EXERCICE 1 : LANIAKEA

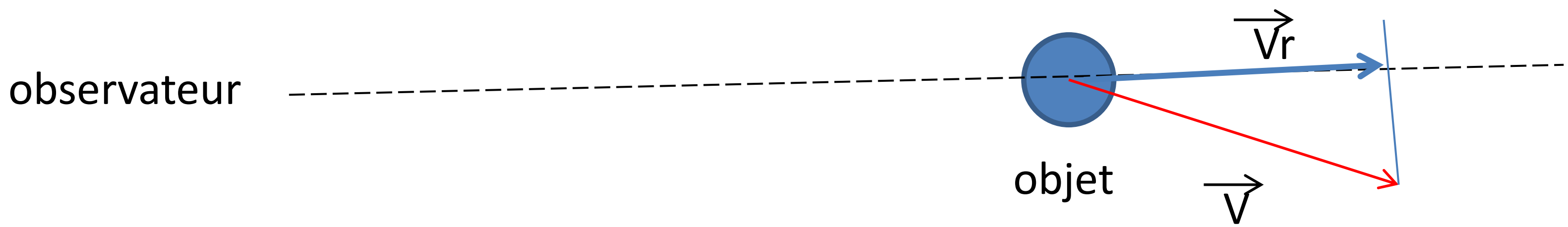
1- Préliminaire : EFFET DOPPLER et redshift (document 1)

1-1. Dans le document 1, la vitesse v indiquée est en fait la vitesse RADIALE de l'objet en mouvement par rapport à l'observateur. Que signifie ce terme et quel est la différence entre la vitesse radiale et la vitesse de l'objet par rapport à l'observateur ?

Document 1 : données sur l'effet DOPPLER

- z = décalage Doppler
- λ : longueur d'onde mesurée (corps en mouvement)
- λo : longueur d'onde mesurée (corps immobile)
- v = vitesse du corps (v>0 si éloignement ; v<0 si rapprochement)
- c = vitesse de la lumière (300 000 km/s)
- (cette formule n'est exacte que si la vitesse 'v' est très petite devant la vitesse de la lumière 'c')

$$z = \frac{\lambda - \lambda o}{\lambda o} = \frac{v}{c}$$



La vitesse radiale est la composante du vecteur vitesse de l'objet sur la direction (observateur, objet)

Le vecteur vitesse de l'objet n'est pas forcément dans la direction de l'observateur

1-2.D’après la formule indiquée, quelle est la condition entre λ et λ0 pour que l’on ait un redshift (décalage vers le rouge) ou un blueshift (décalage vers le bleu).

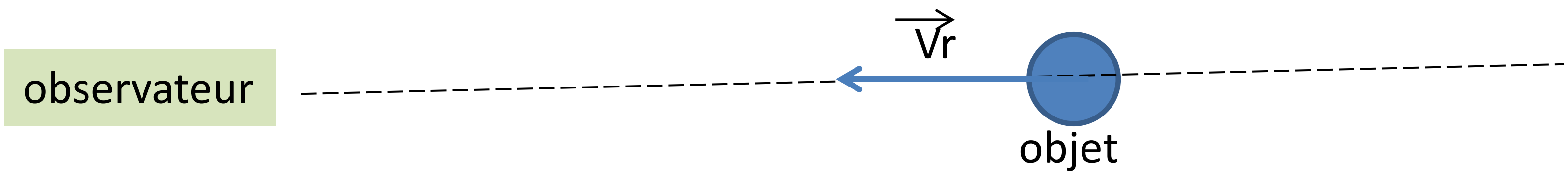
Si la source se rapproche alors v<0

$$z = \frac{\lambda - \lambda o}{\lambda o} = \frac{v}{c}$$

Donc λ- λo <0 ⇨ λ< λo

La longueur d’onde perçue est donc plus petite que si la source était immobile

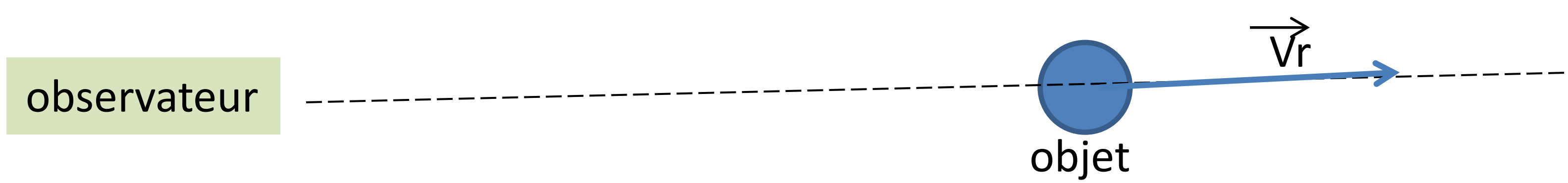
Diminution donc **décalage vers le bleu** (blue shift)



