تعريف مقطع التصادم

مقدمة

من يتأمل في الطبيعة حوله يدرك وجود أجسام تصدم بعضها البعض، مثلا نرى كرتان يتصادمان وسيارتان يتصادمان واجساما في الضوء الذي يتخلل الضلام في حالة تصادم دؤوب... ماذا يحدث في تصادم الأجسام؟ إن عملية تصادم جسمين تتم باقترابهما من بعضهما البعض ثم يبتعدان، أو يقتربان من بعضهما البعض ثم يتهشمان ... فلما يقترب جمسم من آخر ثم يبتعد تتغير سرعته وبالتالي دفعه الخطي ودفعه الزاوي وطاقته. يمكنن القول أن عملية تصادم الأجسام في حقيقة الأم هي عملية " تبادل كمياتي فيزيائية "، وهي الدفعات الخطية ودفعات الزاوية والطاقات.

ولو تأملنا في حالة الأجسام الدقيقة مثل جزيءات الغاز لأدركنا أنه في عشوائية دؤوبة لا تهدأ ابدا، تبلغ متوسط سرعتها في ضروف الغرفة 450 م/ث تقريبا، وعليه جزيئات الهواء الذي تستنشقه وغيره في حالة تصادم، يعني تتبادل كميات فيزيائية. ولو تأملنا في حالة المادة الأسلسيى لأدركنا أن هناك تصادم بين الذرات والذرات والذرات والإلكترونات وبين الأيونات ...

إن القوانين التي تدير عملة التصادم، تصادم جسمين، هي حفظ كميات الفيزيائية للأجسام المتصادمة وما يسمى بمقطع التصادم. وهي أداة تعرف وتحسب وتقاس، قلما نجد أداة في الفيزياء تتمتع بكل هذه الصفات. خصص هذا الجزء من الدرس لعرض تعريف مقطع تصادم جسمين. وفيما يلي من دروس فيه تطبيقات لحساب مقطع التصادم لمختلف الظواهر الفيزيائية. لمقطع التصادم أهمية بالغة في البحوث والصناعة.

على ضوء التحليل السابق، يتساءل احد كيف اطلع على كيفية تبادل جسيمات المادة معاني فيزيائية والأحداث المواكبة و...؟ لأطلع من خلال ذلك على سلوك المادة. أجاب على ذلك في نقطتين:

أ) إقامة تصور يحاكي تصادم جسيمين(اقتراب وابتعاد جسيمين)، مثل التخطيط المبين في الشكل(1). فتخيل عملية تصادم الجسمين a و A وهما يقتربان من بعضهما. ويتباعد الجسمان B و b عن بعضهما اثر تصادم. يُرمز لعملية التصادم بـ $a(A,B)b$. ويسمى الجسم a القذيفة والجسم A الهدف والجسم B الراسب والجسم b الناتج.

ب) الأداة التي تحسب وتقاس لعملية تصادم هي مقطع التصادم σ، ستعرف للتو. فهي الأداة التي تتعلق بالتأثير بين الجسمين المتصادمين وبالتالي تنطوي على كل المعلومات عن التفاصيل المجهرية للمادة مثل الشحنة والكتلة والبناء و... وبالتالي هي المصدر الطبيعي الذي نستقي منه المعلومات عن طبيعة وسلوك المادة.

أوجه التصادم

تختلف نتائج التصادم اختلافا شديدا

1. إذا كانت نتيجة التصادم هي أجسام قبل التصادم قيل أن التصادم تشتت (Scattering) وهو نمطين:

أ) تشتت مرن، طاقة الكمون بين القذيفة والهدف لا تتبدل أثناء التصادم $a(A,A)a$. فقانون حفظ الطاقة يصبح قانون حفظ الطاقة الحركية. تتميز هذه العملية بمقطع σ_{el}.

ب) تشتت لين، طاقة الكمون بين القذيفة والهدف تتبدل أثناء التصادم. تتميز هذه العملية بمقطع σ_{inel}.

