

طبيعة ومصدر الكتلة

د. جبور جبور

(قسم الفيزياء ، جامعة تشرين)

البريد الإلكتروني: dr.j.jabbour@gmail.com

الملخص

إن المهم في الفيزياء هو أنه عبر تاريخها الطويل، ومن وقت لآخر، تُعيد النظر في بعض المفاهيم الأساسية، حيث يتم التخلي عن بعض المعاني التي تم إعطاؤها إلى هذه المفاهيم الأساسية، ومن بين هذه المفاهيم الكتلة. إن الكتلة لم تعد خاصة ذاتية (أساسية)، لكن يمكن أن نعتبرها خاصة ثانوية (مكتسبة)، أو تنتج عن تفاعل الجسيمات بالمحيط حيث تتواجد، هذا المحيط ندعوه الخلاء الكوانتي (الفراغ الكوانتي) (Quantic Vide).

كلمات مفتاحية - الكتلة، الكتلة العطالية، الكتلة الثقالية، التكافؤ بين الكتلة والطاقة، بوزون هيكلز، الخاصة الذاتية، الخاصة المكتسبة.

1. مقدمة:

وأخيراً مفهوم الكتلة اعتماداً على التأثير المتبادل بين الجسيمات وما يُدعى بـ "حقل هيكلز" (Higgs Field)، الذي قاد إلى مفهوم "بوزون هيكلز" (Higgs Boson).

لذلك دوماً في الفيزياء نطرح السؤال الآتي: هل الأشياء تحدث كما نراها تحدث ظاهرياً؟ هل يمكن تفسير الواقع؟ إن هذا يعني تفسير ما نلاحظه بقوانين مخفية، أو على الأقل تكون مخبأة، في الحياة اليومية، والتي يجب البحث عنها بطرق أخرى غير المراقبة. وهذا الذي سيتم الإجابة عنه، وخاصة مفهوم وطبيعة الكتلة. ما هي الكتلة؟ ما هي طبيعة الكتلة؟

II. مفهوم الكتلة بحسب أرسطو وغاليلي:

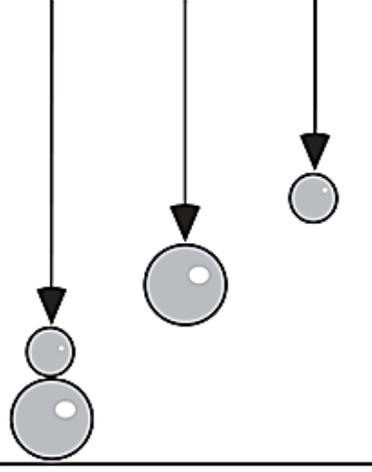
ربما الكثير منكم يقول: ما هذا السؤال الأحمق، الغبي والسخيف. الكثير منكم يعرف ما هي الكتلة. الكتلة هي مفهوم قابل للقياس بعدد له واحدة... الغرام... أو الكيلوغرام، أيضاً هي مقدار يُقيس شيء ما بشكل عام، نقول إن الكتلة تُقيس كمية المادة المحتواة في جسم ما. هذا التعريف يبدو غير دقيق، غامض.

هناك أسئلة كثيرة تُطرح حول الكتلة في الفيزياء. سوف أستعرض هذه الأسئلة.

إن الفيزياء عالم شاسع، مُعقد وحتى أنه غامض. منذ زمن طويل، كبار المفكرين والعلماء قضوا حياتهم كاملة بمحاولة فهم هذا العلم الذي غالباً ما يكون تجريدي. بمرور السنوات وبالتجارب، لقد تم صياغة عدد لا يُستهان به من القوانين والمبادئ المتعلقة بالحركة، القوى، الطاقة،... الخ. من بين هذه المبادئ، مبدأ أساسي هو مبدأ التكافؤ. وهذا المبدأ يُعبر عن المساواة بين الكتلة العطالية والكتلة الثقالية (الثقالية). وحتى أن هذا المبدأ هو نقطة انطلاق للنظرية الشهيرة "النظرية النسبية لـ"ألبرت أينشتاين" (Albert Einstein). ومع ذلك، حتى اليوم، لم يكن من السهل شرح الفرق بين هاتين المفهومين للكتلة.

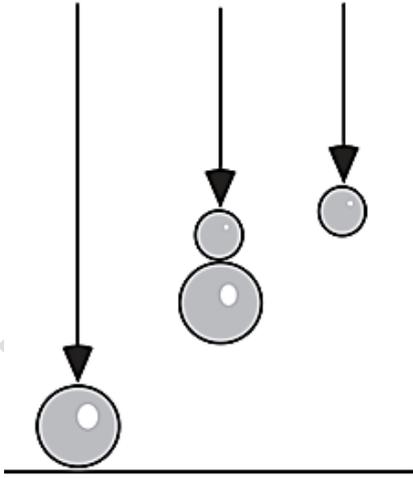
إن المهم في الفيزياء هو أنه عبر تاريخها الطويل، ومن وقت لآخر، تُعيد النظر في بعض المفاهيم الأساسية، حيث يتم التخلي عن بعض المعاني التي تم إعطاؤها إلى هذه المفاهيم الأساسية، ومن بين هذه المفاهيم الكتلة.

في هذه المقالة سيتم المحاولة بإيضاح مفهوم الكتلة وما هي التطورات التي طرأت عليها انطلاقاً من أرسطو (Aristotle)، مروراً بغاليليو غاليلي (Galileo Galilei)، اسحق نيوتن (Isaac Newton)، ألبرت أينشتاين (Albert Einstein)،



الشكل 2: وصل الكرتين ببعضهما بواسطة خيط بحيث أصبح لدينا جملة واحدة أثقل من كلا الكرتين منفردتين.

