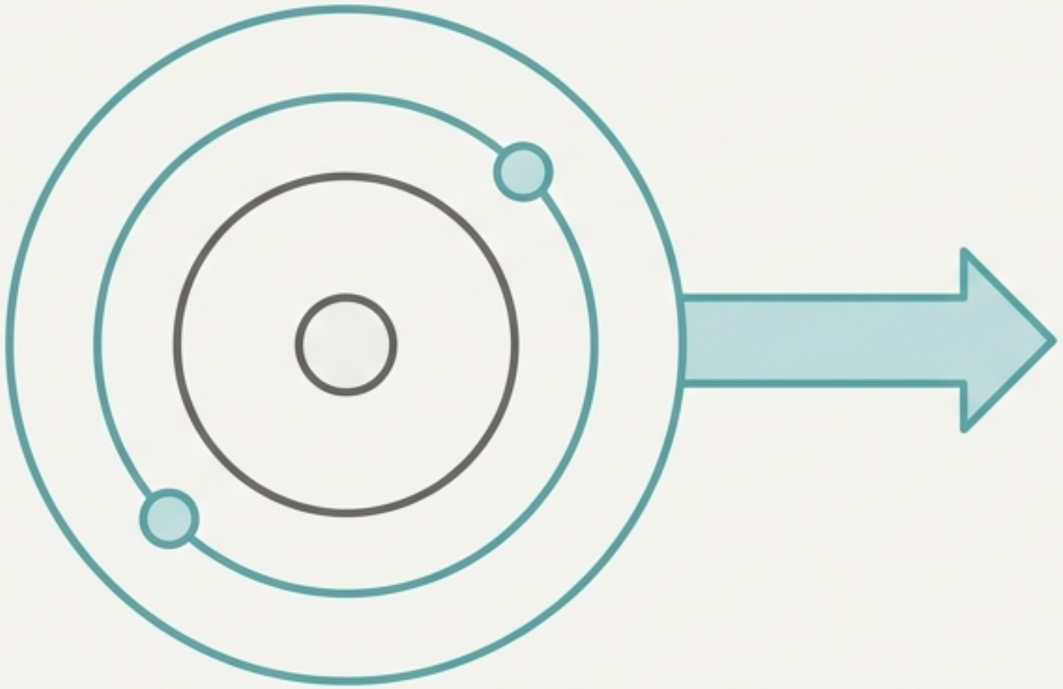
جامعة طيبة
TAIBAH UNIVERSITY

تجربة فرانك-هيرتز: البرهان المرئي

كيف أثبت تصادم الإلكترونات صحة فرديات بور وكشف عن تكميم الطاقة في الذرة.

NotebookLM

السؤال الذي حير الفيزياء في مطلع القرن العشرين



في عام 1913, اقترح نيلز بور نموذجًا ثوريًا للذرة, مفترضًا أن الإلكترونات لا يمكنها أن توجد إلا في مستويات مستويات طاقة محددة "مكمّمة". كانت فكرة جريئة, لكنها كانت تفتقر إلى دليل تجريبي مباشر. كان السؤال المحوري هو:

هل يمكننا الحصول على دليل مادي ومباشر يثبت أن مستويات الطاقة داخل الذرة مكمّمة بالفعل؟