2. تصادم امتصاص(أو قنص)(Absorption or Capture)

نتيجة التصادم تغيب فيها القذيفة $a(A,B)$. تتميز هذه العملية بمقطع σ_a.

3. تصادم انشطار، (Fission)

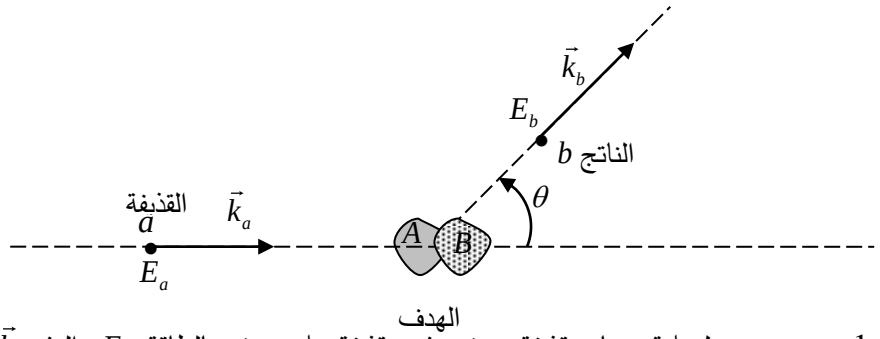
نتيجة التصادم ينشطر الهدف إلى شقين أو أكثر $a(A,B_1,B_2,...)$. تتميز هذه العملية بالمقطع σ_f.

4. تصادم اندماج، (Fusion)

نتيجة التصادم تندمج القذيفة والهدف فيكونا كتلة واحدة، $a(A,B)$. تتميز هذه العملية بالمقطع σ_F.

5. تصادم تفاعل، (Reaction)

بقية نتائج التصادم تسمى تصادم تفاعل، $a(A,B)b$. تتميز هذه العملية بالمقطع σ_r.



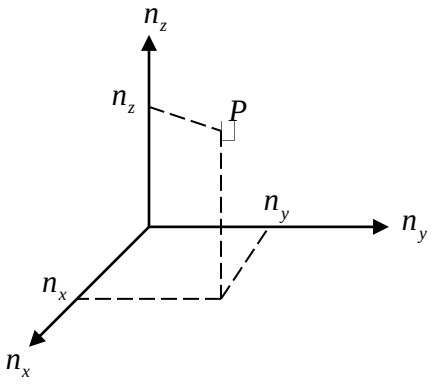
الشكل1: يبين تصور لعملية تصادم قذيفة بهدف. فترد قذيفة على هدف بالطاقة E_a والدفع $\vec{p}_a = \hbar\vec{k}_a$. ولما تدنو منه يحدث تبادل للطاقة والدفع و... نتيجة التأثير بينهما. وبعد التبادل تصدر القذيفة (الناتج) بالطاقة E_b والدفع $\vec{p}_b = \hbar\vec{k}_b$ ... فلولا التأثير بين الجسيمين لما حدث بينهما تبادل لمعاني فيزيائية

العلاقة بين فضاء الحالات الكمية ومقلوب الفضاء

قبل أن نعرف مقطع التصادم نعرج على فضاء الحالات الكمية وعلاقة عنصر حجم منه بعنصر حجم من فضاء مقلوب الفضاء. معلوم أنه إذا حصر جسم مادي أو إشعاع كهرومغناطيسي في علبة فإن الأعداد الموجية المتاحة (أنماط في العلبة)، عد إلى مسألة حركة جسم في العلبة، تحقق العلاقات

$$k_x = \frac{2\pi}{L_x}n_x \text{ ، } k_y = \frac{2\pi}{L_y}n_y \text{ ، } k_z = \frac{2\pi}{L_z}n_z \quad (1.2)$$