نتيجة ثانية: سرعة الجملة المؤلفة من الكرتين تسقط بسرعة أقل من الجملة المؤلفة من الكرة الكبيرة المصمتة، وذلك بسبب تطيئ الكرة الصغيرة لحركة الكرة الكبيرة، انظر الشكل 3.



الشكل 3: سرعة الجملة المؤلفة من الكرتين تسقط بسرعة أقل من الجملة المؤلفة من الكرة الكبيرة، وذلك بسبب تطيئ الكرة الصغيرة لحركة الكرة الكبيرة.

توصل غاليلي إلى نتيجتين متناقضتين مع أنه انطلق من الفرض نفسه (الفرضية نفسها).

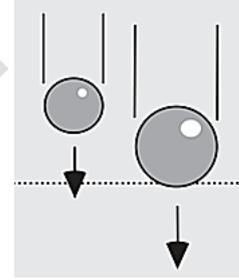
قال غاليلي، من أجل حل هذا التناقض، فرض أن جميع الأجسام، مهما كانت كتلتها، تسقط بنفس الطريقة. بعبارة أخرى، إن ظاهرة سقوط الأجسام هي ظاهرة فيزيائية لا تتعلق بكتلة

بدأت القصة بسقوط الأجسام. الأجسام تسقط، وعندما نراها تسقط نرى أن الجسم الأثقل يسقط أسرع من الجسم الأخف. هذا الذي لاحظته أرسطو (Aristotle) [1-4]. وهناك الكثير من الفيزيائيين لاحظوا هذه الظاهرة.

في بداية القرن السابع عشر، بدأ الفيزيائي الإيطالي غاليليو غاليلي (Galileo Galilei) [5-7] بالتفكير في ظاهرة سقوط الأجسام، ويتساءل إذا كان أرسطو فعلاً على حق. هل الأشياء تحدث كما نراها تحدث؟

حاول غاليلي القيام بتجربة، تجربة ذهنية (تجربة في عقله)، أي أنه لم يجري التجربة فعلاً كما يُروى أنه صعد إلى قمة برج بيز (Pise) في إيطاليا (Italia) وألقى كتلتين مختلفتين، لكنه يتساءل ذهنياً: ما هي نتائج قانون أرسطو إذا كان على حق؟

إذا أخذنا كرتين مختلفتين من نفس المادة، لهما نصفي قطرين مختلفين. عند السقوط الحر للكرتين فإن الكرة الكبيرة (الثقيلة) تصل إلى الأرض قبل الكرة الصغيرة (الخفيفة)، كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل 1: الكرة الكبيرة (الثقيلة) تصل قبل الكرة الصغيرة (الخفيفة). السقوط الحر في الهواء (السرعات مختلفة).

وصل الكرتين ببعضهما بواسطة خيط، أي أنه أصبح لدينا جملة واحدة مؤلفة من هاتين الكرتين، وهذه الجملة الناتجة أثقل من كلا الكرتين منفردتين. ترك الجملة تسقط سقوط حر، فماذا لاحظ؟

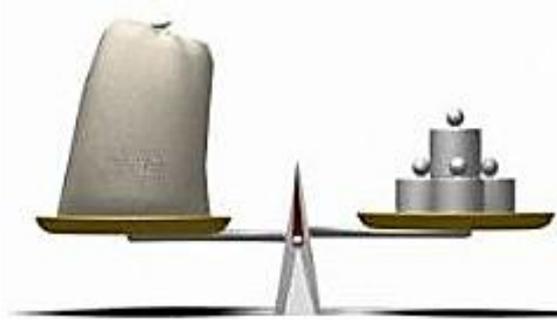
نتيجة أولى: بحسب أرسطو سرعة الجملة المؤلفة من الكرتين يجب أن تكون أسرع من الجملة المؤلفة من الكرة المصمتة لوحدها، لأنها أثقل، انظر الشكل 2.

عن بعض المعاني التي تم اعطاءها إلى هذه المفاهيم الأساسية، ومن بين هذه المفاهيم الكتلة.

III. مفهوم الكتلة بحسب نيوتن:

إن أول من اهتم بالكتلة هو اسحق نيوتن (Isaac Newton) (الذي اعتمد على أعمال غاليلي)، وإليه يعود اختراع المعنى الحديث للكتلة، أي إلى غاليلي. برهن نيوتن أن مسار جسم ذات كتلة (مصمت-massif) في حقل الجاذبية لا يتعلق بكتلته، هذا الذي نسميه السقوط الحر المقترح من قبل غاليلي.

ميّر نيوتن بين الكتلة والثقل [8-10]. الكتلة هي خاصية للجسم عندما يكون الجسم مصمت (ذات كتلة)، حيث تُربط الكتلة بالجاذبية الأرضية. كونه لدينا كتلة فهذا مربوط بحقل الجاذبية الأرضية المحلي (حيث نحن موجودون)، وهذا يؤدي إلى الخضوع لقوة تُدعى بالثقل. إذن نربط عادة بين... الثقل... الجاذبية... الثقالة... الخ، انظر الشكلين 5 و 6.