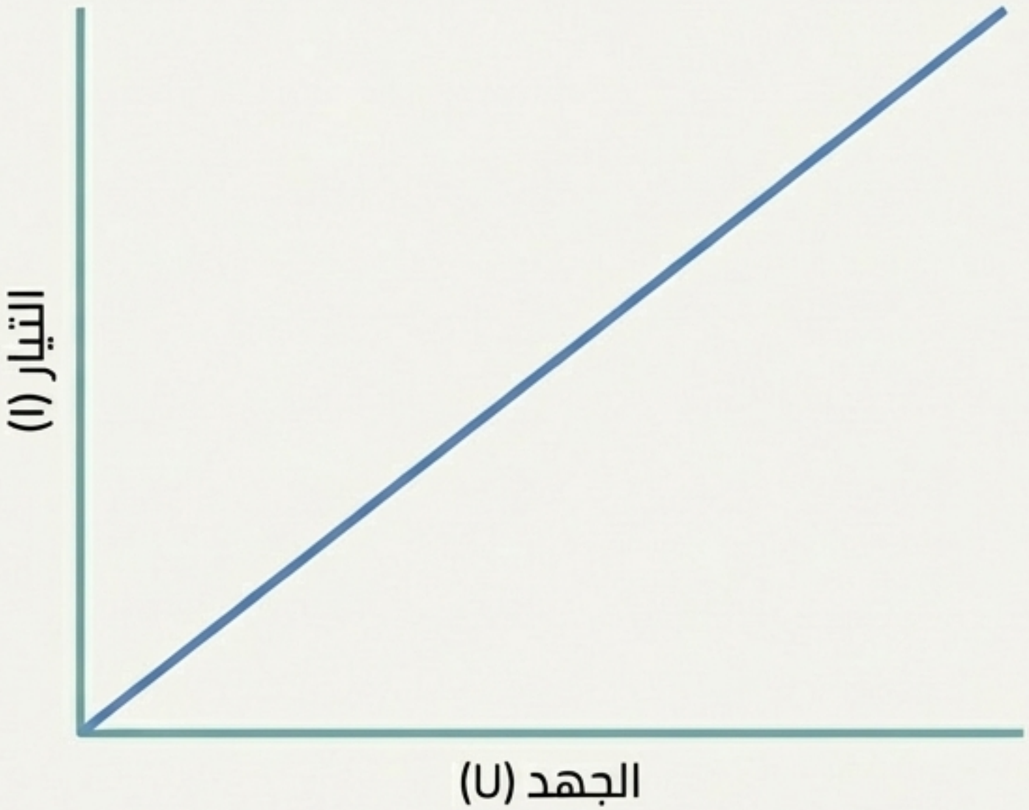
NotebookLM

التوقعات الكلاسيكية: عالمٌ يمكن التنبؤ به

وفقًا للفيزياء الكلاسيكية, إذا قمنا بتسريع إلكترونات عبر غاز, يجب أن تزداد طاقتها وتيارها بشكل مستمر وسلس مع زيادة جهد التسريع.

- التصادمات بين الإلكترونات والذرات ستكون مرنة, مثل كرات البلياردو, حيث ستكون مرنة, مثل كرات البلياردو, حيث يتم فقدان جزء صغير من الطاقة تدريجيًا.
- النتيجة المتوقعة: علاقة طردية ومستمرة بين جهد التسريع (U) والتيار المقاس (I).

النتيجة المتوقعة حسب الفيزياء الكلاسيكية

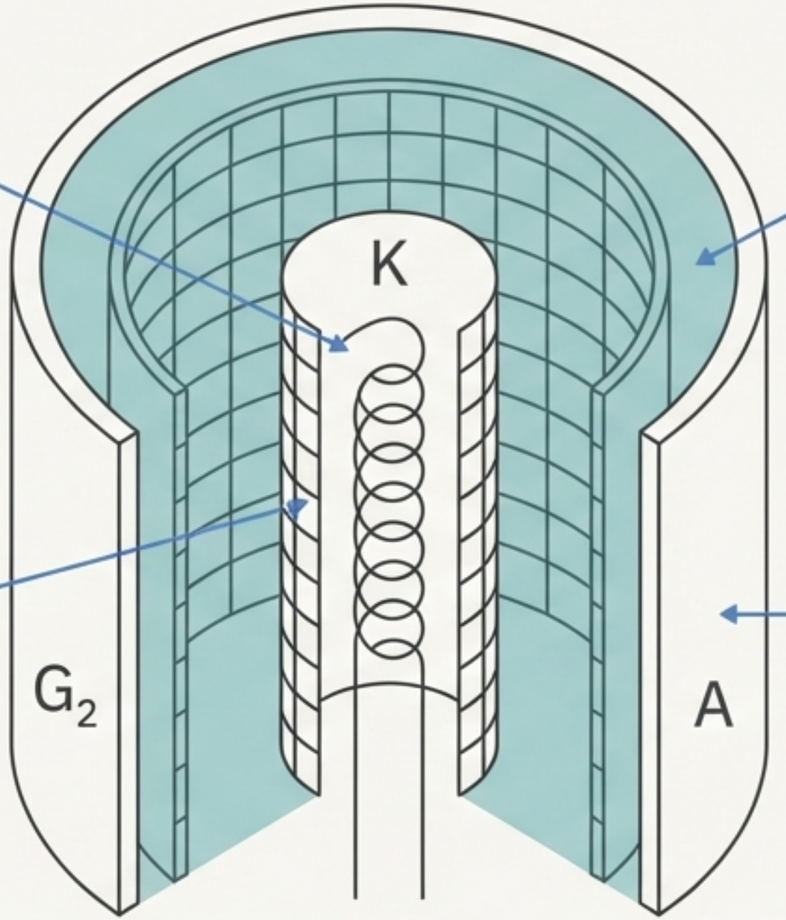


NotebookLM

الأداة: أنبوب فرانك-هيرتز

1. المهبط (K): فتيل تسخين يطلق الإلكترونات عند مرور تيار به.

2. شبكة التسريع (G_2): تطبق عليها شحنة موجبة موجبة (U_2 جهد) لتسريع الإلكترونات نحوها.