Si la source s’éloigne alors v>0

Donc λ- λo >0 ⇨ λ> λo

Augmentation donc **décalage vers le rouge**(red shift)



2- Loi de HUBBLE (document 3)

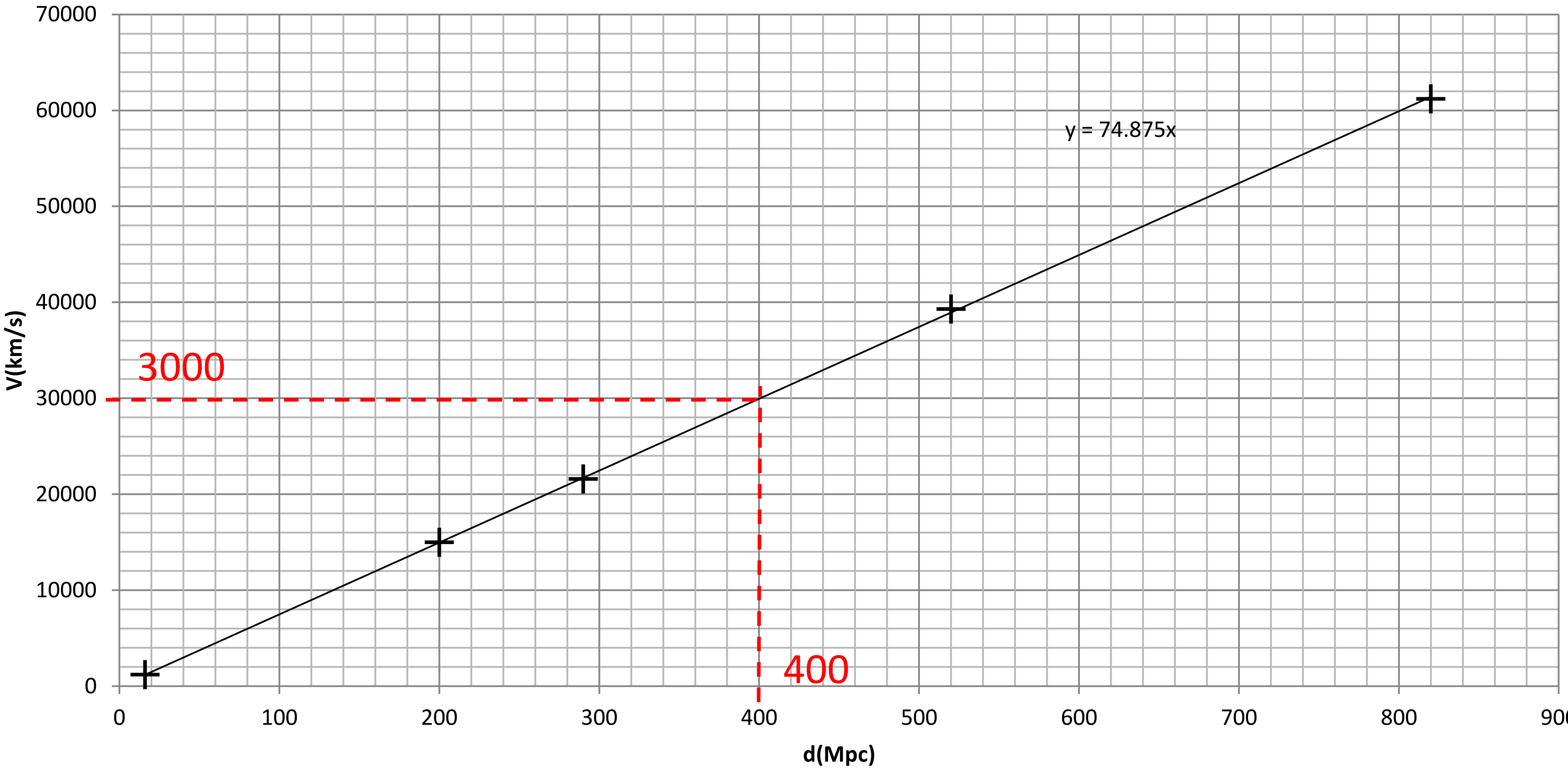
2-1. En observant les galaxies lointaines Edwin Hubble a-t-il observé des Redshift ou des blueshift pour des galaxies lointaines ? Pourquoi peut-on déduire de ces mesures que l'univers est en expansion ?

Edwin Hubble découvrit et observa un grand nombre de galaxies. En collaboration avec Milton Humason il établit en 1929, grâce à la spectroscopie, que **plus une galaxie était lointaine plus elle s'éloignait vite de la notre**. Il établit une relation entre la distance des galaxies et leur vitesse d'éloignement connue sous le nom de **loi de Hubble** et permettant de mettre en évidence l'expansion de l'univers.