حيث الأعداد الكمية n_x و n_y و n_z هي $0, \pm1, \pm2, \ldots$



الشكل2: يبين نقطة P من فضاء الحالات لكمية

يوضح الشكل(2) معلم إحداثيات نقطة منه n_x و n_y و n_z؛ $P\left(n_x,n_y,n_z\right)$. بما أن n_x و n_y و n_z تحدد حالة كمية لجسم في علبة يعني تحدد حالة الإشعاع في العلبة، فكل نقطة P تحدد حالة كمية متاحة أو نمط، لذلك سمي الفضاء فضاء الحالات أو الأنماط. وعنصر حجم منه هو

$$d^3n = dn_x dn_y dn_z \qquad (2.2)$$

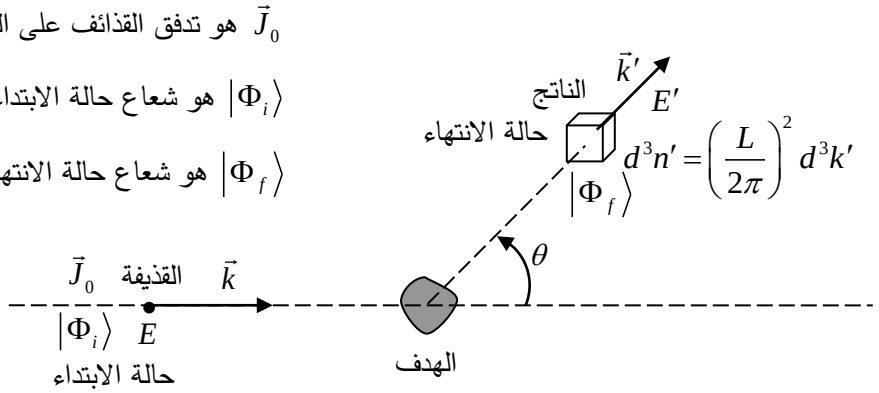
يعبر عن عدد الحالات الكمية أو الأنماط ذات k_x و k_y و k_z. واعتبار العلاقة بين n_α و k_α يفضي للعلاقة

$$d^3n = dn_x dn_y dn_z = \frac{L_x}{2\pi}dk_x \frac{L_y}{2\pi}dk_y \frac{L_z}{2\pi}dk_z = \frac{V}{(2\pi)^3}dk_x dk_y dk_z = \frac{V}{(2\pi)^3}d^3k \qquad (3.2)$$

حيث $L_xL_yL_z = V$ هو حجم العلبة. والآن يمكننا القول أن عنصر الحجم من فضاء الحالات الكمية $d^3n = dn_x dn_y dn_z$ هو عدد الحالات الكمية ذات العدد الموجي $\vec{k}\left(k_x,k_y,k_z\right)$. وإذا كانت العلبة مكعبة الشكل ضلعها L فإن $L^3 = V$، وهو الأكثر استخداما، مادام اختياري، لا يغير من لب المسألة شيئا.

التعريف اللفظي لمقطع التصادم

هو مساحة يبديها الهدف للقذيفة.



الشكل3: تصور لعملية التصادم

التعريف الحسابي لمقطع التصادم

يبين الشكل(3) صورة لعملية تصادم بين القذيفة a والهدف A. يعبر $\vec{J}_0$ عن تدفق القذائف على الهدف، والشعاعان $|\Phi_i\rangle$ و $|\Phi_f\rangle$ يعبران عن حالتي الابتداء والانتهاء للجملة. وأن احتمال وجود الناتج b اثر تصادم a مع A في $d^3n_{\vec{k}'}$ هو $d^3n'T_i^f$، وهو يعبر عن عدد الأجسام b ذات الدفع الخطي $\hbar\vec{k}'$ التي تصل $d^3n_{\vec{k}'}$ في وحدة الزمن (فالكمية $d^3n'T_i^f$ هي معدل التصادم). فيعرف مقطع تصادم القذيفة a الواردة وفق $\vec{k}$ بالهدف A ويخرج الناتج b وفق $\vec{k}'$ في $d^3n_{\vec{k}'}$ بالعلاقة

$$\sigma\left(\vec{k},\vec{k}'\right)d^3k' = \frac{d^3n_{k'}\,T_i^f D_{ii}}{J_0} \qquad (4.2)$$