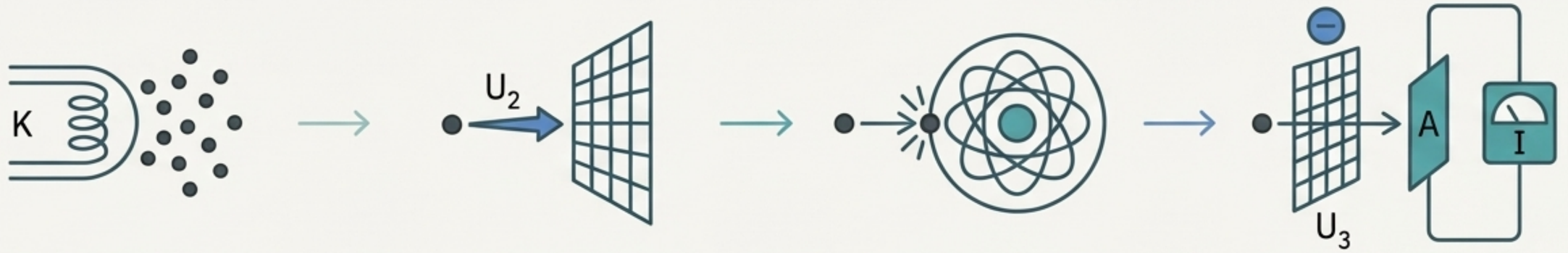


3. بخار الزئبق (Hg): تملأ الأنبوبة ذرات الزئبق عند ضغط منخفض منخفض جداً لتكون " للإلكترونات.

4. المصعد/المجمع (A): لوح تجميع عليه جهد كابح سالب وصغير (U_3) لقياس التيار الناتج عن الإلكترونات الواصلة.

NotebookLM

رحلة الإلكترون داخل الأنبوب



الخطوة 1: الانبعاث:
يتم تسخين المهبط (K)، فتنبعث منه سحابة من الإلكترونات.

الخطوة 2: التسريع:
يجذب الجهد الموجب (U_2) على الشبكة الإلكترونات، مما يمنحها طاقة حركة تساوي ($U_2 * e$)، يمكننا التحكم في هذه الطاقة عبر تغيير قيمة U_2.

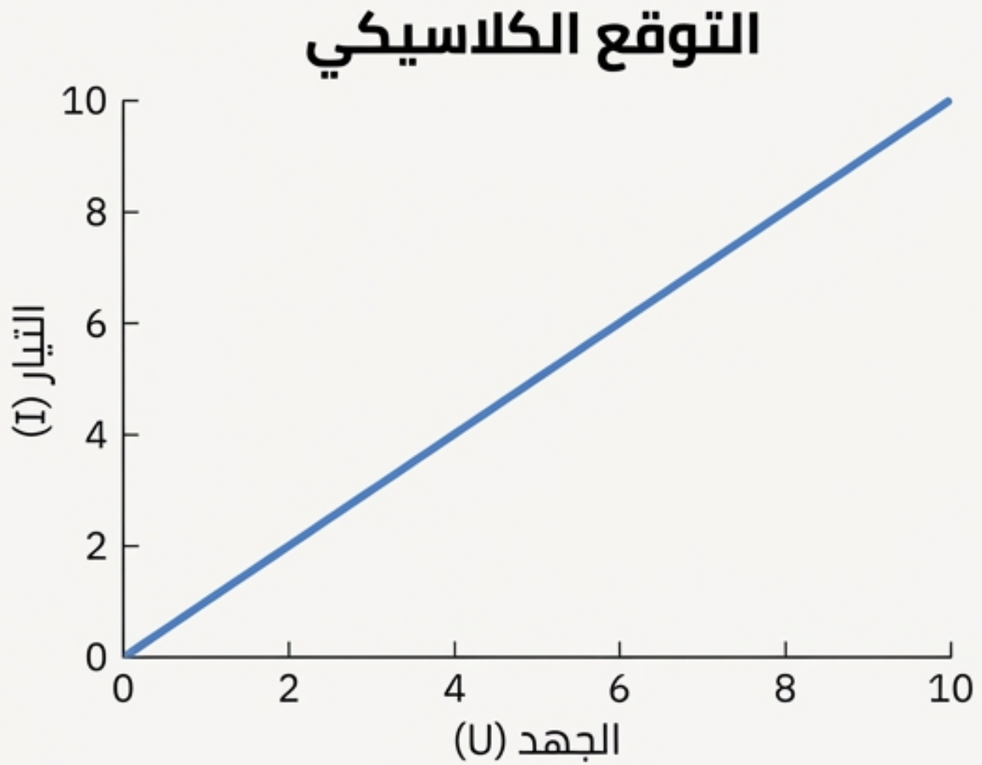
الخطوة 3: التصادم:
أثناء رحلتها، تصطدم الإلكترونات بذرات الزئبق الموجودة في الأنبوب.

الخطوة 4: التجميع:
الإلكترونات التي تمتلك طاقة كافية لتجاوز الجهد الكابح السالب (U_3) تصل إلى المجمع (A)، ويتم تسجيلها كتيار كهربائي (I).

