1 Polaritón plasmónico de grafeno acústico II

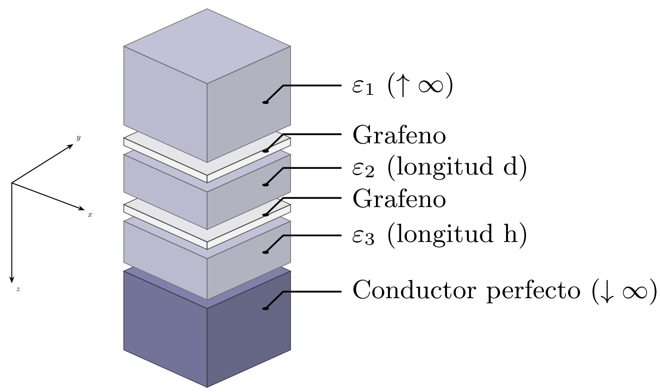

Figure 1: Esquema del sistema AGP-II (dos monocapas + metal a distancia h).

Descripción. Polaritón plasmónico de grafeno acústico II: Dos monocapas de grafeno separadas una distancia d. La segunda de las monocapas se encuentra a una distancia h de un sustrato de conductor perfecto. El espacio entre las monocapas está relleno de un dieléctrico no dispersivo 2 y el espacio entre la segunda monocapa y el metal está relleno con un dieléctrico no dispersivo 3.

Ecuación característica.

$$\epsilon_2\,\omega^2\cosh(dk_x)\Big(\epsilon_3\,\omega^2\cosh(hk_x)+(\epsilon_1\,\omega^2-4ck_x\omega_D)\sinh(hk_x)\Big)+\sinh(dk_x)\Big(\epsilon_3\,\omega^2(\epsilon_1\,\omega^2-2ck_x\omega_D)\cosh(hk_x)+(\epsilon_2^2 \tag{1}$$

La ecuación se puede expresar como un polinomio cuadrático en ω^2:

$$\omega_{12p}^2\,\omega_{23p}^2 - (\omega_{12p}^2-\omega_{23p}^2)\omega^2+(1-\Delta)\omega^4=0,$$

Las frecuencias desnudas asociadas a los dos modos son:

$$\omega_{12p}^2=\frac{2ck_x\omega_D}{\varepsilon_2\,\coth(dk_x)+\varepsilon_1},$$

$$\omega_{23p}^2=\frac{2ck_x\omega_D}{\varepsilon_2\,\coth(dk_x)+\varepsilon_3\,\coth(hk_x)}$$

El término de acoplamiento se define como:

$$\Delta=\frac{\varepsilon_2^2\,\coth^2(dk_x)-\varepsilon_2}{\big[\varepsilon_2\,\coth(dk_x)+\varepsilon_1\big]\big[\varepsilon_2\,\coth(dk_x)+\varepsilon_3\,\coth(hk_x)\big]}.$$

Comentarios. La relación de dispersión cuadrática obtenida del polinomio se expresa en función de las frecuencias desnudas ω_{12p} y ω_{23p}, correspondientes a los dos modos AGP, y del término de acoplamiento Δ.

En el límite $k_x \to \infty$, se cumple:

$$\Delta(k_x) \to 0,$$

lo que permite realizar la aproximación $\Delta = 0$ para determinar las expresiones asintóticas de los valores de $\omega(k_x)$ en dicho límite.

En este caso particular, el polinomio se factoriza de forma exacta cuando $\Delta = 0$, y se obtiene la misma expresión para Δ al considerar materiales polares en las capas intermedias.

Soluciones analíticas (relaciones de dispersión).

$$\omega_+^2(k_x)_{AGP-II} = \frac{\omega_{12p}^2 + \omega_{23p}^2 + \sqrt{(\omega_{12p}^2 - \omega_{23p}^2)^2 + 4\,\Delta\,\omega_{12p}^2\,\omega_{23p}^2}}{2\,(1-\Delta)}$$

$$\omega_-^2(k_x)_{AGP-II} = \frac{\omega_{12p}^2 + \omega_{23p}^2 - \sqrt{(\omega_{12p}^2 - \omega_{23p}^2)^2 + 4\,\Delta\,\omega_{12p}^2\,\omega_{23p}^2}}{2\,(1-\Delta)}$$

Asíntotas (derivación). Sea $u = \omega^2$.

Límite $k \to 0$ (dos ramas acústicas). Suponemos un comportamiento acústico $u \sim a\,k^2$ ($\omega \sim \sqrt{a}\,k$). Usando $S_d \simeq dk$, $C_d \simeq 1$, $S_h \simeq hk$, $C_h \simeq 1$, se obtienen los términos líderes:

$$k^4\Big[\epsilon_2\epsilon_3 a^2 - 2c\omega_D a(\epsilon_3 d + 2\epsilon_2 h) + 4c^2\omega_D^2 dh\Big]$$

