

Prueba Optativa. Fundamentos de Física III

Comprobación de la Ley de Hubble con Stellarium

Álvaro Jerónimo Sánchez

26/Diciembre/2025

En este documento se presenta el trabajo para la prueba optativa de Fundamentos de Física III. Se empezará detallando la metodología y mostrando las tablas, gráficas o desarrollos oportunos, y tras esto se responderán a las cuestiones presentadas de manera breve. Al final del documento, en el apéndice, se encuentra la tabla 1 así como la Declaración de Autoría rellena y firmada con lápiz digital.

1. Obtención de los datos

Para obtener los datos mostrados en la tabla 1, se ha empleado el programa *Stellarium* para buscar el desplazamiento espectral (z), la distancia (b) y la magnitud aparente (m). Para calcular la velocidad de recesión, se ha aplicado la **Ley de Hubble** (Óscar Gálvez (2025). *Astrofísica y Cosmología*) usando la relación:

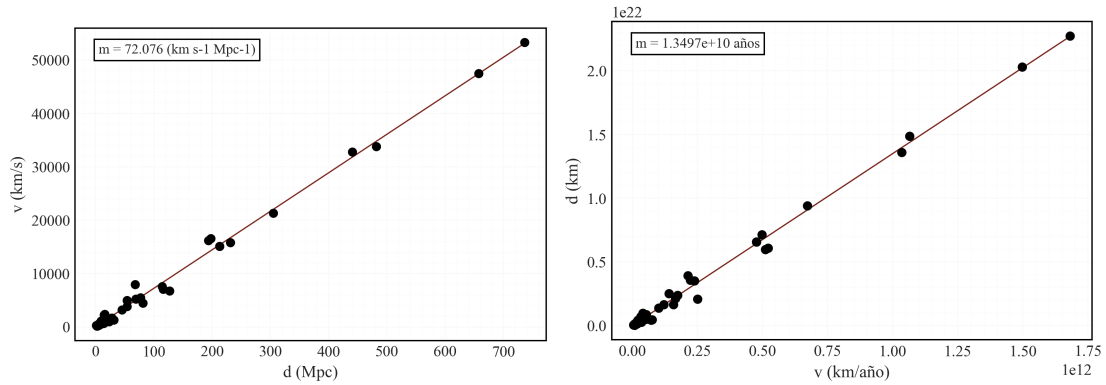
$$v = c (\lambda - \lambda_0) = cz = H_0 d$$

Empleando la misma llegamos a que $H_0 = v/d$, con lo que se han podido hallar los valores de la constante de Hubble, con los que posteriormente se ha hecho una media para llegar al valor aproximado. Para esto también ha sido necesario el dato de $c \approx 299792 \text{ km/s}$.

El valor de H_0 medio hallado se corresponde bastante con el teórico, especialmente comparándolo a un estudio del mismo para el universo local por la colaboración *SH0ES* (Adam G Riess et al. (2022). “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s⁻¹ Mpc⁻¹ uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”. En: *The Astrophysical journal letters* 934.1, pág. L7), que estima la constante de Hubble en $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

La magnitud absoluta visual (M) se ha hallado con la siguiente relación entre m y M (Gálvez, *Astrofísica y Cosmología*), despreciando la extinción interestelar:

$$m - M = 5 \log \frac{d \text{ (en parsec)}}{10}$$



(a) Gráfica $v(km/s)$ vs $d(Mpc)$ con pendiente $m = 72,076 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
 (b) Gráfica $d(km)$ vs $v(km/año)$ con pendiente $m = 1,3487 \cdot 10^{10} \text{ años}$

Figura 1: Figuras generadas con matplotlib y seaborn en python

2. Gráficas

Tras graficar la velocidad de recesión frente a la distancia, la pendiente resultante debe acercarse al valor de la constante de Hubble H_0 , hecho que se ha observado en este caso.

Para la figura 1b se han pasado las unidades de velocidad a $km/año$ y las de distancia a km para hallar un valor de la edad del universo (en la pendiente) en años. El valor calculado se acerca a valores teóricos (Peter AR Ade et al. (2014). “Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results”. En: *Astronomy & Astrophysics* 571, A1, Table 10), por lo que se ha concluido que la obtención del mismo ha sido exitosa.

