

# 1 La inestabilidad del átomo

Durante el siglo XIX, empezó a ganar fuerza la hipótesis atómica (con la ley de Dalton y el movimiento Browniano). A medida que se tomó más en serio la existencia de los átomos, su estructura se fue tornando más y más misteriosa. Tras descubrir el electron (Thomson) y que el átomo está compuesto de un núcleo pequeño de carga positiva y electrones a su alrededor (Rutherford), surgió una pregunta bastante razonable: ¿por qué los electrones se mantienen cerca del núcleo? La respuesta más sencilla era que, debido a que tienen cargas opuestas, el núcleo y los electrones se atraen electromagnéticamente, formando un sistema ligado. Sin embargo, conforme se estudió esto en más detalle, se encontró un problema: el sistema era inestable.

## 1.1 Inestabilidad electrodinámica

Si los electrones orbitan alrededor del núcleo, están acelerados. Sin embargo, un electron acelerado pierde energía! En efecto, la potencia electromagnética emitida por un electron acelerado (no relativista), obedece la formula de Larmor:

$$P = \frac{2e^2 a^2}{3c^3} = -\frac{dU}{dt} \quad (1)$$

Donde trabajamos en unidades gaussianas. Si el electron está en una orbita circular debido a una atracción coulombiana con el núcleo:

$$a \simeq \frac{e^2}{r^2 m_e} \quad (2)$$

Sabiendo que la energía en una orbita circular de velocidad  $v^2 = \frac{e^2}{m_e r}$  es  $U = -\frac{e^2}{2r}$ , se puede obtener que:

$$\frac{e^2}{2r^2} \frac{dr}{dt} = -\frac{2e^2 e^4}{3c^3 m_e^2 r^4} \quad (3)$$

Simplificando,

$$r^3 = A - 4Bct \quad (4)$$

Donde  $A$  y  $B$  son dos constantes. Por lo tanto, pareciera que el tiempo de caida del electron al núcleo es de:

$$t_{caida} = \frac{A}{4Bc} \simeq 1,6 \cdot 10^{-11} s \quad (5)$$

Esta cuenta no es del todo cierta (más allá del hecho de que los átomos no son inestables en su estado fundamental). Asumimos por ejemplo que el electron tiene orbita circular pero luego mostramos que cambia el radio!

Además, cuando el radio decrece lo suficiente el electron entra en el proton. Y ni hablemos de efectos relativistas. Sin embargo, estas aproximaciones son lo suficientemente validas como para darse cuenta de que el átomo no seria el cuerpo más estable del mundo.

## 1.2 Inestabilidad electroestática

Bueno, si no se puede mover, que se quedé quieto! Sin embargo, como mostró Earnshaw en 1852, un sistema electroestático es inestable. Consideremos el campo electrico  $E$  generado por el núcleo. En cualquier lugar que no sea el núcleo, el campo electrico no tiene divergencia. Esto implica que todos los puntos del espacio son puntos silla! Entonces, aunque yo inicialmente tenga un electron quieto en algun lugar del espacio, cualquier perturbación puede ponerlo en movimiento (y ya sabemos lo que pasa si se mueve).

Con estos dos argumentos, uno puede darse cuenta de que el átomo de Bohr no puede existir clásicamente! Por eso la osadia de imponer relgas cuánticas! Era una necesidad!