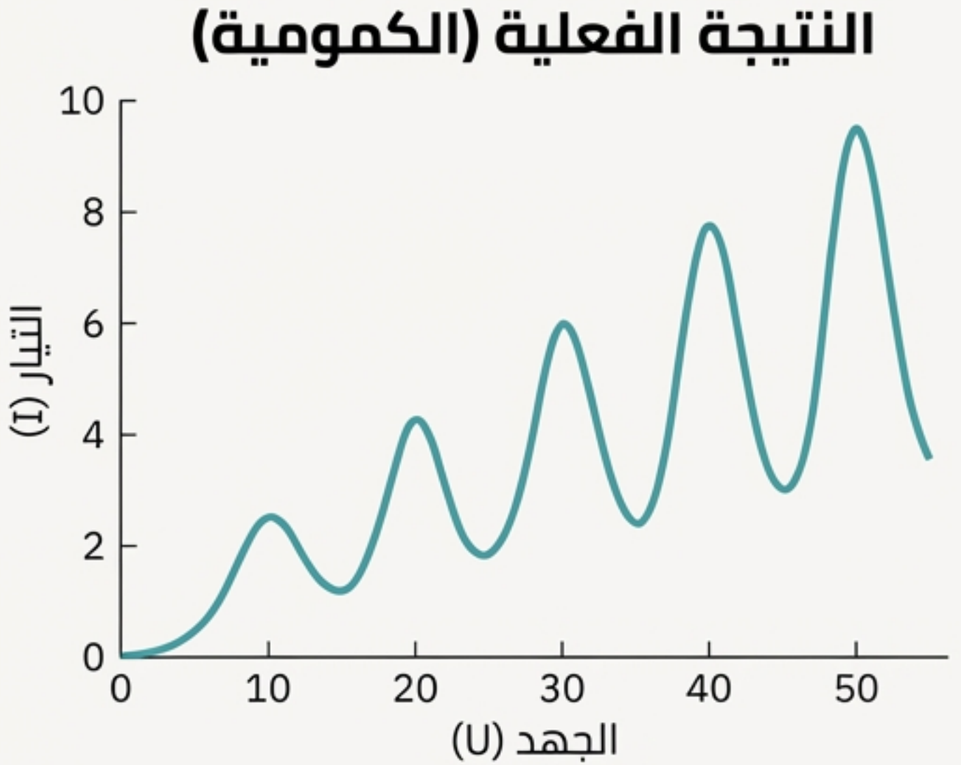
شدة التيار (I) هي مقياس مباشر لعدد الإلكترونات التي نجحت في الوصول إلى النهاية.

NotebookLM

لحظة الكشف: عندما خالفت الحقيقة كل التوقعات



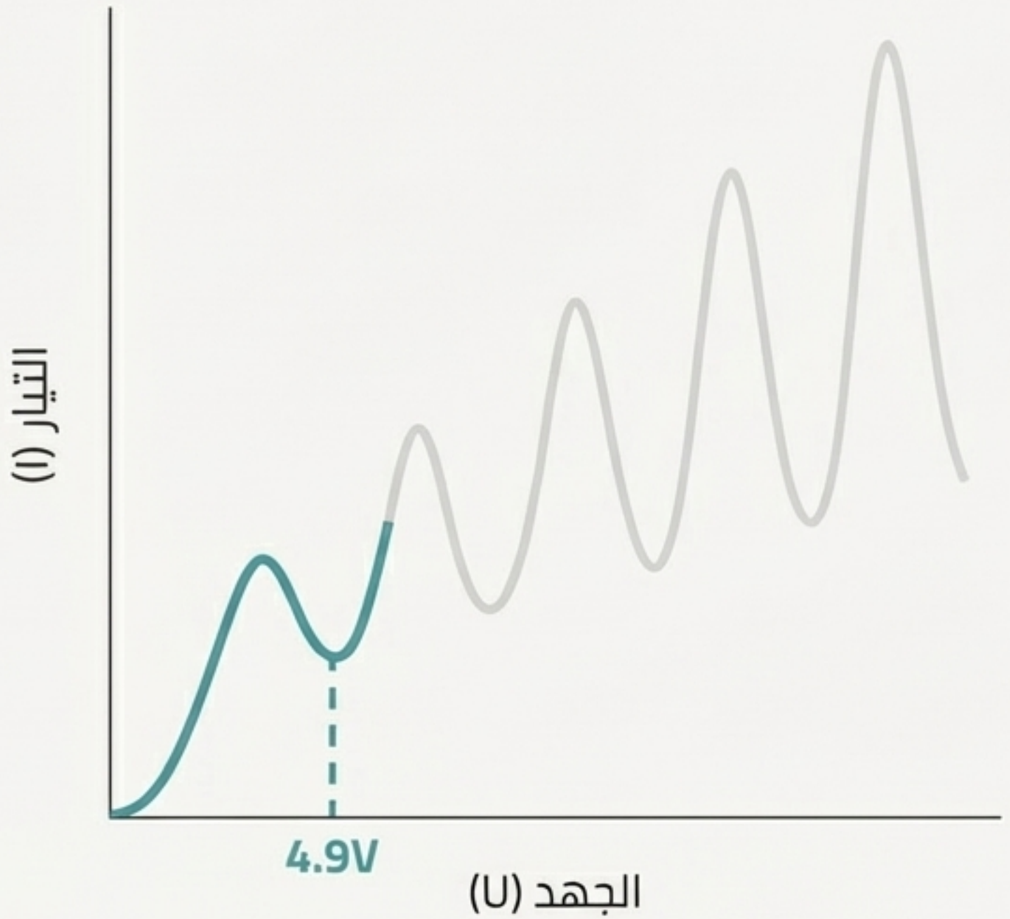
VS



لماذا ينخفض التيار بشكل مفاجئ عند قيم جهد محددة؟

NotebookLM

فك الشفرة: سر الانخفاض الأول عند 4.9 فولت



1. **قبل 4.9 فولت:** طاقة الإلكترونات غير كافية لإثارة ذرات الزئبق. **التصادمات** تكون **مرنة**, وتمر الإلكترونات بسلام لتصل إلى المجمع, فيزداد التيار.