حيث T_i^f هو احتمال انتقال الجملة من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية خلال وحدة الزمن، و D_{ii} هو احتمال وجود الجملة في الحالة $|\Phi_i\rangle$. وإدخال عبارتها يفضي للعلاقة

$$\sigma\left(\vec{k},\vec{k}'\right)d^3k' = \frac{1}{J_0}d^3n_{\vec{k}'}\left[\frac{2\pi}{\hbar}\left|\langle\Phi_f|\Gamma|\Phi_i\rangle\right|^2 D_{ii}\,\delta\left(E_i-E_f\right)\right] \qquad (5.2)$$

وإدخال عبارة $d^3n_{\vec{k}'}$ في عبارة المقطع، يفضي للعلاقة. نغض الطرف عن D_{ii}

$$\sigma\left(\vec{k},\vec{k}'\right)d^3k' = \frac{1}{J_0}\frac{2\pi}{\hbar}\left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d^3k'\left|\langle\Phi_f|\Gamma|\Phi_i\rangle\right|^2\delta\left(E_i-E_f\right) \qquad (6.2)$$

حيث عنصر مصفوفة سلسلة الاضطراب يعطى بالعلاقة

$$\langle\Phi_f|\Gamma|\Phi_i\rangle = V_{fi} + \sum_\gamma \frac{V_{f\gamma}V_{\gamma i}}{E_i-E_\gamma} + \ldots \qquad (7.2)$$

يعد التعريف السابق مبسط. وذلك مراعاة للبيداغوجيا. سنطور تعريف المقطع ليشمل وسائط أخرى مثل الاستقطاب و...

قاعدة: عندما نقرر إزالة متغير من المقطع نقوم بأخذ القيم المتوسطة على الحالة الابتدائية (يعني إجراء الجمع على المتغير من خلال القيم المتوسطة على الحالة الابتدائية لأنها ليست تحت مراقبتنا– لا نتحكم فيها) وإجراء الجمع المباشر على الحالة النهائية لأنها تحت مراقبتنا(المناول يقرر ماذا يريد أن يرى وفي أي حالة).

إذا كان مؤثر طاقة الجملة على الشكل

$$H = H^P + H^R + H^{PR} = H_0 + V \quad \text{حيث} \quad H_0 = H^P + H^R \quad \text{و} \quad H^{PR} = V \qquad (8.2)$$

$$H_0|\Phi_\alpha\rangle = E_\alpha|\Phi_\alpha\rangle \quad \text{حيث} \quad \alpha = i \quad \text{أو} \quad \alpha = f \qquad (9.2)$$

$$H^P|\Phi_f^P\rangle = E_f^P|\Phi_f^P\rangle \text{ ، } H^P|\Phi_i^P\rangle = E_i^P|\Phi_i^P\rangle \text{ ؛ } H^R|\Phi_f^R\rangle = E_f^R|\Phi_f^R\rangle \text{ ، } H^R|\Phi_i^R\rangle = E_i^R|\Phi_i^R\rangle \quad \text{و} \qquad (10.2)$$

$$|\Phi_i\rangle = |\Phi_i^P\rangle|\Phi_i^R\rangle \quad \text{فحالة الابتداء تكون} \qquad (11.2)$$

$$|\Phi_f\rangle = |\Phi_f^P\rangle|\Phi_f^R\rangle \quad \text{حالة الانتهاء تكون} \qquad (12.2)$$

فالشعاعان $\left|\Phi_f^P\right\rangle$ و $\left|\Phi_i^P\right\rangle$ خاصان للمؤثر H^P، والأشعاعان $\left|\Phi_i^R\right\rangle$و $\left|\Phi_i^R\right\rangle$ خاصان للمؤثر H^R. باعتبار أن H^{PR} اضطراب لهما.