Il a donc observé que les galaxies lointaines s'éloignaient systématiquement de la nôtre, donc un décalage vers le rouge (redshift) car vr>0

Plus les galaxies sont lointaines plus elles s'éloignent vite, cela semble accréditer l'idée d'un univers en expansion

2-2. Tracer le graphique (sur le document4) de la vitesse radiale des galaxies choisies par Hubble par rapport à leur distance. Montrer que ce graphe est compatible avec la loi qu'il a déduite : $\mathbf{V = H_0 \times d}$ et trouver la valeur de H_0 ainsi que son unité.



V= f(d) : fonction linéaire du type y = ax avec y=V et x= d donc H0 coefficient directeur a de la droite.

Coefficient directeur: $\frac{3000}{400}$ = 75 km. s^{-1}.Mpc^{-1}

(la vitesse des galaxies augmente de 75 km/s pour chaque mégaparsec d'éloignement supplémentaire)

2-3. En août 2006, une équipe de la NASA, utilisant les données du télescope spatial Chandra, a évalué la constante de Hubble à **77** (dans la même unité que celle du graphe), avec une incertitude de 15 %. La valeur trouvée par le graphe est-elle dans l'intervalle défini par les mesures de Chandra ?

$77-0.15x77<H0< 77+0.15x77$ ⇒ $65.45<H0< 88.5$

Donc 75 km. $s^{-1}.Mpc^{-1}$ se trouve dans cet intervalle

2-4. Le temps de HUBBLE $t_h = 1/ H_0$ donne une estimation en seconde de l'âge de l'univers **(à condition que H_0 soit en s^{-1})**. Trouver l'âge de l'univers en milliards d'années.

Ho = **75 km.s^{-1}.Mpc^{-1}**

1 Mpc = 10^6 pc = 10^6 x 3.26 x 9.46x 10^{12} km = 3.08 x 10^{19} km

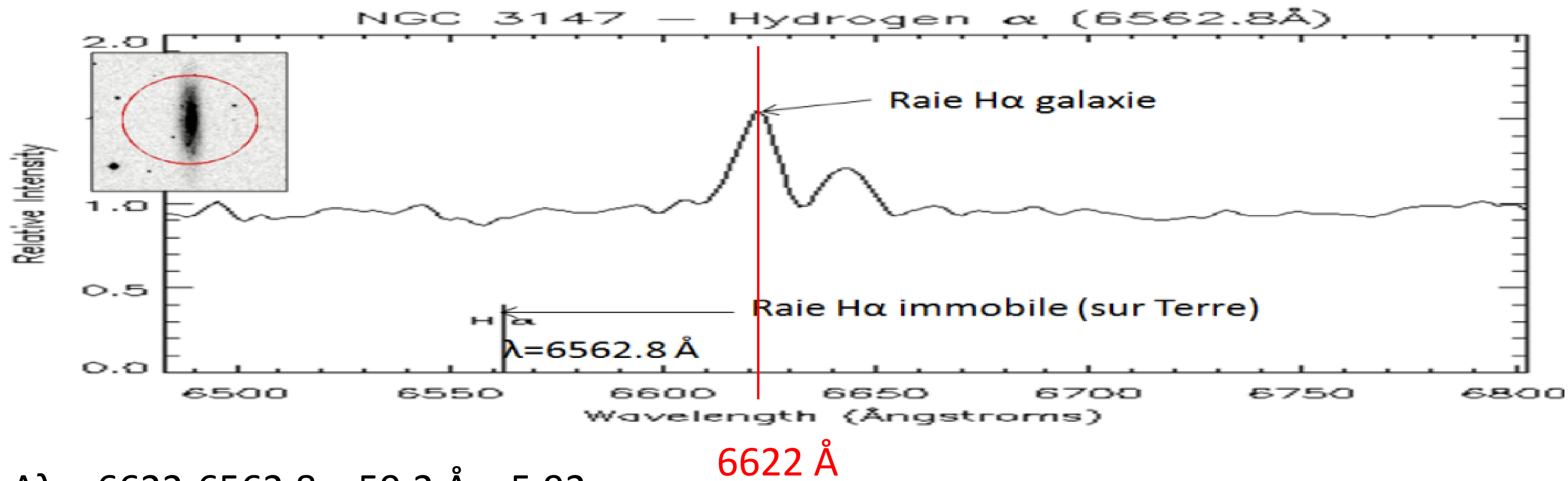
$$Ho = \frac{75\ km.s^{-1}}{1\ Mpc} = \frac{75\ km.s^{-1}}{3.08 \times 10^{19}\ km} = 2.43 \times 10^{-18}\ s^{-1}$$

$$T_{(s)} = \frac{1}{Ho_{(s^{-1})}} = \frac{1}{2.43 \times 10^{-18}} = 4.11 \times 10^{17}\ s$$

