



Plus c'est gros, moins c'est dense

publié le 30/12/2008 - mis à jour le 25/05/2015

Descriptif :

Echelle des distances de l'atome aux galaxies. Unités de longueur. Taille comparée des différents systèmes. Evaluer expérimentalement une distance : Méthode des parallaxes, technique de la visée, diamètre apparent. Comment déterminer les ordres de grandeur (taille d'une molécule, épaisseur d'un cheveu) : Plus c'est gros, moins c'est dense

Le physicien américain Steven Weinberg, prix Nobel de Physique 1979, aurait dit un jour qu'on pouvait faire peur aux enfants en leur disant combien d'années lumière de plomb un neutrino pouvait traverser. En effet, il faudrait un mur de plus de 3000 années lumière — soit plus que la longueur du rayon du bulbe de la Voie Lactée — pour être sûr de « stopper » un faisceau de neutrinos. Cela pour illustrer le colossal pouvoir de pénétration de ces particules dont la variété électronique a une masse environ 200 000 fois plus faible que celle de l'électron — faible certes, mais non nulle —, constituant ainsi l'objet matériel de masse la plus petite qui soit. Tout cela fait que des flots de neutrinos traversent en permanence la Terre entière, et donc les êtres vivants, comme si de rien n'était : les neutrinos interagissent infiniment peu avec la matière et sont donc de ce fait totalement inoffensifs pour les organismes vivants.

Mais tout ce qui est « petit » n'est pas nécessairement « léger »... et réciproquement. Ainsi, un proton qui a un rayon d'environ 0,8 femtomètre — ou encore 0,8 fermi du nom du physicien italien Enrico Fermi (1901-1954), prix Nobel de physique 1938 ($1\text{ fm}=10^{-15}\text{m}$) — a-t-il une masse d'environ $1,7 \cdot 10^{-27}\text{kg}$. La « matière » qui le constitue a donc une masse volumique de $8 \cdot 10^{17}\text{kg.m}^{-3}$, soit quatre fois la masse volumique moyenne de la matière nucléaire mais près de 10^{18} fois celle de l'eau. Pour mieux fixer les idées, 1 tonne de matière protonique occuperait le volume d'une sphère de rayon d'environ... 7 micromètres.

A l'autre bout de l'échelle, considérons le groupe local qui est l'amas galactique regroupant près d'une quarantaine de galaxies dont notre Voie Lactée. Ce groupe local occupe un volume dont le rayon est de l'ordre de 3 millions d'années lumière, soit $3 \cdot 10^{22}\text{m}$ et sa masse totale est de 2300 milliards de masses solaires, soit $4,5 \cdot 10^{42}\text{kg}$ — ici point n'est besoin de précision numérique, tous ces nombres n'étant que des évaluations. La masse volumique moyenne du groupe local est donc d'environ $4 \cdot 10^{-26}\text{kg.m}^{-3}$ — ce qui est bien de l'ordre de grandeur communément retenu pour le groupe local qui est de 10^{-25}kg.m^{-3} , il faut en effet ajouter à la matière visible la matière dite « noire ». Il s'ensuit que si la masse du groupe local était répartie de manière homogène, un cube de côté 1000 km de cette matière n'aurait qu'une masse de... 0,1 μg .

La masse de la Voie Lactée est évaluée à 200 milliards de masses solaires, soit $4 \cdot 10^{41}\text{kg}$ — les évaluations sont assez diverses selon les auteurs — cette masse étant grosso modo répartie dans un disque de diamètre de l'ordre de 100 000 années lumière, soit 10^{21}m et d'épaisseur de l'ordre de 6000 années lumière. La masse volumique moyenne de notre galaxie est donc de l'ordre de $8 \cdot 10^{-21}\text{kg.m}^{-3}$ ce qui est l'ordre de grandeur de la densité matérielle au niveau du système solaire — cette densité varie fortement d'un point à un autre de la Voie Lactée, étant beaucoup plus importante au centre où il y aurait fort probablement un trou noir et beaucoup plus faible dans le halo.

Enfin, toute la masse du système solaire étant quasiment concentrée dans le Soleil — $2 \cdot 10^{30}\text{kg}$ — mais répartie dans une sphère ayant pour rayon celui de l'orbite de Neptune — soit $4,5 \cdot 10^{12}\text{m}$ —, planète la plus éloignée du Soleil — Pluton a été récemment déchu de son statut de planète et il n'y a pas que les planètes dans ce système, il y a les astéroïdes, les poussières,... — on trouve une masse volumique moyenne de $5 \cdot 10^{-9}\text{kg.m}^{-3}$ ce qui est l'ordre de grandeur communément admis. Mais si l'on ramène ce système à un disque de même rayon et ayant l'épaisseur du diamètre du Soleil — $1,4 \cdot 10^9\text{m}$ — cette densité augmente considérablement puisqu'elle atteint alors $2,2 \cdot 10^{-}$

$^5\text{kg.m}^{-3}$.

Il n'en reste pas moins que plus l'ordre de grandeur des dimensions du système augmente, plus sa densité matérielle moyenne diminue — comme toujours, la moyenne gomme les hétérogénéités matérielles.



**Académie
de Poitiers**

Avertissement : ce document est la reprise au format pdf d'un article proposé sur l'espace pédagogique de l'académie de Poitiers.

Il ne peut en aucun cas être proposé au téléchargement ou à la consultation depuis un autre site.