ما الفائدة من تعريف مقطع التصادم؟

إن تصادم القذيفة بالهدف ينجر عنه أحداثا عديدة. مثل انحراف القذيفة، امتصاصها(إخفائها)، وانشطار الهدف، دمج القذيفة والهدف. وتغير في طالة طاقة القذيفة والهدف، وظهور أجسام اثر التصادم... كل حدث من هذه الحوادث يعبَر عنه بمقطع: فمثلا حدث انحراف القذيفة يعرب عنه مقطع التشتت σ_s، وحدث امتصاص القذيفة يعبَر عنه مقطع الامتصاص σ_a، وحدث انشطار الهدف يعبَر عنه بمقطع الانشطار σ_f، وهكذا لكل حدث مقطع.

وبعد معرفة مقطع حدث نعبر من خلاله عن معاني فيزيائية أخرى مثل المسير الحر للقذيفة في وسط مادي $\ell = \frac{1}{\sigma n}$ وهي المسافة التي تقطعها القذيفة في المادة قبل أن تجري تصادما، فمثلا $\ell_f = \frac{1}{\sigma_f n}$ هي المسافة التي تقطعها القذيفة في وسط كثافته العددية n قبل أن يحدث انشطار للهدف. و $\ell_a = \frac{1}{\sigma_a n}$ هي المسافة التي تقطعها القذيفة في وسط كثافته العددية n دون أن تُمتص، ...

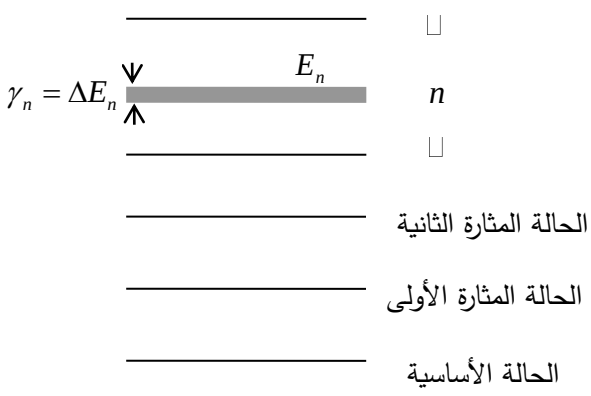
يمكننا تعريف عدد من المعاني من خلال المقطع. فمثلا نعرف معدل التصادم بالعلاقة $\sigma n v$ وهي تعبر عن عدد التصادمات التي تحدث في وحدة الزمن(وتيرة التصادم). فمثلا معدل امتصاص القذائف في وسط كثافته العددية n هو $\sigma_a n v$. وعدد الانشطارات التي تحدث للهدف في وحدة الزمن هي $\sigma_f n v$ و...

تبين من التحليل السابق أن معرفة مقطع التصادم لظاهرة تمكننا بحق عن خبايا وسلوك المادة، فلا يمكن الحصول عليها من طرق أخرى.

علاقة احتمال الانتقال بعمر سوية وعرضها سويتها

لكل سوية مثارة من طيف جملة لها عرض $\gamma_n = \Delta E_n$ عدا الحالة الأساسية. وعرض السوية مرتبط بعمرها τ_n من خلال علاقة عدم التحديد $\gamma_n \tau_n \cong \hbar$، τ_n هي مدة امتلاك الجمة الطاقة E_n. تتهاوى الحالة E_n، أو تنتقل إلى الحالات أخرى في المدة τ_n، بحيث

$$\frac{\gamma_n}{\hbar} = \frac{1}{\tau_n} = \sum_{n'} T_n^{n'} \qquad (13.2)$$



الشكل4: يبين طيف نواة أو ذرة أو جزيء