Por qué así

HANDBOOK

Bloque B · Radioastronomía

Formulario de cálculo rápido para el supuesto práctico: cada ecuación con su deducción de una línea

Muestra gratuita · primeras 3 de 17 páginas

Juan Carlos del Río

Temario de la oposición al Cuerpo de Astrónomos (subgrupo A1), programa de la convocatoria BOE-A-2025-24750

porqueasi.com · noviembre de 2026

Material de estudio elaborado de forma independiente a partir del temario. No es material oficial del organismo convocante ni de ninguna Administración, ni está avalado por ellos. Elaborado por el autor con ayuda de herramientas de inteligencia artificial; si encuentras un error, escribe a hola@porqueasi.com.

Índice

1 Radiometria, antena y calibracion **2**

2 Transferencia radiativa, líneas y densidades de columna **5**

3 Emisión en el continuo y objetos compactos **8**

4 Interferometría, síntesis de apertura y VLBI **12**

5 Fichas tecnicas de los instrumentos **14**

1 Radiometria, antena y calibracion

Constantes de trabajo: $k = 1{,}381 \times 10^{-23}\ \mathrm{J\,K^{-1}}$, $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}$, $h/k = 4{,}80 \times 10^{-11}\ \mathrm{s\,K}$, $1\ \mathrm{Jy} = 10^{-26}\ \mathrm{W\,m^{-2}\,Hz^{-1}}$, $1\ \mathrm{rad} = 206\,265''$. Todo lo que sigue es monocromatico, en una polarizacion y para una sola antena. ⟨F2: transferencia radiativa y espesor optico; F5: interferometria⟩

Rayleigh-Jeans y temperatura de brillo

Limite de Rayleigh-Jeans. Es el unico regimen en que intensidad y temperatura son proporcionales, que es lo que permite a la radioastronomia medirlo todo en kelvin:

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2}\,\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1} \xrightarrow{h\nu \ll kT} \frac{2kT\nu^2}{c^2} = \frac{2kT}{\lambda^2}. \tag{1}$$

Temperatura de brillo. Se define invirtiendo lo anterior, $T_B \equiv \lambda^2 B_\nu/2k$: es la temperatura que tendria un cuerpo negro que emitiese esa intensidad a esa frecuencia.
No es una temperatura fisica salvo que la fuente sea opticamente gruesa y este en LTE.
Correccion de Planck. Cuando $h\nu$ deja de ser despreciable frente a kT se usa la funcion de radiacion, que es lo que realmente mide el receptor en escala de temperatura:

$$J(T) = \frac{h\nu/k}{e^{h\nu/kT}-1} \;\simeq\; T - \frac{h\nu}{2k} \quad (h\nu \ll kT). \tag{2}$$

De donde sale — derivacion de una linea por ecuacion

(1) De Planck a RJ. Con $x = h\nu/kT \ll 1$ se desarrolla el denominador, $e^x - 1 \simeq x$, y queda $B_\nu \simeq (2h\nu^3/c^2)(kT/h\nu)$: la h se cancela, senal de que es el limite clasico, sin cuantizacion.
(2) Funcion de radiacion. Es $J(T) = \lambda^2 B_\nu(T)/2k$, es decir, Planck expresado en la escala RJ; el desarrollo a segundo orden $e^x - 1 = x(1 + x/2 + \dots)$ da $J \simeq T(1 - x/2) = T - h\nu/2k$.
Evaluacion. A $\nu = 230$ GHz, $h\nu/k = 4{,}80 \times 10^{-11} \times 2{,}30 \times 10^{11} = 11{,}0$ K. Con $T_B = 10$ K: $x = 1{,}10$, $e^x - 1 = 2{,}02$ y $J = 11{,}0/2{,}02 = 5{,}5$ K. Es decir, la escala RJ da 5,5 K donde la temperatura fisica es 10 K: un factor 1,8, nada despreciable. A 43 GHz (banda Q del RT40m de Yebes) $h\nu/k = 2{,}06$ K y $J(10\ \mathrm{K}) = 2{,}06/0{,}229 = 9{,}0$ K, todavia un 10 % bajo. Regla: por debajo de unos 10 GHz con $T_B \gtrsim 10$ K, RJ es exacta a mejor del 1 %.