3. Longitud de onda H_α para z mayor

En este caso, **LEDA 2816758** es la galaxia con mayor z ($z = 0,1778$). Teniendo en cuenta que la línea H_α del hidrógeno tiene una longitud de onda de $\lambda_0 = 6562,8 \text{ Å}$ (Gálvez, *Astrofísica y Cosmología*), se puede calcular la longitud de onda observada para LEDA 2816758.

Empleando la definición del desplazamiento al rojo:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} \implies \lambda = \lambda_0(z + 1) = \boxed{7729,67 \text{ Å}}$$

4. Cuestiones

4.1. Valor medio de la constante de Hubble

Se ha hallado que este valor es $H_0 = 73,41735 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, que entra en el margen de error del valor aceptado en la actualidad, siendo este $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (Riess et al., “A

comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s⁻¹ Mpc⁻¹ uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”).

4.2. Edad del universo con la constante de Hubble

Pasándolo a las unidades correspondientes, la edad del universo calculada con el valor medio de la constante de Hubble es: $\tau_0 = \frac{1}{H_0} = 1,332 \cdot 10^{10}$ años, que es un valor cercano al aceptado actualmente (Riess et al., “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s⁻¹ Mpc⁻¹ uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”).

4.3. Valor de la constante de Hubble con gráfica

El valor obtenido de la constante de Hubble con la pendiente de la figura 1a es $H_0 = 72,076 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, que entra en el margen de error del valor aceptado en la actualidad, siendo este $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (ibíd.).

4.4. Edad del universo con gráfica

El valor obtenido de la edad del universo con la pendiente de la figura 1b es $\tau_0 = 1,3487 \cdot 10^{10}$ años, que es un valor ligeramente más cercano al aceptado actualmente (ibíd.) que el hallado con la constante de Hubble media.

4.5. Galaxias con z negativo

Un z negativo para una galaxia simplemente significa que corre al azul en vez de correr al rojo. No contradice la Ley de Hubble, que trata de la expansión del universo, sólo supone que la galaxia se acerca a nosotros en vez de alejarse.

4.6. Longitud de onda de la línea H_α para LEDA 2816758

En tre las galaxias estudiadas, LEDA 2816758 es la galaxia con mayor z ($z = 0,1778$), y se ha hallado una $\lambda = 7729,67 \text{ \AA}$. Se puede observar que esta longitud de onda es mayor que la medida en el laboratorio, y esto es debido al **efecto Doppler**, ya que la galaxia se está alejando de la tierra y la longitud de onda se “estira” debido a esto.

Referencias

- Ade, Peter AR et al. (2014). “Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results”. En: *Astronomy & Astrophysics* 571, A1.
Gálvez, Óscar (2025). *Astrofísica y Cosmología*.

Riess, Adam G et al. (2022). “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s⁻¹ Mpc⁻¹ uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”. En: *The Astrophysical journal letters* 934.1, pág. L7.

Stellarium (2025). *Software*.