2. **عند 4.9 فولت تمامًا:** تصل طاقة الإلكترون إلى قيمة محددة (4.9 إلكترون فولت). عند هذه النقطة, يحدث "تصادم غير مرن".

3. **التصادم غير المرن:** تمتص ذرة الزئبق طاقة الإلكترون بالكامل, مما يثيرها إلى مستوى طاقة أعلى.

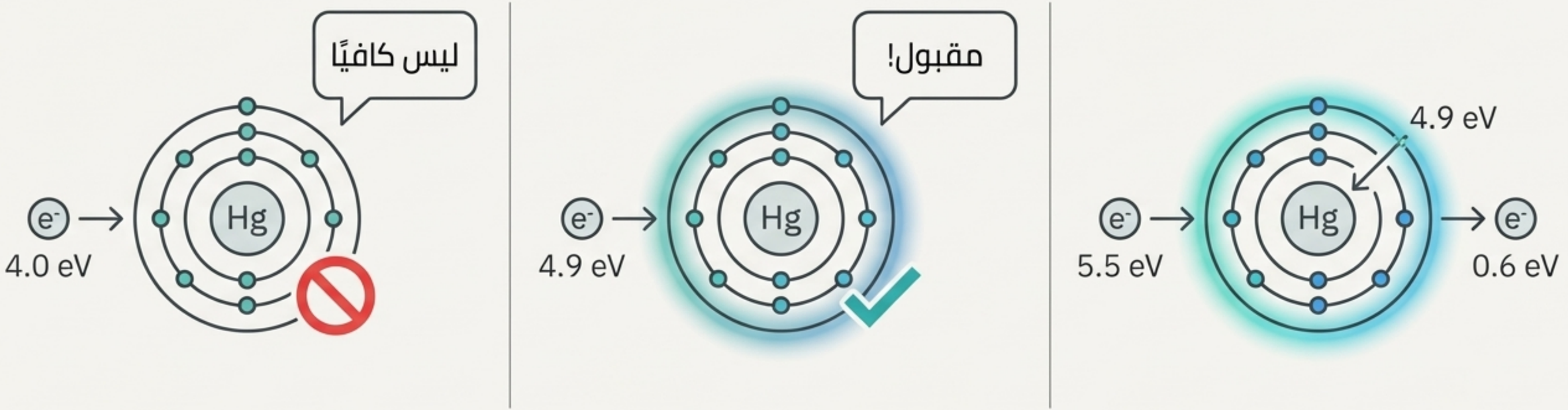
4. **النتيجة:** يفقد الإلكترون كل طاقته الحركية, ولا يستطيع تجاوز الجهد الكابح للوصول إلى المجمع.

النتيجة: هبوط حاد ومفاجئ في التيار.

NotebookLM

مبدأ "المبلغ المحدد": لماذا لا تقبل الذرة أي طاقة؟

لا تمتص ذرة الزئبق الطاقة إلا بكميات محددة (كَمّات). إنها تشبه آلة بيع لا تقبل إلا عملة من فئة معينة بالضبط.



