كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء اشعاعية

المحاضرة : الثالثة/عملي/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

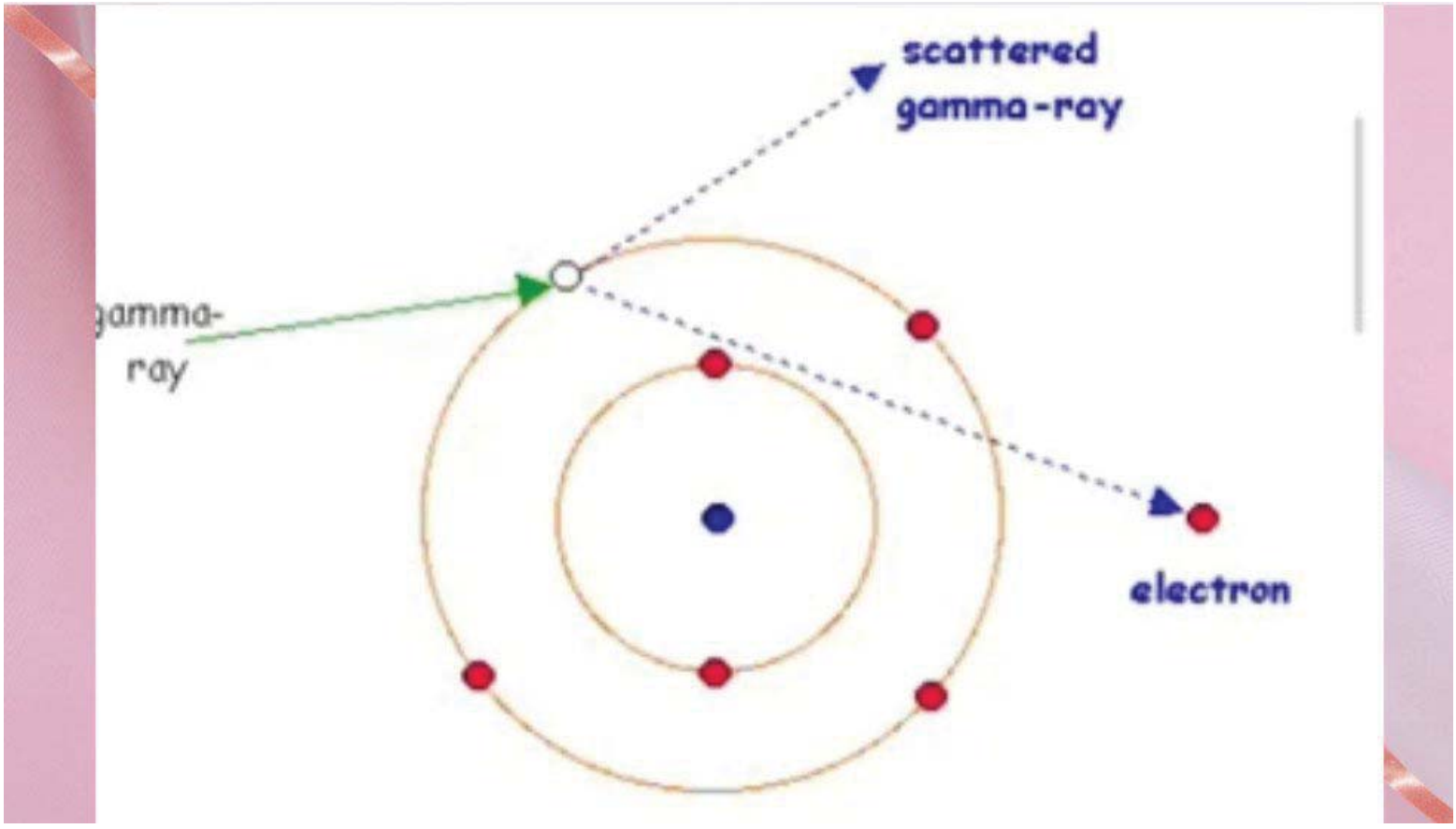
كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

مفعول كمبتون
Compton effect

إعداد الطالبات

١-مريام ديب.
٢ تولاي سعده.
٣-نغم خضور.
٤-نور الهدى إبراهيم.
٥-نور جنيدي.
٦-شهناز محمد.
٧-رهام أحمد.
٨-علا سميا.



🧠 مفعول كومبتون

المقدمة 🧾

يُعد **مفعول كومبتون** أحد أهم التجارب التي أكدت الطبيعة الجسيمية للضوء وأدت إلى ترسيخ مفهوم **الفوتون** في الفيزياء الحديثة.