APPENDIX

ID	z	d (Mpc)	v (m/s)	m	M	H	ID	z	d (Mpc)	v (m/s)	m	M	H
ANTENNAE	0.005593	27.9	1676.737	10.91	-21.318	60.09809	NGC 1270	0.01669	53.7	5003.528	13.32	-20.3299	93.17558
ANTENNAE	0.001826	4.9	547.4202	6.84	-21.611	111.7184	NGC 1272	0.01285	53.7	3852.327	13.66	-19.9899	71.73794
IC 2378	0.05036	213	15097.53	15.3	-21.3419	70.8804	NGC 1275	0.01756	68.9	5264.348	12.48	-21.7111	76.40562
LGS 3	0.000955	1.198	286.3014	14.3	-11.0923	238.9828	NGC 1316	0.005911	16.9	1772.071	8.53	-22.6094	104.8562
M31	-0.001	778	-299.792	3.4	-36.0549	-0.38534	NGC 1512	0.002782	14.3	834.0213	10.32	-20.4567	58.32317
M32	-0.00066	763	-199.062	8.1	-31.3126	-0.26089	NGC 1672	0.004464	14.5	1338.271	9.68	-21.1268	92.29459
M33	-0.0006	835	-179.276	5.7	-33.9084	-0.2147	NGC 1705	0.002112	6	633.1607	12.39	-16.5008	105.5268
M49	0.003339	17.7	1001.005	8.4	-22.8399	56.55398	NGC 3079	0.003566	22.6	1069.058	10.86	-20.9105	47.30346
M58	0.005047	19.1	1513.05	9.66	-21.7452	79.2129	NGC 3115	0.002222	13.3	666.1378	9.9	-20.7193	50.08555
M60	0.00369	16.8	1106.232	8.8	-22.3265	65.84717	NGC 3226	0.00423	23.4	1268.12	13.33	-18.5161	54.19317
M61	0.00524	16.1	1570.91	9.65	-21.3841	97.57205	NGC 3227	0.00365	23.7	1094.241	11.79	-20.0837	46.1705
M66	0.00234	11	701.5133	8.9	-21.307	63.77393	NGC 3310	0.003366	22.9	1009.1	12.15	-19.6492	44.0655
M74	0.002188	9.2	655.9449	9.4	-20.4189	71.29836	NGC 3370	0.004276	31.2	1281.911	12.4	-20.0708	41.08688
M77	0.00381	14.4	1142.208	8.9	-21.8918	79.31997	NGC 3808	0.023603	116	7075.991	14.1	-21.2223	60.99992
M84	0.003369	18.4	1009.999	9.1	-22.2241	54.89126	NGC 4005	0.01489	81.2	4463.903	13.44	-21.1078	54.97417
M87	0.004233	18.4	1269.02	8.6	-22.7241	68.96845	NGC 4556	0.025221	114	7561.054	14.4	-20.8845	66.32504
M88	0.007602	14.41	2279.019	9.6	-21.1933	158.1554	NGC 4860	0.02647	67.6	7935.494	13.24	-20.9097	117.389
M94	0.00096	4.91	287.8003	8.2	-20.2554	58.61514	NGC 4881	0.022526	127	6753.115	13.56	-21.959	53.17413
M95	0.002595	10	777.9602	9.7	-20.3	77.79602	NGC 5643	0.00399	16.9	1196.17	13.6	-17.5394	70.77929
M96	0.003012	9.6	902.9735	9.3	-20.6114	94.05974	NGC 6907	0.010649	45	3192.485	11.3	-21.9661	70.94411
M99	0.008036	15.4	2409.129	9.9	-21.0376	156.4369	3C 273	0.15834	657.8	47469.07	-	-	72.16337
M100	0.00525	16.86	1573.908	9.4	-21.7343	93.3516	ESO 254-3	0.05269	231.14	15796.04	-	-	68.33971
M104	0.003642	8.98	1091.842	8	-21.7664	121.586	ESO 410-6	0.10934	440.55	32779.26	-	-	74.40531
M105	0.002922	9.8	875.9922	9.3	-20.6561	89.38696	IC 2378	0.05036	213	15097.53	-	-	70.8804
M106	0.001541	7	461.9795	8.4	-20.8255	65.99707	LEDA 1163616	0.11264	481.64	33768.57	-	-	70.11164
M108	0.002328	14.1	697.9158	10	-20.7461	49.49757	LEDA 2816758	0.1778	736.6	53303.02	-	-	72.36359
M110	-0.00082	824	-245.829	8.1	-31.4796	-0.29834	MGC-02-02-026	0.054	193.41	16188.77	-	-	83.70181
NGC 300	0.000487	1.98	145.9987	8.13	-18.3533	73.73672	MGC-03-03-004	0.05518	197.485	16542.52	-	-	83.76597
NGC 891	0.001761	9.12	527.9337	10.1	-19.7	57.88747	Mrk 540	0.07114	304.79	21327.2	-	-	69.97343
NGC 1260	0.0184	77	5516.173	13.53	-20.9025	71.63861						H (med)=	73.41735

Tabla 1: Tabla con los datos de cada galaxia obtenidos con *Stellarium*

Declaración de Autoría

El alumno Álvaro Jerónimo Sánchez.....
con DNI número 098570515....., declara que es el autor
único e individual de este trabajo.

Fdo.