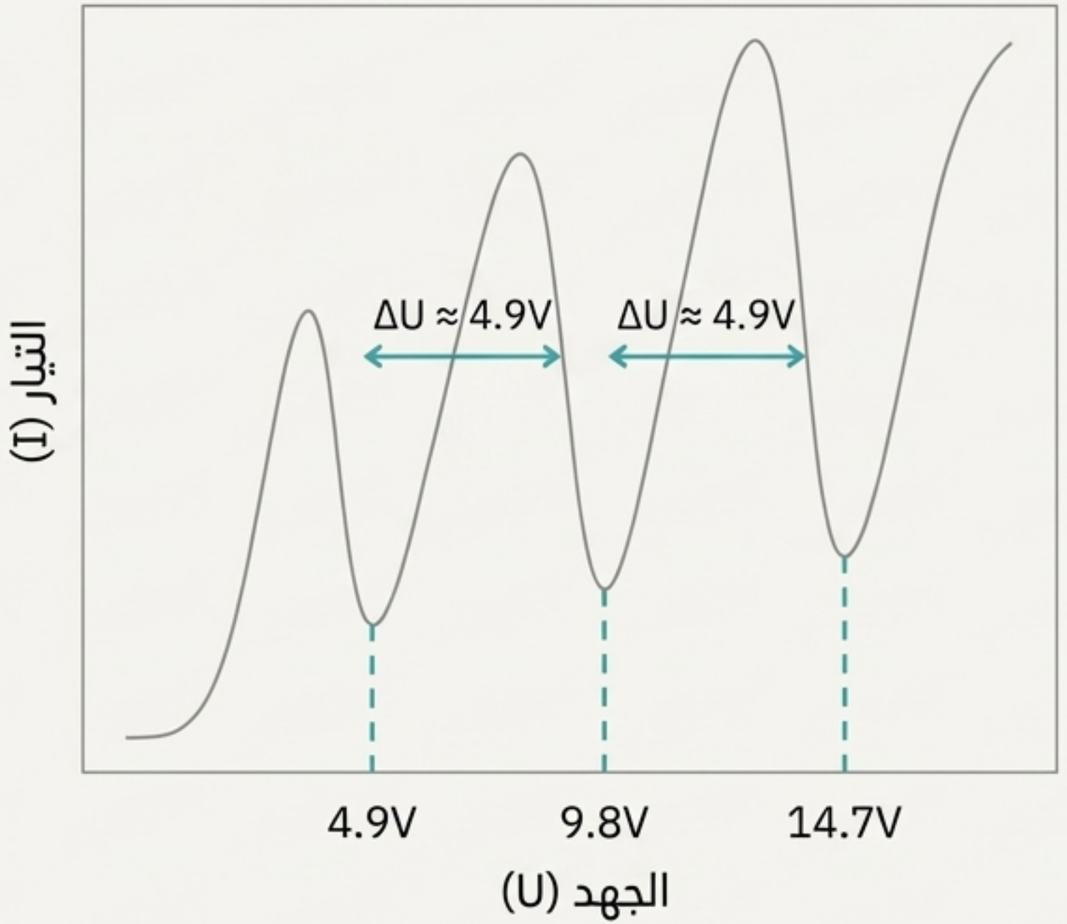
هذا دليل مباشر على أن الذرة لا يمكنها امتصاص أي كمية عشوائية من الطاقة؛ يجب أن تكون الطاقة مساوية تمامًا للفرق بين مستويين من مستوياتها المسموح بها.

NotebookLM

النمط يتكرر: الانخفاضات عند مضاعفات 4.9 فولت

- **عند 9.8 فولت (2 x 4 4):** يمتلك الإلكترون طاقة كافية لإثارة ذرة زئبق واحدة (يفقد 4.9 فولت)، ثم يواصل طريقه بالطاقة المتبقية (4.9 فولت) ليصطدم بذرة زئبق ثانية ويثيرها، فيفقد كل طاقته. فينخفض التيار مرة أخرى.
- **عند 14.7 فولت (3 x 4.9):** تتكرر العملية ثلاث مرات.

Key Insight: هذه التكرارات المنتظمة ليست مصادفة. إنها تثبت أن وحدة الطاقة الأساسية التي تتبادلها الإلكترونات مع ذرات الزئبق هي دائمًا 4.9 إلكترون فولت.



NotebookLM

البرهان الأخير: الضوء المنبعث

Question:

إذا امتصت ذرة الزئبق 4.9 إلكترون فولت من الطاقة، فأين تذهب هذه الطاقة؟

Answer:

الذرة المثارة لا تبقى في حالتها المثارة طويلاً. سرعان ما تعود إلى حالتها المستقرة، مطلقةً الطاقة الممتصة على شكل فوتون ضوئي.

The Calculation:

طاقة الفوتون (E) = 4.9 eV

العلاقة بين الطاقة والطول الموجي:

$$E = hc/\lambda \quad => \quad \lambda = hc/E$$

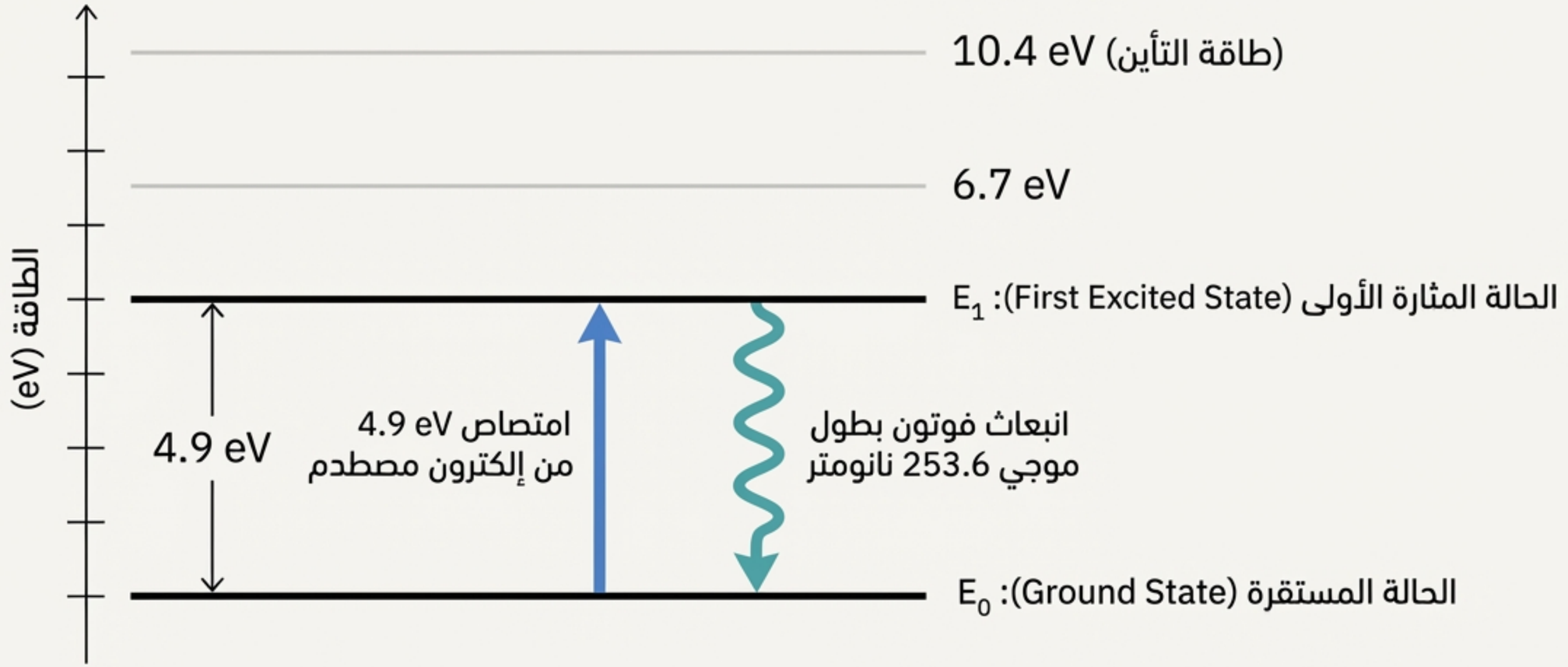
بالتعويض بالقيم (مع تحويل eV إلى جول):

$\lambda = (1240\ eV{\cdot}nm) / 4.9\ eV \approx$ **253.6 nm**

وبالفعل، تم رصد طيف انبعاث فوق بنفسجي من أنبوب التجربة عند طول موجي 253.6 نانومتر بالضبط، مما يؤكد أن الطاقة المفقودة من الإلكترونات هي نفسها الطاقة المنبعثة كضوء.

NotebookLM

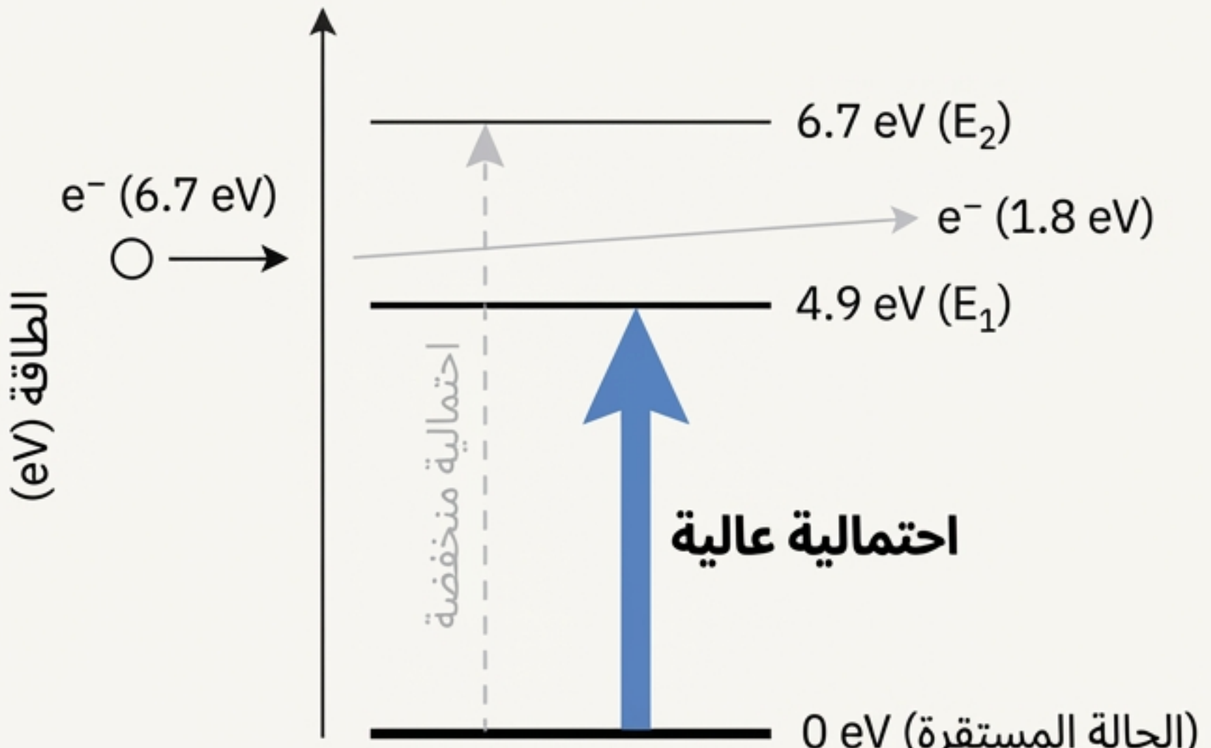
خريطة الطاقة لذرة الزئبق



مخطط مستويات الطاقة هذا يفسر تمامًا البيانات التجريبية: الانخفاضات في التيار والانبعاث الضوئي.