قبل تجربة كومبتون، كان يُنظر إلى الضوء باعتباره موجة كهرومغناطيسية فقط. إلا أن نتائج هذه التجربة أثبتت أن الضوء يمكن أن يتصرف كجسيمات تمتلك زخمًا وطاقة محددة، وهو ما مهد الطريق لنشوء **ميكانيكا الكم**.

تم اكتشاف الظاهرة عام **1923م** على يد الفيزيائي الأمريكي **آرثر هولي كومبتون (Arthur H. Compton)**، وقد نال عنها **جائزة نوبل في الفيزياء عام 1927**.

🔬 الفصل الأول: الأساس النظري لمفعول كومبتون

📌 تعريف مفعول كومبتون

(Compton effect) :

هو ظاهرة تشتت تحدث عندما يصطدم فوتون عالي الطاقة (مثل الأشعة السينيةX-ray أو أشعة غاما) ب إلكترون حر أو ضعيف الارتباط في المادة .

★★_وينتج عن هذا الاصطدام :

1-فوتون مبعثر بطاقة أقل وزاوية انحراف θ.

2-إلكترون مرتد بطاقة حركية معينة.

⚙️ ما المقصود بـ "عتبة كومبتون"؟

هي **الحد الأدنى للطاقة** التي يجب أن يمتلكها الفوتون لكي يحدث **تبعثر كومبتوني** واضح (أي أن يصطدم بالإلكترون ويغيّر اتجاهه وطوله الموجي بشكل ملحوظ).

وجه المقارنة	الظاهرة الكهروضوئية	مفعول كومبتون
نوع التفاعل	امتصاص كامل (للفوتون)	تصادم مرن (تشتت)
مصير الفوتون	يختفي	يتشتت (بطول موجي أطول)
الطاقة المتبادلة	ينقل كل طاقته إلى الإلكترون.	ينقل جزءًا من طاقته إلى الإلكترون.
الطاقة السائدة	طاقات منخفضة (ضوء مرئي/ فوق بنفسجي)	طاقات عالية (أشعة X / جاما)
حالة الإلكترون	مرتبط بقوة	حر أو ضعيف الارتباط