Conversion Jy ↔ K, ganancia y SEFD

Densidad de flujo y temperatura de antena. Para una fuente no resuelta y no polarizada:

$$S_\nu = \frac{2kT_A}{A_{\mathrm{eff}}} \qquad \Longleftrightarrow \qquad T_A = \frac{A_{\mathrm{eff}}\,S_\nu}{2k}. \tag{3}$$

Ganancia del plato (lo que se tabula en Jy/K, con A_{geo} en $\mathrm{m^2}$):

$$\Gamma\ [\mathrm{Jy/K}] = \frac{2k}{\eta_A A_{\mathrm{geo}}} = \frac{2761}{\eta_A A_{\mathrm{geo}}}. \tag{4}$$

SEFD (flujo equivalente del ruido del sistema; es la cifra de merito que se compara entre antenas):

$$\mathrm{SEFD} = \frac{2kT_{\mathrm{sys}}}{\eta_A A_{\mathrm{geo}}} = \Gamma\, T_{\mathrm{sys}}. \tag{5}$$

Escalas de temperatura. T_A es la medida en bruto; T_A^* es T_A ya corregida de atmosfera y de perdidas traseras; T_{MB} refiere la senal solo al haz principal:

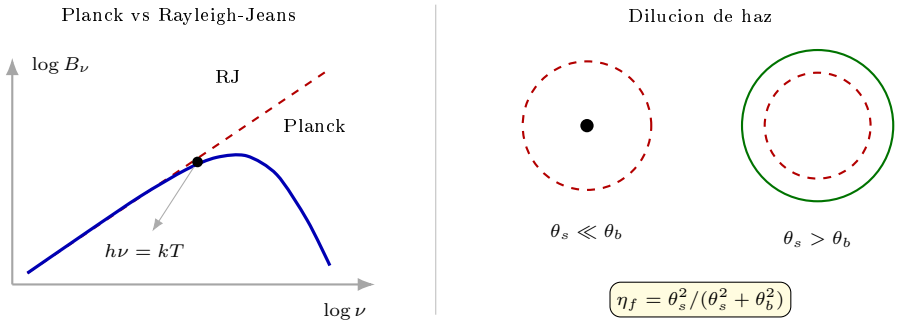
$$T_{\mathrm{MB}} = \frac{\eta_F}{\eta_{\mathrm{MB}}}\,T_A^* = \frac{F_{\mathrm{eff}}}{B_{\mathrm{eff}}}\,T_A^*. \tag{6}$$

Dilucion de haz. Para fuente y haz gaussianos de anchuras a media altura θ_s y θ_b:

$$\eta_f = \frac{\theta_s^2}{\theta_s^2 + \theta_b^2}, \qquad T_{\mathrm{MB}} = \eta_f\, T_B \xrightarrow{\theta_s \ll \theta_b} T_B \left(\frac{\theta_s}{\theta_b}\right)^2. \tag{7}$$