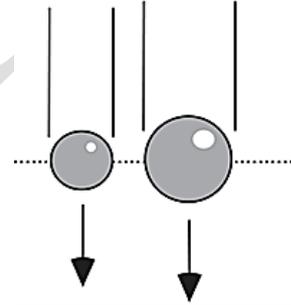
مفهوم الكتلة

الشكل 5: إن الوزن W (الثقل) مقدار يتناسب مع الكتلة m ، حيث ثابت التناسب هو تسارع الجاذبية الأرضية g : $W = mg$. إن قيمة تسارع الجاذبية على الأرض يساوي: $g = 9,8 [N/kg]$ ، حيث الوزن يُقدر بالنيوتن والكتلة بالكيلوغرام.

الأجسام، بشكل معاكس للفرض، وهذا ما يُطلق عليه اسم السقوط الحر.

إذاً، سرعة سقوط الجسم لا تتعلق لا بكتلته ولا بمكوناته... ولا بتركيبه الكيميائي. لكن يجب علينا أن نشرح لماذا هذا القانون ليس هو القانون الذي نلاحظه على أرض الواقع؟ لماذا نرى الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة؟ الجواب هو أنه بالإضافة إلى تأثير الجاذبية هناك أيضاً مقاومة الهواء التي بسببها سرعة سقوط الأجسام الثقيلة تكون أسرع من سرعة سقوط الأجسام الخفيفة.

بعبارة أخرى، فإن غاليلي اقترح بقانونه (قانون سقوط الأجسام) فكرة مفيدة جداً فتحت الطريق أمام الفيزياء الحديثة، حيث بهذه الفكرة يمكن تفسير الواقع، هذا يعني تفسير وقائع نلاحظها بقوانين لا نلاحظها في بداية الأمر، أو على الأقل تكون مخبأة، في الحياة اليومية، والتي يجب البحث عنها بطرق أخرى غير المراقبة. لا يمكن رؤية قانون غاليلي حقاً إلا في الخلاء، انظر الشكل 4.



الشكل 4: الكرتان الكبيرة والصغيرة تصلان بنفس الوقت. السقوط في الخلاء (السرعات واحدة متساوية).

الخلاصة:

إذاً، بعد حوالي أربعة قرون، من حصول التجربة الذهنية (الذي تصورها غاليلي) في عام 1704، تم التحقق من أن قانون سقوط الأجسام الذي يبدو مناقضاً بشكل كامل للملاحظة وللمراقبة (لما نراه - للواقع) هو القانون الفيزيائي المناسب لوصف سقوط الأجسام المصمتة.

إن المهم في الفيزياء هو أنه عبر تاريخها الطويل، ومن وقت لآخر، تُعيد النظر في بعض المفاهيم الأساسية، حيث يتم التخلي

لاحظ نيوتن شيئاً مدهشاً... هو أن حركة جسم في حقل الجاذبية لا تتعلق بكتلته. إذن يوجد هنا شيء مفاجئ ومدهش.

لاحظ نيوتن أيضاً أن هناك نوعين من الكتلة:

الكتلة العطالية (**The inertial mass**) التي تُقاس صعوبة تغيير حركة جسم ما، كلما كانت كتلة الجسم كبيرة كلما كان من الصعب تحريكه عندما يكون في حالة السكون، أو إيقافه عندما يكون في حالة الحركة. إذن عطالة جسم تُقاس بكتلته.

بنفس الوقت هناك نوع آخر من الكتلة، تُدعى **بالكتلة الثقالية**، هذا يعني أنه عندما نضع جسم في حقل الجاذبية (حقل ثقالي) سيسقط، وذلك بربط كتلته الثقالية (**The gravitational mass**) وبالاختيار الجيد لنظام الوحدات (الوحدات) المُستخدم نجد أن الكتلتين لهما نفس القيمة:

الكتلة الثقالية = الكتلة العطالية

$$m_i = m_g$$

هل هذا عن طريق الصدفة...؟ هل هناك تفسير لذلك...؟ دون نيوتن هذه المساواة دون تفسير أو شرح، ودون أن يبيت في هذه المسألة.

مع ذلك، إذا اعتبرنا جسم على سطح كوكب الأرض، فانطلاقاً من قانون التجاذب العام لنيوتن:

$$F_1 = G \frac{M_g m_g}{R^2}$$

وقانون الأساسي لنيوتن:

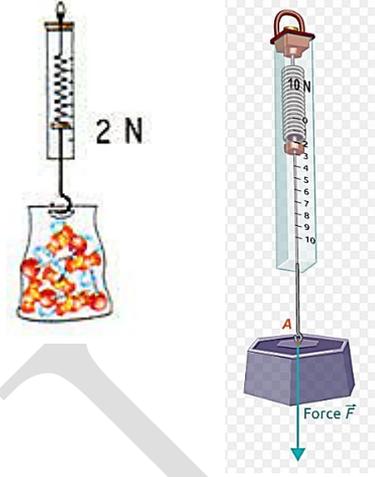
$$F_2 = m_g g$$

يمكننا أن نستبدل متحولات قانون التجاذب العام لنيوتن بثوابت:

$$F_1 = F_2 \rightarrow g = G \frac{M_g}{R^2}$$

حيث G ثابت التجاذب العام، و R نصف قطر الكرة الأرضية. نحصل بالتطبيق العددي على أن:

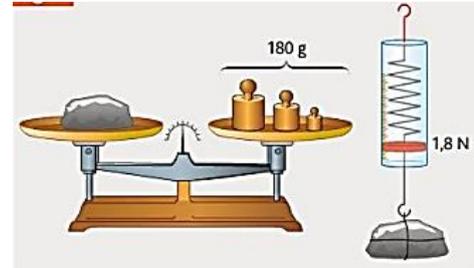
$$\begin{aligned} g &= G \frac{M_g}{R^2} \\ &= \frac{6,67 \times 10^{-11} (N \cdot \frac{m}{kg}) \times 5,9762 \times 10^{24} kg}{(6,3675 \times 10^6)^2} \\ &= 9,80 \frac{N}{kg} \end{aligned}$$