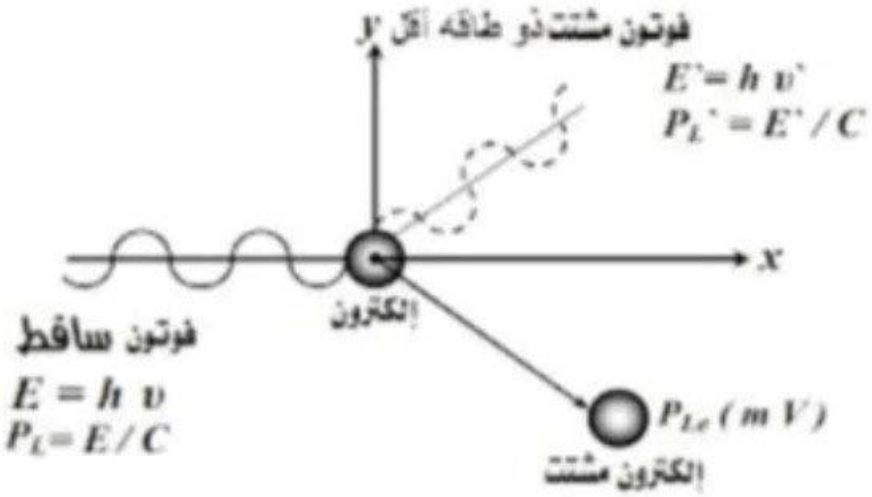
كاشف كومبتون

🧩 الفصل الثاني: تجربة كومبتون الأصلية

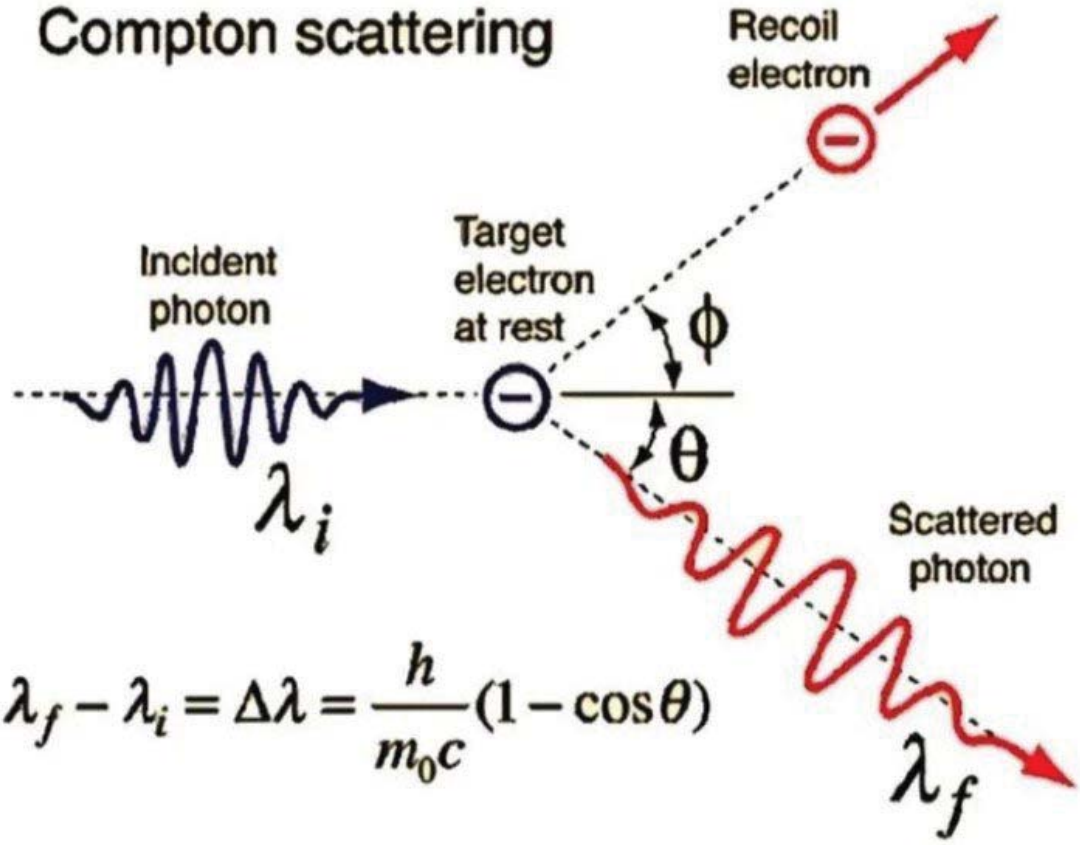
أجرى كومبتون تجربته باستخدام:

- مصدر للأشعة السينية.
- هدف من الغرافيت (كربون).
- كاشف لقياس شدة وطيف الأشعة المبعثرة.

عند توجيه الأشعة السينية إلى الهدف، لاحظ أن الطول الموجي للأشعة المبعثرة يزداد بزاوية التشتت، وفقًا للمعادلة السابقة.



إضافة تسمية توضيحية



1. قبل التصادم (Input)

- الفوتون الساقط: يمتلك طاقة عالية (E_0) وزخماً، وطوله الموجي قصير (λ_0).
- الإلكترون: يُفترض أنه في حالة سكون أو ضعيف الارتباط في المادة.

2. لحظة التصادم (Collision)

يحدث تصادم مرن بين الفوتون والإلكترون، تماماً مثل تصادم كرتي بلياردو.

3. بعد التصادم (Output)

1. الفوتون المتشتت:
   - يغير اتجاهه بزاوية θ.
   - يفقد جزءاً من طاقته ($E' < E_0$) لأنه منحها للإلكترون.
   - بسبب فقدان الطاقة، يزداد طوله الموجي ($\lambda' > \lambda_0$)، وهذا التغير هو ما يُعرف بـ إزاحة كومبتون ($\Delta\lambda$).
2. الإلكترون المرتد (Recoil Electron):
   - يندفع بزاوية ϕ.
   - يكتسب طاقة حركية (KE) تساوي تماماً الطاقة التي فقدها الفوتون (وفقاً لقانون حفظ الطاقة).

📈 الفصل الثالث: التحليل الكمي

⚙️ الفرضيات الأساسية

- الفوتون قبل التصادم له:
  - طاقة: $E = h\nu$
  - زخم: $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$
- بعد التصادم:
  - الفوتون ينتقل بتردد جديد ν' وطول موجي جديد λ'.
  - الإلكترون يكتسب طاقة حركة وزاوية انحراف.

