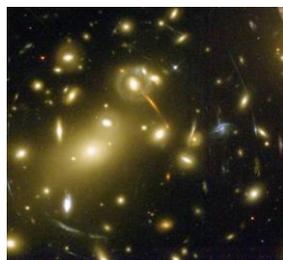


Fig. 20b: Arcs lumineux géants formés par le groupe de galaxies Abell 2218



Fig. 20c: Anneau complet d'une galaxie derrière le déflecteur .

Activité 8: Simulation de lentille gravitationnelle avec un verre de vinaigre

Nous pouvons simuler une lentille gravitationnelle à l'aide d'un verre de vinaigre. Cette expérience vous permet de "montrer" comment la matière peut introduire des distorsions dans les images observées.

Maintenant, simulons l'anneau d'Einstein ou plusieurs images. Prenez une lampe de poche, placez-la de l'autre côté d'un verre plein de vinaigre e ou de jus de raisin et observez le rayon de lumière qui la traverse.

Il est facile de voir que cette simulation conduit à la «distorsion de l'espace» observée. Placez simplement le verre sur du papier millimétré et regardez le vinaigre (ou le jus de raisin). On voit la distorsion des lignes de graphe (figures 21a et 21b).



Fig. 21a et 21b: on ne peut voir la distorsion du papier graphique que si le verre est plein.

Voyons maintenant comment simuler l'anneau d'Einstein ou la multiplicité des images. Il suffit de prendre une lampe de poche, de la placer de l'autre côté du verre de vin rouge et de voir passer le rayon de lumière.

En regardant le rayon de lumière, nous le déplaçons de droite à gauche et de haut en bas. Nous notons que la lumière n'est pas un point: le vinaigre produit des images à plusieurs reprises et, dans certains cas, des arcs. Ceci est une conséquence du verre qui agit comme un objectif qui déforme la trajectoire de la lumière. En particulier, nous pouvons parfois voir une figure amorphe, ou un point rouge vif, quatre points rouges ou un arc rouge entre les points (figures 22a, 22b et 22c).



Fig. 22a: Le faisceau de la lampe de poche est déformé comme un arc entre deux points rouges lumineux, la fig. 22b: comme un rectangle amorphe, et la fig. 22c: la croix d'Einstein

Nous pouvons également simuler la lentille gravitationnelle à travers le pied en verre du verre à vinaigre. Si on place le pied du verre sur un papier millimétré et on le regarde, on peut voir la déformation de la grille (figure 23).

Déplacer le pied du verre lentement de droite à gauche au-dessus d'un objet (par exemple, un cercle rouge d'environ 3 cm), nous pouvons reproduire les formes observées à travers les lentilles gravitationnelles (figures 24a, 24b et 24c).



Fig. 23: Déformation de la grille.



Fig. 24a, 24b et 24c: le pied en verre peut simuler diverses formes réalisées par des lentilles gravitationnelles: des segments d'arc, des images de points et des anneaux d'Einstein.

Bibliographies

- Moreno, R *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp, Madrid, 2008.
- Moreno, R, *Taller de Astrofísica*, Cuadernos ApEA, Antares, Barcelona, 2007.
- Moreno, R, *Historia Breve del Universo*, Ed. Rialp, Madrid, 1998.
- Moreno, A, Moreno, R, *Taller de Astronomía*, Ediciones AKAL, Madrid, 1996.
- Rianza, E, Moreno, R, *Historia del comienzo: George Lemaitre, padre del Big Bang*, Ediciones Encuentro, Madrid, 2010.
- Ros, R.M, *Experiments and exercises involving gravitational lenses*, Proceedings 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School, Barcelona 2007.
- Ros, R.M, *Gravitational lenses in the classroom*, Physics Education, 43, 5, 506, 514, Oxford, 2008.

Sources internet

- <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>
- <http://www.dsi.uni-stuttgart.de>
- <http://georgeslemaitre.blogspot.com/>
- <http://www-ra.phys.utas.edu.au/~jlovell/simlens>
- <http://leo.astronomy.cz/grlens/grl0.html>

Traduction, Cité des Sciences à Tunis:

Najoua Bey, Sarra Snoussi, Naoufel Ben Maaouia, Riadh Ben Nessib, Hichem Ben Yahia

Révision : Eric Merssier Université de Nantes