

Drude 2077

El Físico Barbudo · Cyberpunk · Castellano

Física del estado sólido

Escanea para ver el
videoclip

Nombre: _____

Curso: _____

Fecha: _____

Presentación del tema

En 1900, poco después de que J. J. Thomson identificara el electrón, Paul Drude propuso un modelo sencillo para explicar por qué los metales conducen la electricidad: tratar los electrones como un **gas de partículas clásicas** que se mueven libres entre los iones de la red y chocan de vez en cuando. Con eso reproduce la **ley de Ohm** y obtiene la conductividad, $\sigma = ne^2\tau/m$.

La canción lo cuenta desde dentro, en plan cyberpunk: la red cristalina es una cárcel infinita, el campo eléctrico arrastra a todos en la misma dirección y los choques no dan tregua. Así se visualizan la **velocidad de deriva** y el tiempo entre colisiones sin fórmulas.

El modelo también falla, y la letra lo reconoce: Sommerfeld tuvo que corregirlo con el **principio de exclusión de Pauli**. Un ejemplo perfecto de cómo un modelo imperfecto puede ser muy útil.

Letra explicada

Verso 1

1 Presa en esta gran red

La **red cristalina** de un metal es una disposición periódica de iones positivos. En el modelo de Drude esos iones están fijos y los electrones de valencia se mueven entre ellos. Paul Drude publicó el modelo en 1900, solo tres años después de que Thomson identificara el electrón.

Núcleos infinitos
hasta donde mi vista ve

Intento escapar

2 Nada aquí me ata

Los electrones de conducción no están ligados a un átomo concreto: forman un **gas de electrones libres**. El modelo de Drude supone además que no interaccionan entre sí ni con los iones, salvo en las colisiones. Es una idealización clásica, útil pero simplificada.

podría echar a andar

Coro

Noto como aumenta

3 El potencial

Al aplicar un **campo eléctrico** $\vec{E}$, cada electrón siente una fuerza $-e\vec{E}$ y se acelera en sentido contrario al campo. Sin campo, los electrones se mueven al azar y no hay corriente neta.

Me arrastra

Me obliga a avanzar

Me siento libre

4 Intento no chocar

Las **colisiones** son el ingrediente clave del modelo de Drude: ocurren de forma instantánea. Tras cada choque el electrón sale en una dirección aleatoria, lo que provoca la resistencia eléctrica del material.

Somos la marea

5 Que fluye sin parar

El movimiento ordenado resultante es la **velocidad de deriva**. Es muy pequeña, de una fracción de milímetro por segundo en un cable de cobre con corrientes domésticas, mucho menor que la velocidad térmica de los electrones. Aun así, la corriente se establece casi al instante, porque el campo eléctrico se propaga por el circuito a una velocidad cercana a la de la luz y pone en marcha a la vez a todos los electrones del cable.

Ya son del núcleo

Deja atrás a los caídos

Resiste los choques

Parar no está permitido

6 ¿Deslocalizada?

Los electrones **deslocalizados** no pertenecen a un átomo concreto, sino a todo el metal. Es el rasgo que distingue a los metales de los materiales en los que los electrones permanecen ligados.

Deja que te ayude

Eres un electrón

En el modelo de Drude

Drude, Drude

Modelo de Drude

Verso 2

7 Conductividad

El modelo de Drude reproduce la **ley de Ohm** en su forma microscópica. También explica que los buenos conductores del calor suelen serlo de la electricidad (ley de Wiedemann-Franz), aunque en parte por una cancelación de errores.

8 Gas eléctrico

Drude trató a los electrones como un gas ideal clásico, con la teoría cinética de los gases. Eso lleva a predecir un calor específico electrónico grande, que no se observa en los experimentos, y es uno de los fallos más notables del modelo.

9 que explica el efecto Hall

Edwin Hall observó en 1879 que, al aplicar un campo magnético perpendicular a una corriente, aparece una tensión transversal. Drude predice un coeficiente de Hall que permite estimar la **densidad de portadores**. En algunos metales el signo medido es positivo, algo que el modelo no puede explicar y que la teoría de bandas resuelve con la noción de huecos.

10 Sommerfeld dónde estás

Hacia 1927 **Arnold Sommerfeld** sustituyó la estadística clásica de Maxwell-Boltzmann por la de **Fermi-Dirac**, que incorpora el principio de exclusión de Pauli. Con ello se corrigió el calor específico electrónico, aunque se mantuvo el resto del esquema de Drude.

11 Choques aleatorios

En un cristal perfecto y a temperatura cero, las ondas electrónicas de la mecánica cuántica se propagan sin dispersión. La resistencia aparece por **impurezas, defectos y vibraciones de la red** (fonones), no porque los electrones choquen con cada ion como en la imagen de Drude.

esto va a estallar

12 Interacción prohibida

El **principio de exclusión de Pauli** impide que dos electrones ocupen el mismo estado cuántico. En un metal los electrones llenan los estados desde la energía más baja hasta la **energía de Fermi**, y solo los cercanos a ese nivel pueden participar en la conducción.

Temperatura aumenta

Aislantes, causa fallida

Cuántica teoría

13 Bandas que aparecen

En un sólido, los niveles de energía permitidos para los electrones se agrupan en **bandas** separadas por intervalos prohibidos (**gaps**). Esta estructura surge de resolver la ecuación de Schrödinger en un potencial periódico.

14 La última está vacía

En el modelo sencillo de **aislante** de bandas, la banda de valencia está completamente llena y la siguiente, la de conducción, está vacía, con un gap grande entre ambas. Sin estados libres cercanos, un campo eléctrico moderado no puede acelerar a los electrones y no hay corriente.

Coro

Noto como aumenta

El potencial

Me arrastra

Me obliga a avanzar

Me siento libre

Intento no chocar

Somos la marea

Que fluye sin parar

Ya son del núcleo

Deja atrás a los caídos

Resiste los choques

Parar no está permitido

¿Deslocalizada?

Deja que te ayude

Eres un electrón

En el modelo de Drude

Drude, Drude

Modelo de Drude

Actividades

1. Busca a qué velocidad se mueven de verdad los electrones dentro de un cable. ¿Cómo es posible que la bombilla se encienda en cuanto pulsas el interruptor?

2. Piensa por qué los choques de los electrones con los iones del metal hacen que un cable se caliente, y busca aparatos de casa que aprovechen ese efecto.

3. Debatid en grupo por qué un modelo que falla en el calor específico sigue enseñándose, y qué papel juegan las hipótesis simplificadoras en la física.

4. Clasifica materiales cotidianos como conductores, semiconductores o aislantes, y busca cómo explica la diferencia el modelo de bandas.

Para saber más

- **Modelo de Drude** · Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_Drude
- **Efecto Hall** · Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Hall
- **Teoría de bandas** · Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_de_bandas
- **Solid State Physics** · N. W. Ashcroft y N. D. Mermin

Voz: Irene Aparicio · Letra: Adrián García · Música: Adrián García · Masterización: Adrián García
Física a todo volumen, de El Físico Barbudo. <https://fisicaatodovolumen.com/canciones/drude-2077/>