NotebookLM

سؤال للمتخصصين: لماذا لا نرى انخفاضًا عند 6.7 فولت؟



The Problem

يمتلك الزئبق مستوى طاقة مثار آخر عند 6.7 eV.
فلماذا لا يظهر انخفاض في التيار عند هذه القيمة؟

The Explanation

- الاحتمالية هي العامل الحاسم. احتمالية إثارة الذرة إلى المستوى الأول (4.9 eV) أكبر بكثير من احتمالية إثارتها إلى المستويات الأعلى.
- عندما يمتلك إلكترون طاقة 6.7 eV أو أكثر، فإن ذرة الزئبق "تفضل" امتصاص "الكم" الأسهل والأول المتاح، وهو 4.9 eV.
- يتبقى مع الإلكترون طاقة (6.7 - 4.9 = 1.8 eV)، وهي طاقة كافية للوصول إلى المجمع وتسجيل تيار، وبالتالي لا يحدث انخفاض ملحوظ.

NotebookLM

الأثر والإرث: تجربة غيّرت مسار الفيزياء

كانت تجربة فرانك-هيرتز (1914) أول برهان عملي ومباشر على:

1

1. تكميم الطاقة

وجود مستويات طاقة منفصلة منفصلة ومحددة داخل الذرات.

2

2. التصادمات غير المرنة

إثبات آلية امتصاص الإلكترونات لكمّات محددة من الطاقة.

168

3. تأكيد نموذج بور

تقديم دليل تجريبي حاسم يدعم الفرضيات الأساسية لفيزياء الكم. الكم.

لم تكن مجرد قياس للتيار والجهد، بل كانت نافذة فُتحت لأول مرة لنرى **بأعيننا** الطبيعة الكمومية للواقع الذري.

NotebookLM

ملحق: تفاصيل إعداد التجربة والقياسات

مثال على القياسات

مثال على القيم المقاسة في التجربة:

- U_1 = 1.58 V
- U_2 = 3.95 V
- T = 180 °C

من المنحنى في الشكل 4، متوسط المسافة بين القمم المتتالية يعطي:

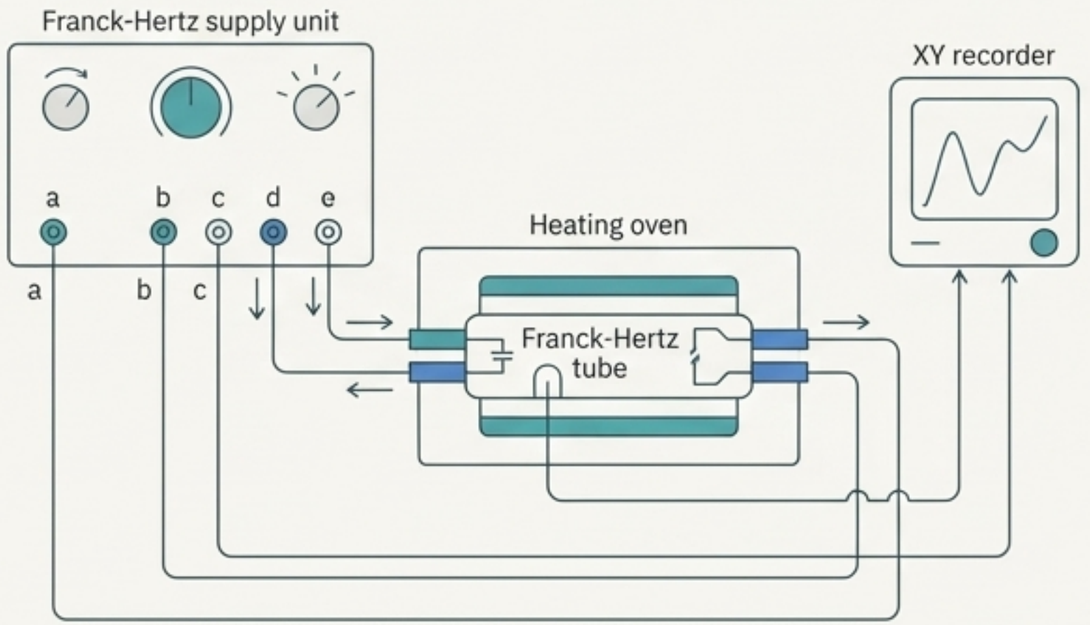
- ΔU_2 = 5.1 V

وهذا يتوافق مع انتقال طاقة قدره:

- ΔE = 5.1 eV

(القيمة النظرية المقبولة هي 4.9 eV، مما يوضح الدقة العالية للتجربة).

مخطط الإعداد التجريبي



NotebookLM