⚖️ مبدأ حفظ الطاقة

نكتب معادلة حفظ الطاقة قبل وبعد التصادم:

$$h\nu + m_e c^2 = h\nu' + \sqrt{(p_e c)^2 + (m_e c^2)^2}$$

حيث:

- m_e: كتلة الإلكترون الساكنة
- p_e: زخم الإلكترون بعد التصادم

🔁 مبدأ حفظ الزخم (اتجاهي)

نطبقه في الاتجاهين x و y:

$$\begin{cases} \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}\cos\theta + p_e\cos\phi \\ 0 = \frac{h}{\lambda'}\sin\theta - p_e\sin\phi \end{cases}$$

حيث:

- θ: زاوية انحراف الفوتون بعد التصادم
- ϕ: زاوية انحراف الإلكترون

🔬 الاشتقاق الرياضي

من معادلات الزخم والطاقة نحصل بعد التبسيط على العلاقة التالية (نستخدم العلاقة النسبية للطاقة):

$$p_e^2c^2 = (h\nu - h\nu')^2 + 2h\nu h\nu'(1-\cos$$

وبعد إدخال العلاقة $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ نحصل على:

$$\frac{1}{\lambda'-\lambda} = \frac{m_e c}{h}(1-\cos\theta$$

لكن الأفضل كتابتها بالشكل القياسي المعروف 👇

✅ معادلة كومبتون النهائية

$$\boxed{\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta}$$

الرمز	المعنى
λ	الطول الموجي للفوتون قبل التصادم
λ'	الطول الموجي للفوتون بعد التصادم
h	ثابت بلانك (6.626×10^{-34} J·s)
m_e	كتلة الإلكترون (9.109×10^{-31} kg)
c	سرعة الضوء (3×10^{8} m/s)
θ	زاوية تشتت الفوتون

$$1.\ E = h \cdot f$$

نعلم أن $P = \frac{E}{c}$

نعلم أن $f = \frac{c}{\lambda}$

نقسم على السرعة $\rightarrow \frac{E}{c} = h \cdot \frac{f}{c} \rightarrow P = h \cdot \frac{C \setminus \lambda}{C} = h \cdot \frac{1}{\lambda}$

$$\rightarrow mc = h \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$m = h \cdot \frac{1}{c\lambda}$$

قانون انحفاظ الاندفاع

$$2.\ P_p + P_e = P'_p + P'_e$$

قانون انحفاظ الطاقة

$$3.\ E_p + E_e = E'_p + E'_e$$

$$\lambda' = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 C}(1 - \cos\theta)$$

$\lambda' \geq \lambda$

طول موجة كومتون

$$\frac{h}{m_0 c} = 0.0024nm$$

يوجد 3 حالات خاصة :