El coeficiente de k^4 debe anularse, dando:

$$\epsilon_2\epsilon_3\,a^2 - 2c\omega_D(\epsilon_3 d + 2\epsilon_2 h)\,a + 4c^2\omega_D^2 dh = 0,$$

cuyas raíces son

$$a_\pm = \frac{c\,\omega_D}{\epsilon_2\epsilon_3}\Big[(\epsilon_3 d + 2\epsilon_2 h) \pm \sqrt{(\epsilon_3 d + 2\epsilon_2 h)^2 - 4\epsilon_2\epsilon_3 dh}\Big]. \tag{2}$$

Por tanto,

$$\boxed{\omega_{+,-}(k)_{AGP-II} \;\sim\; \sqrt{a_\pm}\,k\,, \qquad k \to 0.} \tag{3}$$

Límite $k \to \infty$ (dos asíntotas distintas) Como ya hemos comentado, haciendo que $\Delta \to 0$ se obtienen directamente al resolver la ecuación de forma que las soluciones son de la forma:

$$\omega_+^2(k_x)_{AGP-II} = \omega_{12p}^2$$

$$\omega_-^2(k_x)_{AGP-II} = \omega_{23p}^2$$

es decir, cada rama "ve" asintóticamente el par de medios adyacentes a su monocapa.

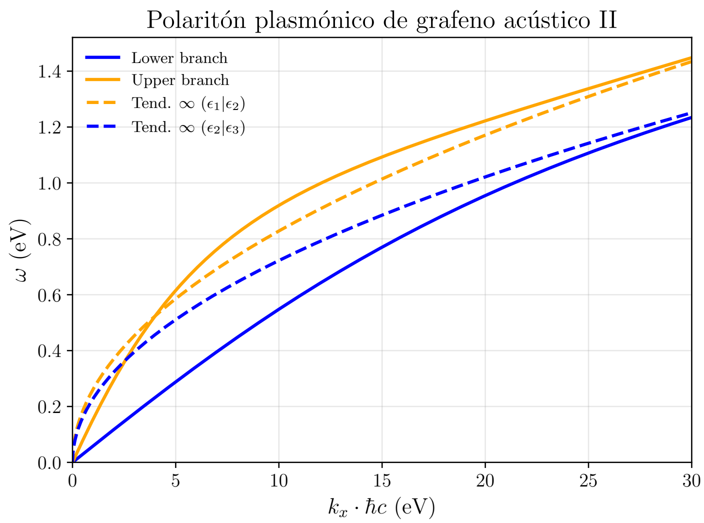

Figure 2: Relaciones de dispersión $\omega_{1,2}(k_x)$ (Ec. (**??**)) y asíntotas (Ecs. (**??**), (**??**)).

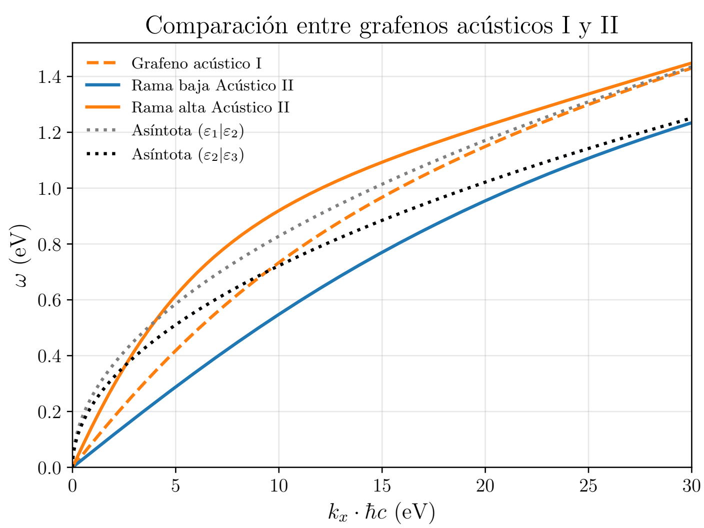

Figure 3: Comparación entre el AGP-I y AGP-II

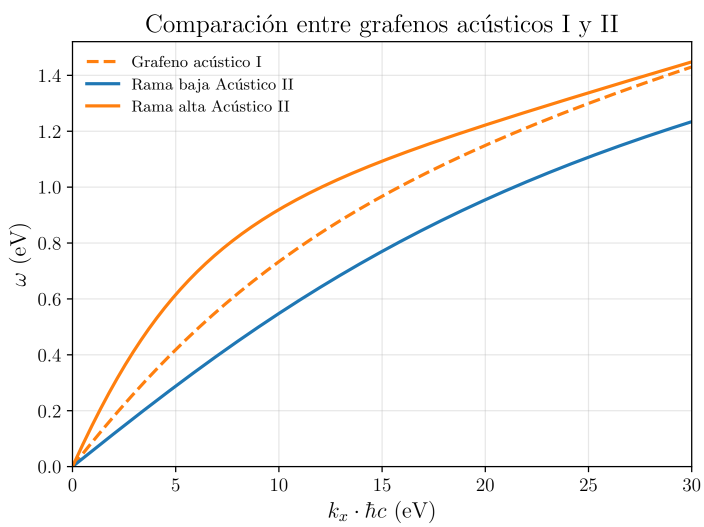

Figure 4: Comparación entre el AGP-I y AGP-II (sin asíntotas)