

Les objets étranges de l'Univers

Par
David Trudelle B. Sc.

Quelques ordres de grandeur...

- Le rayon de la Terre: 6300 km
- La masse du Soleil: $1,99 \times 10^{30}$ kg ou 1 990 000 000 000 000 000 000 000 000 kg
- La puissance du Soleil: $3,26 \times 10^{26}$ W ou 326 000 000 000 000 000 000 000 000 W
- 1 année-lumière: 9 460 800 000 000 km

Les objets bizarres...

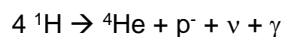
- L'étoile à neutron
- Le pulsar
- Le trou noir
- Les radiogalaxies
- Les Quasars
- Les Blazars

L'évolution des étoiles

- Les étoiles puisent leur énergie dans les réactions de fusion nucléaire qui se produisent dans leurs cœurs.
- Ces réactions débutent avec l'hydrogène lorsque qu'un nuage de gaz s'effondre sur lui-même dû à la force gravitationnelle.

La chaîne proton-proton

- La chaîne proton-proton est la première réaction de fusion à avoir lieu dans le cœur d'une étoile.
- La réaction nucléaire s'écrit comme:

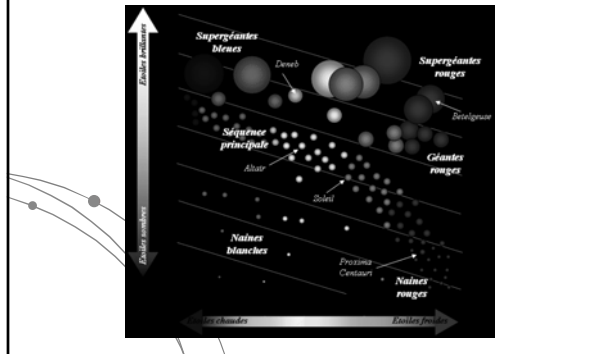


- La température minimale requise pour cette réaction est d'environ 10 000 000 K.

L'équilibre des étoiles

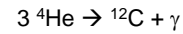
- Une fois la chaîne proton-proton bien entamée, l'étoile commence sa vie stable.
- Il y a un équilibre entre la pression gravitationnelle du gaz qui se contracte et la pression de radiation des photons produit par les réactions nucléaires.

Un diagramme HR



Le processus triple alpha

- Le processus triple alpha est la réaction de fusion suivante. Seuls les étoiles très massives peuvent entretenir cette réaction sur une grande période de temps.
- La réaction nucléaire s'écrit comme :



- La température minimale requise pour cette réaction est d'environ 100 000 000 K.

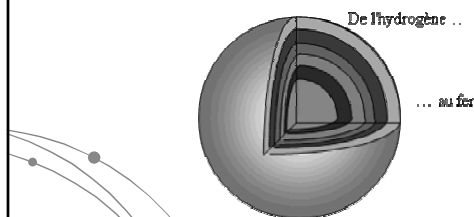
La mort des étoiles peu massives

- Après avoir produit un peu de carbone par le processus triple alpha, les étoiles peu massives vont s'éteindre en naines blanches. Elles ne deviendront jamais des trous noirs.
- Les étoiles plus massives atteindront des températures beaucoup plus élevées enclenchant ainsi une nouvelle série de réactions nucléaires.

La nucléosynthèse des éléments plus lourds

- Carbone en oxygène (en néon et magnésium aussi). Température: 600 000 000 K
- Oxygène en silicium (en phosphore et en soufre aussi). Température: 1 500 000 000 K
- Silicium en fer. Température: 3 000 000 000 K

L'étoile s'emballe...



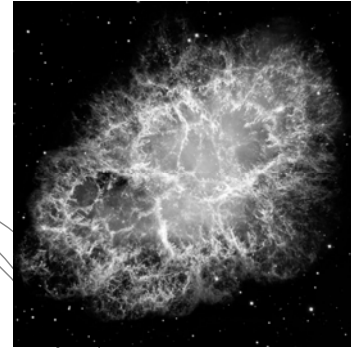
La catastrophe du fer

- Le fer 56 est le noyau le plus stable dans la nature.
- Au fur et à mesure que l'étoile produit du fer, celui-ci s'accumule au centre de l'étoile.
- Il se forme alors un cœur de fer qui sera responsable du déclenchement d'une supernova.