De donde sale — derivacion de una linea por ecuacion

(3) Jy ↔ K. La antena recoge de una fuente no polarizada $P = \frac{1}{2} A_{\mathrm{eff}} S_\nu\, \Delta\nu$ (el factor 1/2 porque solo acepta una polarizacion); el teorema de Nyquist para una resistencia adaptada da $P = kT_A \Delta\nu$. Igualando sale $T_A = A_{\mathrm{eff}} S_\nu/2k$.
(4) Γ. Es (3) con $A_{\mathrm{eff}} = \eta_A A_{\mathrm{geo}}$ y el cambio de unidades $2k/10^{-26} = 2761$.
(5) SEFD. Es el flujo de una fuente ficticia que produjese $T_A = T_{\mathrm{sys}}$, sustituido en (3).
(6) Escalas. T_A^* esta referida a toda la potencia del hemisferio delantero (η_F); dividir por η_{MB} la refiere solo al lobulo principal, que es la escala en la que se comparan modelos.
(7) η_f. La respuesta es la convolucion de fuente y haz evaluada en el centro; para dos gaussianas el resultado es una gaussiana de anchura $\sqrt{\theta_s^2 + \theta_b^2}$ y la amplitud se reparte en la razon de angulos solidos $\theta_s^2/(\theta_s^2 + \theta_b^2)$.
Evaluacion. IRAM 30m: $A_{\mathrm{geo}} = \pi \times 15^2 = 707\ \mathrm{m^2}$. Con $\eta_A \simeq 0{,}50$ a 230 GHz, $\Gamma = 2761/(0{,}50 \times 707) = 7{,}8$ Jy/K, o sea 1 Jy → 0,13 K. Con $T_{\mathrm{sys}} = 230$ K, SEFD $= 7{,}8 \times 230 \simeq 1{,}8$ kJy. A 86 GHz, con $\eta_A \simeq 0{,}63$, $\Gamma = 6{,}2$ Jy/K. Dilucion: a 230 GHz $\theta_b = 10{,}8''$; una fuente de $\theta_s = 2''$ con $T_B = 100$ K da $\eta_f = 4/(4 + 117) = 0{,}033$ y $T_{\mathrm{MB}} = 3{,}3$ K. Ahi esta la razon de que una fuente compacta y caliente se vea como una linea debil: el haz promedia el brillo sobre Ω_{MB}.



Lo que hay que leer: a la izquierda, que las dos curvas son indistinguibles mientras $h\nu < kT$ y que el punto marcado es donde empieza a hacer falta $J(T)$, no el maximo de Planck. A la derecha, que el circulo discontinuo es siempre el mismo haz: lo que cambia es la fraccion de el que la fuente llena, y esa fraccion, no el brillo, es lo que se pierde al pasar de T_B a $T_{\rm MB}$.

Ecuacion del radiometro

Sensibilidad. Con B la anchura de banda (la del canal espectral si se trabaja canal a canal) y t el tiempo de integracion:

$$\sigma_T = \kappa\,\frac{T_{\rm sys}}{\sqrt{B\,t}}, \qquad \kappa = \begin{cases} 1 & \text{potencia total ideal,} \\ \sqrt{2} & \text{ON} - \text{OFF},\ t = \text{tiempo en la fuente,} \\ 2 & \text{ON} - \text{OFF},\ t = \text{tiempo total repartido al 50 \%.} \end{cases} \tag{8}$$

Tiempo necesario. Despejando, para detectar una linea de temperatura T_L con relacion senal a ruido R:

$$t = \frac{\kappa^2 T_{\rm sys}^2}{B\,\sigma_T^2} = \frac{\kappa^2 R^2}{B}\left(\frac{T_{\rm sys}}{T_L}\right)^2. \tag{9}$$

De donde sale — derivacion de una linea por ecuacion

(8) Origen. Una banda B observada durante t contiene $N = Bt$ muestras independientes; cada muestra detectada fluctua con desviacion tipica del orden de $T_{\rm sys}$, y promediar N muestras independientes reduce el ruido como $1/\sqrt{N}$. De ahi $\sigma_T = T_{\rm sys}/\sqrt{Bt}$.
Origen de κ. Restar dos medidas independientes de igual ruido multiplica la desviacion tipica por $\sqrt{2}$: si ON y OFF duran cada uno t, $\kappa = \sqrt{2}$. Si lo que se reparte es el tiempo total ($t/2$ en cada fase), cada fase tiene $\sqrt{2}$ mas ruido y la resta otro $\sqrt{2}$: $\kappa = 2$. El OFF solo deja de penalizar si se promedia sobre muchos mas ON que el suyo propio ($\kappa \to 1$ en el limite de OFF sin ruido).
(9) Despeje. Es (8) elevada al cuadrado y resuelta en t. De la dependencia $\sigma \propto t^{-1/2}$ sale la regla de oro: *doblar la sensibilidad cuesta cuatro veces el tiempo.*
Evaluacion. IRAM 30m a 230 GHz, canal de $\Delta\nu = 200$ kHz ($\Delta v = c\Delta\nu/\nu = 0{,}26$ km s^{-1}), $T_{\rm sys} = 230$ K, position switching con $\kappa = 2$ y $t = 30$ min $= 1800$ s. Entonces $\sqrt{Bt} = \sqrt{2\times10^5\times1800} = \sqrt{3{,}6\times10^8} = 1{,}9\times10^4$ y $\sigma_T = 2\times230/1{,}9\times10^4 = 2{,}4\times10^{-2}$ K $= 24$ mK por canal. Para bajar a 10 mK: $t = 4\times230^2/(2\times10^5\times10^{-4}) = 2{,}12\times10^5/20 = 1{,}06\times10^4$ s $\simeq 2{,}9$ h, que es en efecto $(24/10)^2 = 5{,}8$ veces mas.