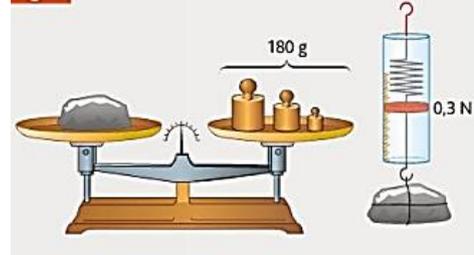
مفهوم الوزن (النقل)

الشكل 6: إن الوزن ينتج عن تأثير جاذبية الأرض على الأجسام، وهذه الجاذبية هي المسؤولة عن السقوط الحر. والوزن هو عبارة عن قوة \vec{F} تُقَدَّر بالنيوتن N .

على سبيل المثال، إذا أردنا المقارنة بين الكتلة والوزن على كل من الأرض والقمر، نلاحظ أن الكتلة لا تتغير، بالمقابل، الوزن يتناقص على القمر لأن جاذبية القمر أقل من جاذبية الأرض، وتساوي $g = 1,6 [N/kg]$. وهكذا، فإننا نشعر بأننا أخف بـ "6 مرات" على القمر، هذا يعني أن جاذبية القمر تعادل سدس جاذبية الأرض، علماً أن كتلتنا لا تتغير، وكمثال توضيحي، انظر الشكل 7.



على سطح الأرض



على سطح القمر

الشكل 7: يوضح ثبات الكتلة وتغير الوزن.

ثانياً: بخصوص الحقل الثقالي:

إن نفس الشخص هو أيضاً في المصعد، وهذا المصعد موجود على سطح الكرة الأرضية. بفرض أن المصعد لا يتحرك، فإن هذا الشخص يشعر بشكل طبيعي بأنه يجذب نحو الأرض بسبب قوة الجاذبية. إذا لم تكن أرضية المصعد موجودة لدعمه (قوة ناظرية)، فإن الكتلة الثقالية للشخص ستكون في حالة سقوط حر نحو الأرض (نحو الأسفل)، انظر الشكل 8.

$$F_1 = G \frac{M_g m_g}{R^2} = G \frac{M_g}{R^2}$$

وهذه القيمة توافق شدة حقل الجاذبية الأرضية. بالقرب من سطح الكرة الأرضية، فإن الكتلة الثقالية تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$F = m_g g$$

حيث $g = 9,80 \frac{N}{kg}$. وإذا حاولنا حساب نسبة الكتلتين (m_g/m_i) نجد أن قانون التجاذب العام يُكتب على الشكل

الآتي:

$$F_1 = G \frac{M_g m_g}{R^2} = \left(G \frac{M_g}{R^2} \right) m_g$$

وقانون نيوتن الثاني على النحو الآتي:

$$F_2 = a m_i$$

وإذا كان:

$$F_1 = F_2 \rightarrow g m_g = a m_i \rightarrow a = \left(\frac{m_g}{m_i} \right) g$$

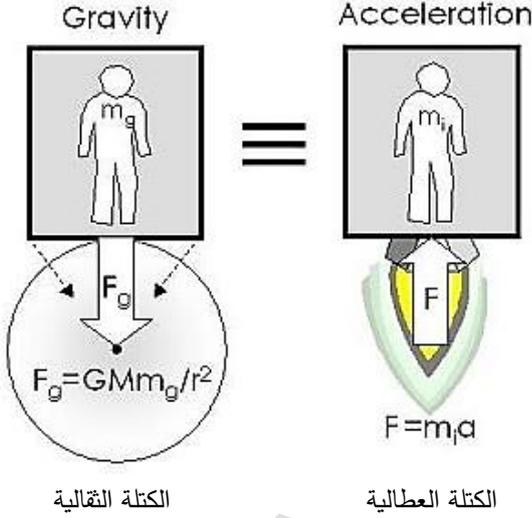
أي أن تسارع السقوط الحر يتعلق بالنسبة $\left(\frac{m_g}{m_i} \right)$. وبما أن التجارب أثبتت أن كل الأجسام لها نفس التسارع عند السقوط الحر، أي يساوي إلى g ، فيجب أن تكون النسبة $\left(\frac{m_g}{m_i} \right)$ مساوية للواحد:

$$a = g \rightarrow \frac{m_g}{m_i} = 1 \rightarrow m_g = m_i$$

ومع ذلك، فإن هذين المفهومين للكتلة فهما من طبيعة مختلفة تماماً، وليس هناك من سبب أن يكونا متماثلين؛ لكن مبدأ التكافؤ يقود إلى المساواة بينهما $m_g = m_i$. وهذه المساواة تبين أنه يوجد علاقة ضيقة بين ظواهر العطالة والثقالة. وسوف نرى لاحقاً أن ألبرت أينشتاين تابع أعماله في هذا الطريق. وهنا نُعطي مثالين يوضحان الفرق بين مفهومي الكتلة:

أولاً: بخصوص جملة مرجعية متسارعة بانتظام:

لنفرض أن هناك شخص في مصعد. ولنتخيل أن هذا المصعد في الفضاء، حيث الجاذبية معدومة، مُعلق في مركبة فضائية متسارعة بانتظام. إن الشخص يكون مجذب نحو أرضية المصعد بسبب التسارع. إن الكتلة العطالية لهذا الشخص تميل لمقاومة التسارع. إذاً، تتجذب في الاتجاه المعاكس للتسارع.