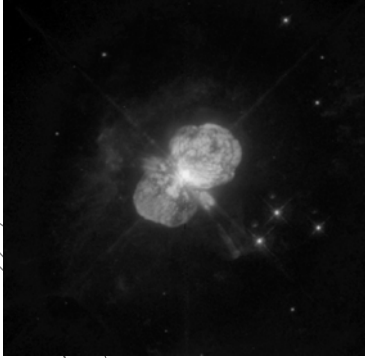
La supernova

- Le cœur de fer de l'étoile, ne dégageant plus aucune énergie, est soumis à une pression gravitationnelle extraordinaire.
- Sous cette pression, les électrons se combinent aux protons et le cœur de fer s'effondre.
- Cet effondrement porte les couches externes de l'étoile à des milliards de Kelvin et est suivi par le "rebond du cœur", ce qui déclenche une supernova.

Reste d'une supernova



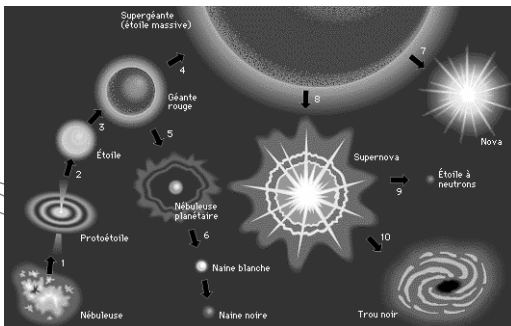
Reste d'une supernova



La fin des étoiles

- La fin des étoiles massives dépend de la masse du cœur restant après la supernova.
- Si la masse du cœur est inférieure à 10 masses solaires, l'étoile terminera sa vie en étoile à neutron.
- Si la masse du cœur est supérieure à 10 masses solaires, l'étoile se contractera jusqu'à former un trou noir.

L'évolution des étoiles



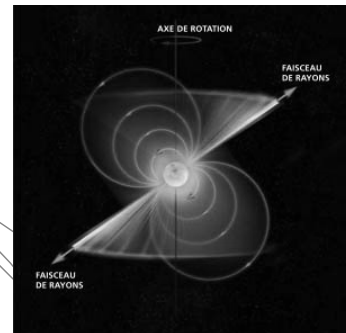
L'étoile à neutron

- L'étoile à neutron est le cadavre d'une étoile massive.
- Après la supernova, il reste seulement le cœur de neutron de l'étoile.
- Il continue de se comprimer pour finalement être stabilisé par différentes poussées quantiques.
- La grosseur typique d'une étoile à neutron est d'environ le diamètre de la Terre.

Le pulsar

- Il s'agit d'une catégorie spéciale d'étoile à neutron.
- Il émet 2 faisceaux d'ondes radio diamétralement opposés. La génération de ces ondes n'est pas parfaitement comprise.
- Dû à sa rotation rapide, le pulsar ressemble à un phare cosmique.

Le pulsar



Le trou noir

- Lorsque le cœur de neutron est très massif, les poussées quantiques, qui stabilisent les étoiles à neutron, ne seront plus suffisantes pour empêcher la contraction du cœur.
- Le cœur de neutron se comprime jusqu'à être un point dans l'espace.
- Le champ de gravité de l'objet devient tellement élevé que même la lumière ne peut plus s'en échapper.
- L'objet se nomme désormais un trou noir.

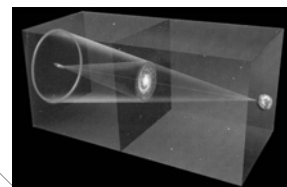
La détection des trous noirs

- Les trous noirs sont difficilement observable mais, il existe plusieurs moyens de les détecter indirectement.
1. Les disques d'accrétions
 2. Les lentilles gravitationnelles
 3. Les ondes gravitationnelles