Limites de validez y trampas

Escala equivocada. Comparar un $T_{\rm MB}$ de la literatura con un T_A^* propio es el error mas caro del ejercicio: en el 30m a 230 GHz el factor $F_{\rm eff}/B_{\rm eff} \simeq 0{,}92/0{,}59 = 1{,}6$, un 60 % de diferencia.
RJ fuera de sitio. A frecuencias milimetricas y submilimetricas con T_B de pocos kelvin hay que usar $J(T)$, y ademas restar el fondo: lo que se mide es $J(T_{\rm ex}) - J(T_{\rm fondo})$, nunca T a secas.
Radiometro mal aplicado. B es la anchura del canal, no la del receptor, cuando se habla de sensibilidad espectral; confundirlas cambia el resultado en tres ordenes de magnitud. Y σ_T asi calculada es un limite inferior: no incluye ni deriva de ganancia ni ruido de base residual.

Antena: haz, area efectiva y eficiencias

Anchura del haz (HPBW) de un plato de diametro D:

$$\theta_b \simeq 1{,}2\,\frac{\lambda}{D}\ \text{rad} = 1{,}2\,\frac{\lambda}{D}\times 206\,265\ \text{arcsec}. \tag{10}$$

Teorema de la antena y area efectiva:

$$A_{\rm eff} = \eta_A A_{\rm geo}, \qquad A_{\rm eff}\,\Omega_A = \lambda^2. \tag{11}$$

Angulo solido del haz principal (gaussiano de anchura a media altura θ_b):

$$\Omega_{\rm MB} = \frac{\pi}{4\ln 2}\,\theta_b^2 = 1{,}133\,\theta_b^2, \qquad \eta_{\rm MB} = \frac{\Omega_{\rm MB}}{\Omega_A}. \tag{12}$$

Ruze (perdida por errores de superficie de desviacion tipica σ):

$$\eta_R = \exp\left[-\left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda}\right)^2\right]; \qquad \eta_R = 1/e \text{ en } \lambda = 4\pi\sigma, \qquad \eta_R = 1/2 \text{ en } \lambda \simeq 15\sigma. \tag{13}$$

Que mide cada eficiencia. η_A: fraccion del area geometrica realmente util (iluminacion, bloqueo del subreflector, desbordamiento, superficie). $\eta_{\rm MB}$: fraccion de la potencia que va al lobulo principal, frente a lobulos laterales y error beam. η_F o $F_{\rm eff}$: fraccion radiada hacia el hemisferio delantero, es decir, lo que no se pierde por derrame hacia el suelo.

De donde sale — derivacion de una linea por ecuacion

(10) HPBW. Difraccion en una apertura circular: primer cero en $1{,}22\lambda/D$ y HPBW $= 1{,}02\lambda/D$ con iluminacion uniforme; la iluminacion aconicada que se usa para bajar los lobulos laterales ensancha el haz hasta $1{,}15$–$1{,}2\,\lambda/D$. Ese coeficiente es una convencion del alumbrado, no una constante universal.