الشكل 8: مفهوم الكتلة العطالية والكتلة الثقالية.

إن التحليل السابق يوضح أننا في حضور مفهومين مختلفين تماماً. مع ذلك، فإن كل من الكتلة العطالية والكتلة الثقالية يخضعان لقوى لها نفس الاتجاه. وإذا أعطينا لتسارع المصعد القيمة $9,80 \frac{N}{kg}$ في الفضاء، فإن الكتلة العطالية والكتلة الثقالية يخضعان لقوى متشابهة (متماثلة). في هذا الوضع، فإن قيمة التسارع a ستساوي بالضبط شدة الحقل الثقالي g ، أي أن $a = g$.

إن للمساواة السابقة نتائج مُدهشة: إذا بدلنا الكرة الأرضية، التي تدور حول الشمس بجسم آخر مهما كانت كتلته، على سبيل المثال ثقل صغير جداً... حبة حمص مثلاً، أو كوكب أكبر بكثير من الأرض مثل كوكب المشتري على سبيل المثال، وإذا أعطينا هذا الجسم نفس سرعة الأرض في نقطة التبدل، فإن مسار هذا الجسم حول الشمس سيكون له نفس مسار الأرض،

(Property) الذي برهن أن: أي جسم مصمت (ذات كتلة) يمكن أن يفقد جزءاً من كتلته دون أن تتغير كتلته الكلية. المقصود هنا، هو أنه عندما نُسخّن جسم مثلاً، مُشع حراري (radiator)... سوف يُصدر أشعة ما تحت الحمراء... ضوء... المكون من جسيمات... فوتونات ذات كتل معدومة... الضوء لا يمتلك كتلة. إذن، إذا أصدر الجسم... جسيم بدون كتلة... إذن لا يفقد الجسم المصدر جزءاً من كتلته. هذا الذي ما كنا نفكر فيه.... حتى جاء أينشتاين وقال... كلا: إذا فقد جسم الطاقة... حتى لو أصدر جسيمات بدون كتلة (ليس لها كتلة) يفقد، مع ذلك، جزءاً من كتلته، وهذا ما قاده إلى القانون الشهير "التكافؤ بين الكتلة والطاقة"، والذي يُعبّر عنه رياضياً بالعلاقة الآتية:

الطاقة E تساوي الكتلة m في مربع سرعة الضوء c^2

$$E = mc^2$$

الذي برهن أن هذا الذي ندعوه بالكتلة ما هي بالأحرى إلكمية الطاقة المحتواة في جسم ما... بدلاً من كمية المادة... وكما أنه تم البرهان على التكافؤ بين المادة والطاقة... نستطيع أن نقول: إنه يمكن الاحتفاظ تقريباً بالتعريف الذي نعتبره جيد حتى الآن. لكن يجب أن نفهم كل الأمور والتبعيات الثورية التي يفرضها هذا القانون.

وهذا تفسير قطعي يعني أن مسار جسم في حقل الجاذبية لا يتعلق بكتلته.

IV. مفهوم الكتلة بحسب أينشتاين:

أتى ألبرت أينشتاين (Albert Einstein) بعد نيوتن وبدأ يفكر بالمساواة بين كتلة الثقالة والكتلة العطالية [11-16]. يقول أينشتاين إن الفكرة التي جعلته أكثر سعادة في حياته هي التالية: عندما يسقط جسم سقوط حر في حقل الجاذبية، لا يشعر بتقله هذا الجسم. هذه الفكرة بأن واحد تحصيل حاصل (totologic) ولغز (enigmatic). تحصيل حاصل لأن سقوط الجسم سقوط حر هو الخضوع لتقله، لا يبدو واضحاً (لا نرى جيداً) من أين أتى بهذه الفكرة، وهي أن الثقل يختفي عندما نسقط. ولكن بنفس الوقت عندما نسقط نكون قد خضعنا للثقل (الثقل يندم عند السقوط الحر في حين عندما نسقط، نسقط تحت تأثير الثقل). إذن يوجد شيء غريب، غير واضح أو غير مفهوم هنا.

لكن ما فهمه أينشتاين من كل ذلك، هو أنه كان يجب علينا معرفة أشياء انطلاقاً من نظرية نيوتن. علماً أنه عندما نسقط، على سبيل المثال، في مصعد، سقوط حر، كل شيء حولنا أو معنا... مثل محفظة... شمسية... قبعة... الخ يسقط مثلما نسقط... إذاً، إذا نظرنا إلى الشمسية التي تسقط بنفس الوقت مثلنا، نراها فعلاً (الشمسية) وكأنها لم تسقط... هذا يعني أنه يمكن لحركة متسارعة أن تعدم (تلغي) مفعول حقل الجاذبية. إذاً، يوجد نوع من التكافؤ بين العطالة والجاذبية.

انطلاقاً من هذه الفكرة صاغ أينشتاين مبدأ التكافؤ حيث قال: إنه يمكن لتسارع أن يُحرّض حقل جاذبية، وبشكل مُعكس فيمكن لتسارع أن يُلغي (يعدم) حقل جاذبية. على سبيل المثال، عندما نسقط في مصعد سقوط حر، كل شيء يحدث كما لو أن ثقلنا قد أُلغي (انعدم)، أو كما لو أن قانون الجاذبية أُلغي (انعدم، غُوض) بفعل التسارع.

هناك تاريخ ثاني كبير سيُغير مفهومنا عن الكتلة هو 1905، حيث كان أينشتاين يعمل في مكتب الملكية الفكرية في مدينة بيرن في سويسرا (Intellectual Bern Federal Office of)

المتصادمة... نجد قيمة أكبر بكثير... بمئات... لا بل بآلاف.
في النهاية هناك كتل أكبر بكثير من الكتل البدائية.