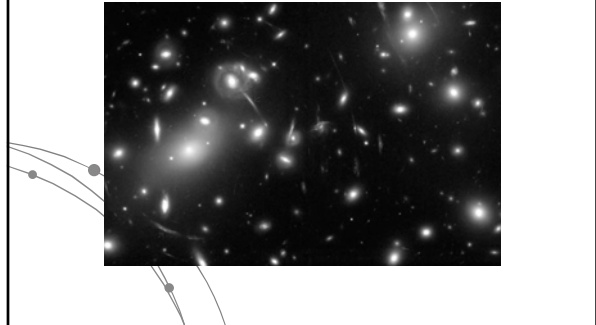
Un disque d'accrétion



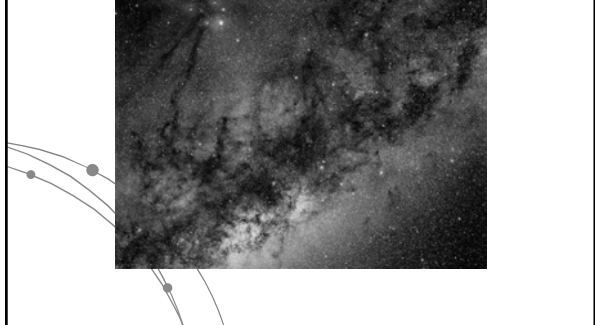
Les lentilles gravitationnelles



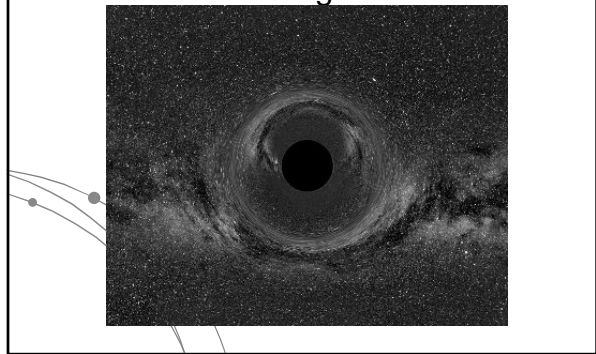
Les lentilles gravitationnelles



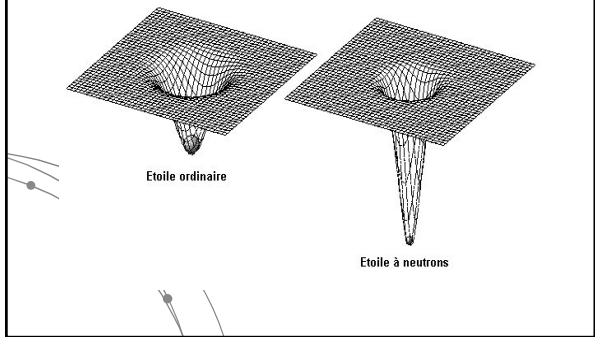
Le disque de notre galaxie



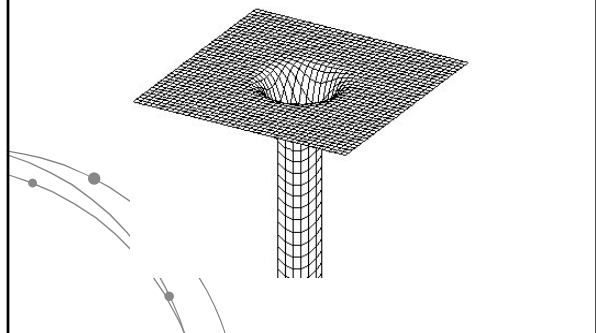
L'effet d'un trou noir dans le disque de notre galaxie



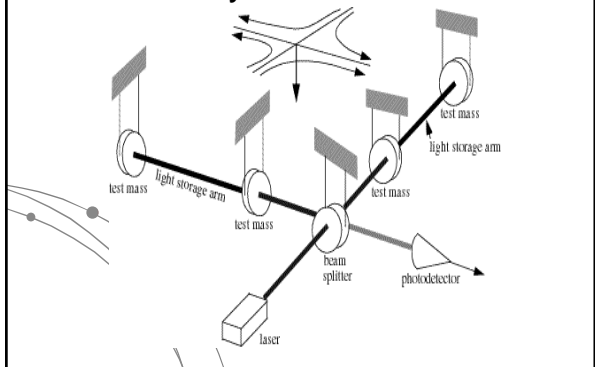
Les ondes gravitationnelles



Les ondes gravitationnelles



Le système LIGO



Le système LIGO



Les distances astronomiques et le voyage dans le temps

- Pour réussir à observer les prochains objets, nous devons regarder très loin dans l'Univers, à des distances de plusieurs millions ou milliards d'années-lumière.
- Il est important de comprendre que plus nous regardons loin dans l'Univers, plus nous regardons dans le passé de l'Univers. La lumière a pris un temps très long pour nous parvenir.