1an = 365.25x24x60x3600 = 3.16 x 10^7 s

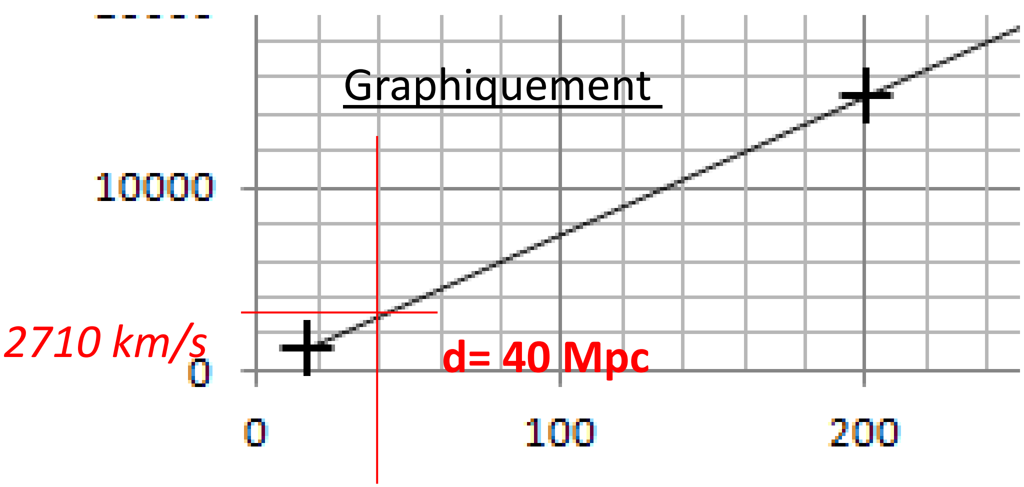
$$T = \frac{4.11 \times 10^{17}}{3.16 \times 10^{7}}$$ 1.30 x 10^{10} ans = 13 10^9 ans = **13 milliards d'années**

2-5. A l'aide du document 2 et du graphique trouver une estimation de la distance en Mpc de la galaxie NGC3147.



$\Delta\lambda = 6622 - 6562.8 = 59.2$ Å $= 5.92$ nm

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \Rightarrow V = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3 \times 10^8 \times \frac{59.2}{6562.8} = 2.71 \times 10^6 \text{ m/s} = 2.71 \times 10^3 \text{ km/s} = \textit{2710 km/s}$$



Par le calcul : $v = H_0 \times d$

$$d = \frac{V}{H_0} = \frac{2710}{75} = 36 \text{ Mpc}$$

$d \approx 40$ Mpc

3- La taille de LANIAKEA

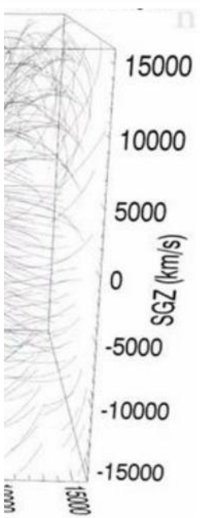
3-1. Pourquoi est-il logique que les astrophysiciens indiquent la taille du cube d'univers contenant notre superamas LANIAKEA en km/s plutôt qu'en km, parsec ou année-lumière ?

$V_{\text{km/s}} = H_{0\ \text{km/s.Mpc}} \times d_{\text{Mpc}}$

Donc la distance en Mpc est directement proportionnelle à la vitesse d'éloignement.

(de plus c'est la vitesse d'éloignement qui est mesurée.

3-2. Quelles sont les dimensions de ce cube en Mpc et en al ? Trouver son ordre de grandeur en mètre.



Coté du cube : v = 30000 km/s

$d = \frac{V}{H_0} = \frac{30000}{75}$ = **400 Mpc**

$= 400 \times 10^6 \times 3.26 =$ **1304×10^6 al**

$= 1304 \times 10^6 \times 9.46 \times 10^{12} = 1.23 \times 10^{22}$ km

$= 1.23 \times 10^{25}$ m

Ordre de grandeur **: 10^{25} m**

3-3. Notre galaxie, la voie lactée a un diamètre de 100000 al , quelle serait sa taille sur ce schéma du cube d'univers de LANIAKEA si on pouvait la représenter.

$7 \text{ cm} \leftrightarrow 10^{25} \text{ m}$

$100000 \text{ al} = 10^5 \times 9.46 \times 10^{15} = 9.46 \times 10^{20} \text{ m} \approx \mathbf{10^{21}\ m}$

Taille de la galaxie sur le schéma : $\dfrac{\mathbf{10^{21}}}{10^{25}} = 10^{-4} \text{ m}$ **= 0.1 mm**