الكتل بعد التصادم << من الكتل الداخلة في التصادم

مهما نقول عن الكتلة في المدارس، فالكتلة لا تُحفظ، تُولد...
تُنتج كتلاً... بالتصادم... وبشكل مُبسط، لأنه إحدى مميزات
وصفات الجسيمات... سرعتها... طاقتها... تحولت إلى طاقة
بواسطة علاقة أينشتاين $E = mc^2$.

إحدى التبعات لهذا القانون هو أن، كما قيل سابقاً في فيزياء
نيوتن... الكتلة والعطالة هما نفس الشيء. عطالة جسم تُقاس
بكتلته.

الذي يقوله أينشتاين هو أن عطالة الجسم ليست كتلته وإنما
طاقته الكلية مقسومة على مربع سرعة الضوء:

الطاقة الكلية E = الطاقة في حالة السكون mc^2 + الطاقة

الحركية T

$$E = mc^2 + T$$

بحسب نيوتن:

العطالة $I = m$ = الكتلة m

وبحسب أينشتاين يمكن أن تُكتب العطالة بالشكل الآتي:

$$I = \frac{E}{c^2} = \frac{mc^2 + T}{c^2} = m + \frac{T}{c^2}$$

وهنا نميز حالتان:

(1) جسم في حالة السكون (الطاقة الحركية
معدومة):

$$I = m$$

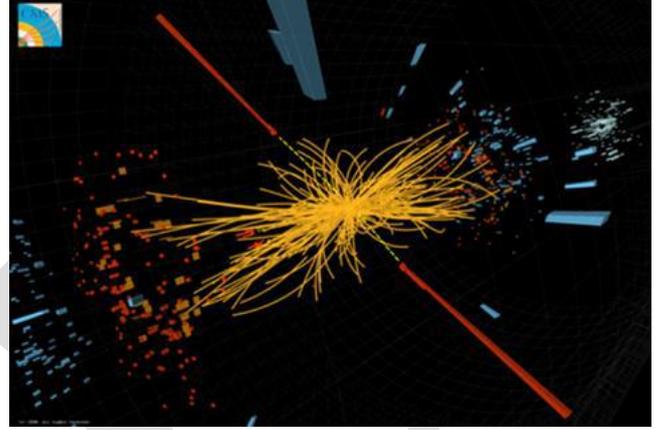
(2) جسم في حالة الحركة (الطاقة الحركية غير
معدومة):

$$I = \frac{E}{c^2} = \frac{mc^2 + T}{c^2} = m + \frac{T}{c^2}$$

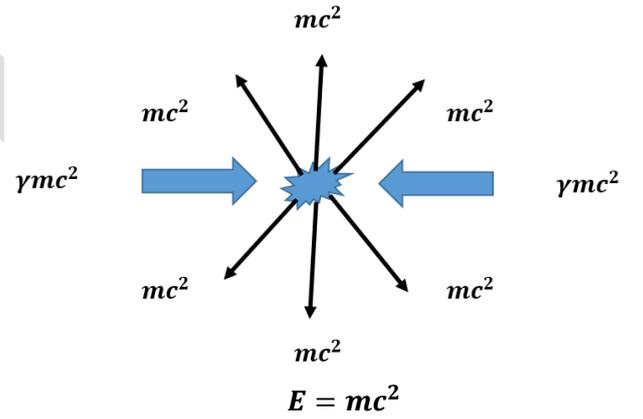
هذا يعني أنه إذا زدنا سرعة جسم... أي نزيد طاقته الحركية،
هذا يعني أننا نزيد طاقته الكلية... إذن النسبة (E/c^2) تزداد...
فهذا يعني أن عطالة الجسم تزداد. لكن عند نيوتن تبقى الكتلة

$$14 \text{ Tera electron volt} = 14 \times 10^{12} \text{ eV}$$

أي 14 ألف مليار إلكترون فولط. إذاً، بحسب القانون الشهير
لأينشتاين $E = mc^2$ ، ومن الطاقة المتوفرة يمكن توليد كتل
جديدة، أي جسيمات جديدة، انظر الشكل 11.



الشكل (11a)



كتل البروتونات \Leftrightarrow طاقة \Leftrightarrow كتل جسيمات أخرى
الشكل (11b)

الشكل 10: تصادم حزمتان من البروتونات ذات طاقة مرتفعة، فإن
نواتج التصادم... عشرات... مئات... آلاف الجسيمات الجديدة
التي لم تكن موجودة قبل التصادم.

هذا يعني أنه لم يتم تحطيم الجسيمات التي تدخل في التصادم،
ولم نراقب الحطام الناتج عن الاصطدام، ولكن نتج عن عملية
تصادم توليد جسيمات جديدة. وعندما يتم حساب مجموع كتل
الجسيمات الناتجة عن التصادم ومقارنتها بكتل الجسيمات

يمكن أن نقول إن هذه النظرية غبية (ساذجة) لأنه من الواضح أن الجسيمات لها كتلة، نقيسها... مثلاً الإلكترون له كتلة... الخ. من ناحية أخرى نعتبر أن كتلة الأجسام (الأشياء) سواء كانت جهرية (Macroscopic) أو مجهرية (Microscopic)... على سبيل المثال جسمنا، له صفة وميزة خاصة... الإلكترون له كتلته الخاصة الذاتية... يمتلك كتلة... بنفس الطريقة... كل شخص منا يمتلك كتلته الخاصة به... التي هي نفسها على القمر وعلى الأرض... الثقل ليس له نفس القيمة على الأرض وعلى القمر... حقل الجاذبية ليس له نفس القيمة على الأرض وعلى القمر... الكتلة مقدار لا يتغير... إذاً كل شخص له كتلته الخاصة به.