Le rayonnement spectral et le rayonnement synchrotron

- Il existe 2 types de rayonnement.
1. Le rayonnement spectral: Il est normalement caractérisé par un continuum à presque toutes les longueurs d'ondes et par la présence de raies d'absorption ou d'émission.
 2. Le rayonnement synchrotron: Il est caractérisé par des émissions de lumière de haute énergie (rayon X ou gamma). Il y a aussi absence de raies d'absorption ou d'émission.

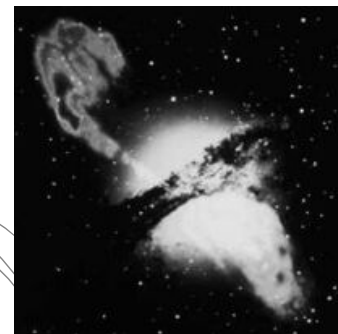
Les galaxies actives (AGN)

- Les 3 prochains objets entrent dans une vaste catégorie d'objets appelés galaxies actives.
- Il s'agit de galaxies très lointaines (donc très jeunes) et très lumineuses.

Les radiogalaxies

- Les radiogalaxies sont un type de galaxies actives. Elles sont normalement de formes elliptiques.
- Elles sont caractérisées par de puissantes émissions d'ondes radio en forme de lobe et de jets de matières.
- Les ondes radio seraient créées par un rayonnement synchrotron dont la lumière est grandement atténuée.

Les lobes radio



La radiogalaxie M87



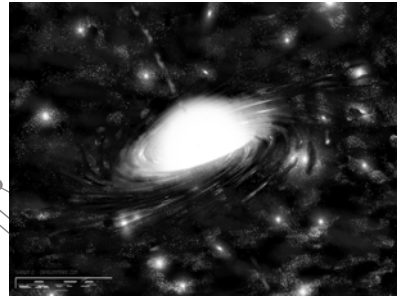
Les Quasars

- Les Quasars sont les objets les plus lumineux que nous retrouvons dans l'Univers.
- Leur luminosité peut facilement atteindre 1000 fois celle de la voie lactée toute entière dans un espace de la grosseur de notre système solaire.
- Ils sont caractérisés par un rayonnement spectral extrêmement puissant provoqué par de la matière tournoyant à très grande vitesse.

Un quasar



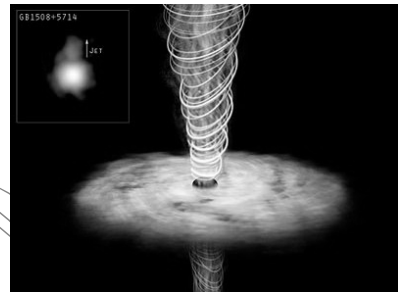
Un quasar, vue par un artiste



Les Blazars

- Les Blazars sont parmi les plus étranges objets de l'Univers.
- Ils sont caractérisés par de puissantes émissions de lumière hautement énergétiques et par l'absence totale de toutes raies d'émission et d'absorption.
- Ces émissions semblent être dirigées vers 2 pôles diamétralement opposés, un peu comme un pulsar.

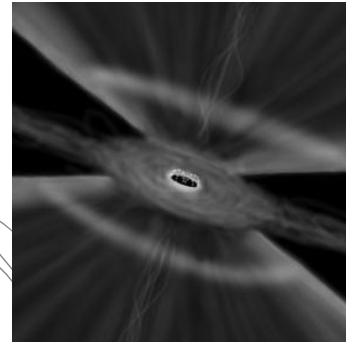
Un Blazar, vue par un artiste



Une explication globale

- Les radiogalaxies, les quasars et les blazars seraient en fait le même objet.
- Cette objet serait en fait une jeune galaxie en formation possédant un trou noir hyper massif en son centre. Ce trou noir serait entouré par un disque d'accrétion géant.
- La différence que nous percevons serait dû à l'orientation relative de la galaxie par rapport à la Terre.

Une explication globale



Les galaxies et les trous noirs hyper massifs

- Nous détectons, en effet, des trous noirs hyper massifs au centre de la plupart des galaxies.
- Selon le modèle d'évolution des galaxies, ces trous noirs seraient le vestige des premières générations d'étoiles massives ayant évoluées rapidement lors de la formation de la galaxie.
- Ils auraient été les responsables, dans le passé, de la formation de disques d'accrétions géants.