الأولى

$\theta = 0$

$\cos\theta = 1$

$$\lambda' = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c}(1 - 1)$$

$$\rightarrow \lambda' = \lambda_0$$

يمر الفوتون دون أن يتأثر

الثانية

$\theta = 90$

$\cos\theta = 0$

$$\lambda' = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c}(1 - 0)$$

$$\rightarrow \lambda' = + \lambda_0 \frac{h}{m_0 c}$$

الثالثة

$\theta = 180$

$\cos\theta = -1$

$$\lambda' = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c}(1 - (-1))$$

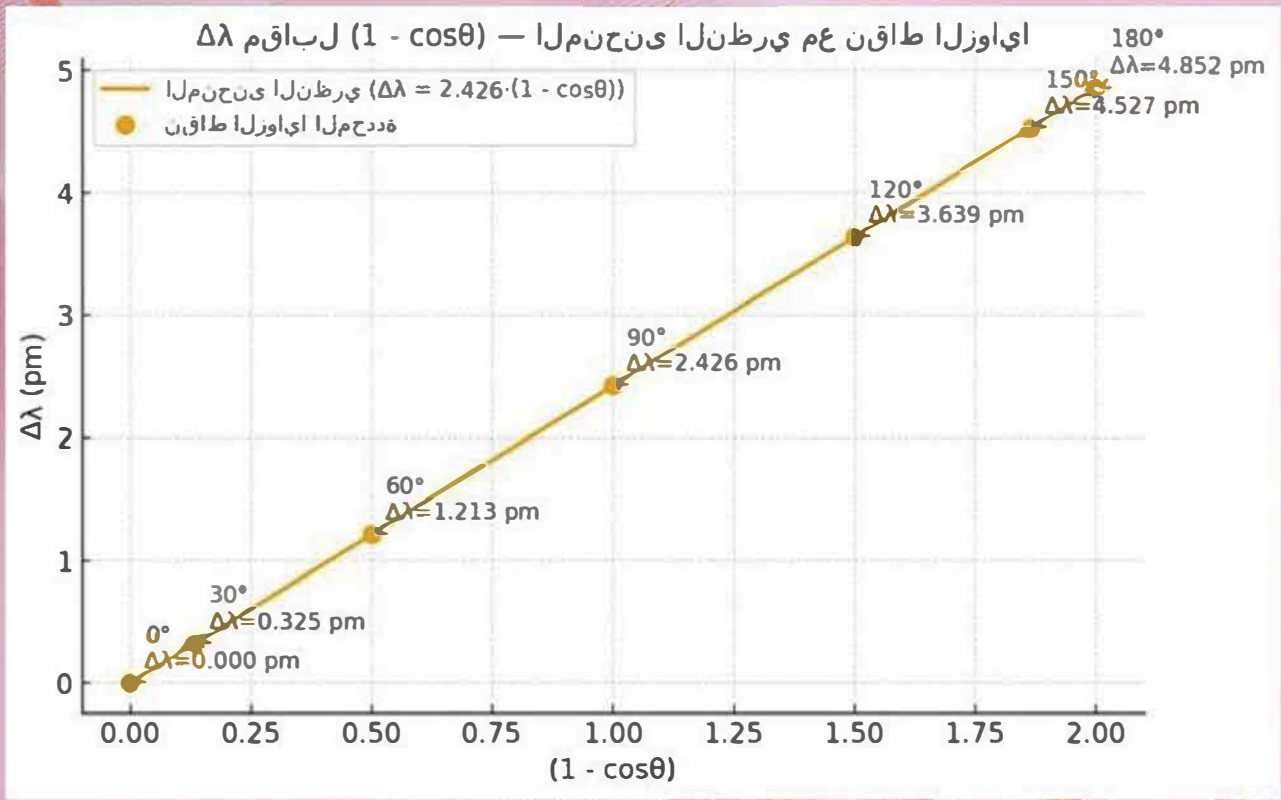
$$\rightarrow \lambda' = \lambda_0 + 2\left(\frac{h}{m_0 C}\right)$$

النتيجة : ضعف طول موجة كومتون هي القيمة المضافة على طول الموجة الأصلي لتصطبح طول طول الموجة بعد الاصطدام وتبعث تسمى الموجة بعد الاصطدام

علما أن E0=5MeV ثابت بلانك $h = 6.63 \times 10^{-34}\ J\cdot s$

θ (درجة)	λ_0 (pm)	λ' (pm)	$(\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0)$
0°	0.246 pm	0.246 pm	0.000 pm
30°	0.246 pm	0.247 pm	0.001 pm
45°	0.246 pm	0.257 pm	0.011 pm
60°	0.246 pm	0.246 pm	0.000 pm
90°	0.246 pm	2.71 pm	2.464 pm
180°	0.246 pm	5.1 pm	4.854 pm

$\lambda(m) = \lambda(pm) \times 10^{-12}$



الفصل الرابع: التطبيقات الحديثة لمفعول كومبتون

التطبيق	المجال
يستخدم في التصوير المقطعي بالإصدار الفوتوني (SPECT) وتحليل طاقة الفوتونات.	الطب النووي
في تفسير أطياف الأشعة السينية القادمة من النجوم النيوترونية والثقوب السوداء.	الفيزياء الفلكية
لفهم تفاعلات الفوتونات مع الإلكترونات عالية الطاقة.	فيزياء الجسيمات
لتحديد التركيب الإلكتروني للمواد بواسطة مطيافية كومبتون.	تحليل المواد

الفصل الخامس: محاكاة تجريبية تعليمية

يمكن إجراء محاكاة لمفعول كومبتون باستخدام أدوات مثل PhET Simulation أو برمجيات Python، لملاحظة تغير الطول الموجي مع زاوية التشتت.
تُظهر النتائج تطابقًا تامًا مع المعادلة النظرية.

⏱️ الخاتمة

أكد مفعول كومبتون أن الضوء يحمل زخمًا ويمكن أن يتصرف كجسيم، **مما دعم نموذج الثنائية الموجية الجسيمية في** ميكانيكا الكم.
لقد غيّرت تجربة كومبتون جذريًا فهمنا للتفاعل بين الإشعاع والمادة، وجعلت من مفهوم الفوتون أساسًا في جميع فروع الفيزياء الحديثة.

📚 المراجع

1. Arthur H. Compton, *"A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements"*, **Physical Review**, 1923.
2. Halliday, Resnick & Walker, *Fundamentals of Physics*, Wiley.
3. Tipler, *Modern Physics*, 6th Edition.
4. موقع PhET Interactive Simulations, جامعة كولورادو.
5. مصادر أكاديمية عربية في الفيزياء الحديثة.

مكتبة A to Z