النظرية التي تقول بأن الجسيمات ليست لها كتلة كانت تُعتبر نظرية خاطئة. في الستينات من القرن الماضي، فضّل الفيزيائيون القول بأن هذه النظرية رائعة، ولكن لم يتم فهم الكتلة بشكل جيد. وربما تكون الكتلة ليست خاصة ذاتية لأشياء فيزيائية... لأجسام فيزيائية، لكن بالأحرى كشيء ما، نحن كمراقبون يبدو أننا نلاحظها. إذن الكتلة لم تعد خاصة ذاتية (أساسية)، لكن يمكن أن نعتبرها خاصة ثانوية، أو تنتج عن ربط الجسيمات بالمحيط حيث تتواجد، هذا المحيط ندعوه الخلاء الكوانتي (الفراغ الكوانتي) (Quantic Vide).

كأننا نعتبر كتلة شيء ما خاصة ذاتية لهذا الشيء. مثلاً الإلكترون له كتلته الخاصة به. وهكذا جسم الإنسان. عادة تُرْفَق بكل جسم (مادة) كتلة. أي أن هناك ترابط بين مفهوم المادة ومفهوم الكتلة. إذن لكل مادة كتلة.

إن هذه الفكرة أصبحت نقطة جدل اليوم من قبل الفيزيائيين. حيث يتساءلون فيما إذا كانت الجسيمات تكتسب كتلتها من تفاعلها مع هذا الذي نسميه الخلاء، بعبارة أخرى، فإن الكتلة ليست خاصة ذاتية للشيء أو للجسم، وإنما تنتج عن التأثير المتبادل (التفاعل) بين أشياء ذات كتل معدومة مع الخلاء. من أجل فهم هذه الفكرة لا بد من الرجوع إلى النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

هنا لا بد من إعطاء فكرة (لمحة) مختصرة عن النموذج المعياري:

مساوية للعطالة. لكن عند أينشتاين عطالة جسم تزداد عند زيادة سرعته.

كما أن العطالة تُقَيَس صعوبة تغيير حركة جسم... إذا سرعنا جسم نزيد عطالته... ونجعل أكثر صعوبة عملية تسريعه من جديد. هناك لحظة ما حيث يوجد قيمة كبيرة للعطالة... لا نستطيع بعدها تسريع هذا الجسم، وهذا القانون $E = mc^2$ ، في الواقع، يحتوي فكرة سرعة حدية... هذا يعني سرعة كبيرة جداً حيث الجسم الذي يمتلك هذه السرعة يصبح ذات عطالة كبيرة... لا يستطيع بعدها الجسم زيادة سرعته. هذه السرعة، بحسب النظرية النسبية، هي سرعة الضوء في الخلاء.

نتيجة الثالثة: إن القانون $E = mc^2$ هو، بالفعل، خلاصة أو موجز لقانون أكبر يتوقع وجود جسيمات معدومة الكتلة، في حين أن هذا مستحيل بالنسبة لفيزياء نيوتن. عند نيوتن هذا مستحيل، أما عند أينشتاين فهذا ممكن... نذكر على سبيل المثال الفوتون... أو جسيمات أخرى سننتظر لها لاحقاً.

مما سبق نلاحظ أن الكتلة تبتعد عن المادية (صفة الشيء المادي)... عندما نأخذ معنى هذه الكلمة (الكتلة) بمعناها البسيط... الساذج.

عمل أينشتاين على هذه الفكرة حوالي 10 سنوات حيث توصل إلى نظرية جديدة للجاذبية تُدعى النسبية العامة (General Relativity) التي نشرها عام 1915، والتي يُستمر الاستفادة منها في نطاق نظري... حيث انطلقاً منها ندرس علم الكون.

في تجربة ذهنية فريدة من نوعها، يضع أينشتاين في علاقة فكرتين (مفهومين)، حيث هناك حتى الآن اتجاه للفيزياء معالجتهما بطريقة منفصلة. ما هو مصدر كتلة الجسيمات؟

إذاً، السؤال عن طبيعة ومصدر الكتلة يُصبح سؤالاً مُحْرِضاً، لأنه في فيزياء الجسيمات، فيزياء تهتم بالتفاعلات بين الجسيمات الأولية... إلكترون... كوارك... نترينو... ميون... وبحسب المعادلات المحتواة في نموذج يُدعى بالنموذج المعياري (Standard Model)، حيث أن هذا النموذج يُعتبر نموذج أساسي في فيزياء الجسيمات، فإنه سيكون من الطبيعي أن الجسيمات لا تمتلك كتلة.

بسرعة أقل مما لو كنت تسير وحيداً في الشارع... على سبيل المثال، انظر الشكل 12.



الشكل 12: إبطاء الحركة أثناء المغادرة.

إذاً، هذه التفاعلات، مع الزملاء، سوف تُعطيك نوع من العطالة، وسوف تؤدي إلى إبطاء حركتك، إذن هذا يعطيك ظاهرياً كتلة. وفكرة بيتر هيكر هي أن الجسيمات تكون بشكل مستمر (بشكل دائم) في كوكتيل، حيث تتفاعل بشكل مستمر مع زملاء يُطلق عليهم اسم بوزونات هيكر (Bosons Higgs). تمّ الإعلان الرسمي عن اكتشاف هذه البوزونات في 4 تموز من عام 2012، وهي المسؤولة عن كتلة الجسيمات الأخرى.

ومن أجل التحقق من هذه الفكرة تم بناء آلة "مصادم الهادرونات الضخم" (Large Hadron Collider (LHC)، الذي تمّ التكلم عنه أعلاه بشكل مختصر)، أي من أجل التحقق من وجود أو عدم وجود بوزونات هيكر.

الفكرة هي أننا مُخطئون منذ نيوتن حول مصدر وجوهر الكتلة. ليست الكتلة خاصة ذاتية للأشياء، لكن تنتج عن تفاعل الشيء أو الجسم مع الخلاء. هذا الخلاء ليس خالياً (فارغاً)، إنه مسكون بـ "بوزونات هيكر"، أو بشكل عام ما يُطلق عليه اسم حقل هيكر Field Higgs، انظر الشكل 13.

تخضع الجسيمات إلى أربعة نماذج من التفاعلات الأساسية:

1. تفاعل كهروطيسي.
2. تفاعل نووي قوي.
3. تفاعل نووي ضعيف.
4. تفاعل تناقلي أو تجاذبي، وهذا التفاعل مهمل لأنه ضعيف جداً، عند دراستنا للجسيمات.

إن هذه التفاعلات مهمة جداً بالنسبة للجسيمات، حيث تم وصفها في النموذج المعياري بفضل مفاهيم رياضية تستخدم بشكل خاص مفهوم التناظر. ويتم وصف التفاعل بإرفاقه بما يُسمى بالزمر التناظرية.

كل هذا الكلام هو عبارة عن كلام مُجرد. لكن ما هو مفيد، ومثير للاهتمام أنه بحسب فرضيات ومقتضيات النموذج المعياري يجب أن تكون كتل الجسيمات معدومة. أي كل الجسيمات يجب أن تكون مثل الفوتون، الذي هو عبارة عن كوانتا الضوء، بدون كتلة.

إذاً، يبدو أن هناك نوع من التناقض بين القياس (الملاحظة) الذي يقول لنا بأن معظم الجسيمات لها كتلة غير معدومة، وبين النموذج المعياري الذي يقول بأن كتل الجسيمات يجب أن تكون معدومة.

لحل هذا التناقض، هناك مجموعة من الفيزيائيين من بينهم الفيزيائي السكوتلاندي بيتر هيكر (Peter Higgs)، اقترحوا، في الستينات من القرن الماضي، فكرة يمكن أن تُغير بشكل كامل مفهومنا لكتلة الجسيمات.

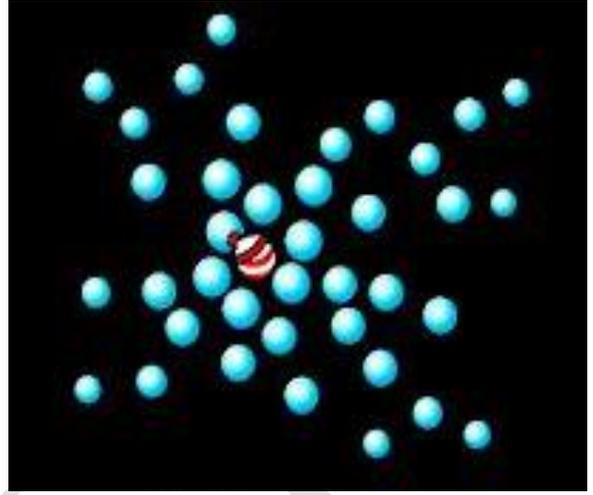
إن فكرة بيتر هيكر تتلخص بالشكل الآتي: إن الجسيمات الأولية (العنصرية) كالإلكترونات، الكواركات (مكونات البروتونات والنيوترونات)... على سبيل المثال، ليس لها كتل، وإنما بشكل بسيط، تتفاعل هذه الجسيمات مع محيطها بطريقة أنها تكتسب كتلة غير معدومة بنظرنا.

لفهم هذه الفكرة، يكفي أن تتخيل أنك في حفلة كوكتيل، على سبيل المثال، حيث يوجد حولك زملاء يتحدثون... وفي لحظة ما قررت أن تغادر الحفلة... وهذا يقودك إلى مصادفة زملاء لم تصادفهم بعد... تصادفهم... وتتحدث معهم... وهذا يؤدي إلى إبطاء حركتك.... إذاً عند مغادرتك للكوكتيل سوف تتحرك

- [5]. G. Galilée, Dialogue sur les deux grands système du monde, 1632. Réédition Paris: Seuil, Points Sciences, 1992, p. 127, 377, 633, 652.
- [6]. Galileo, G. (1632). Dialogue Concerning the Two Chief World Systems.
- [7]. G. Galileo, (1638). Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, Intorno à Due Nuove Scienze. 213. Louis Elsevier., translated in Crew, H.; de Salvio, A., eds. (1954). Mathematical Discourses and Demonstrations, Relating to Two New Sciences. Dover Publications. ISBN 978-1-275-10057-2. and also available in Hawking, S., ed. (2002). On the Shoulders of Giants. Running Press. pp. 534-535. ISBN 978-0-7624-1348-5.
- [8]. H. Benson, N. Lefebvre, M. Séguin et B. Villeneuve (1993), Physique 1 Mécanique, Saint-Laurent, Éditions Du Renouveau pédagogique. La gravitation selon Einstein, <http://members.aol.com/leondwek/private/article-francais/f-22.html>.
- [9]. CHARNOZ Sébastien (Équipe Universitaire Gamma-G, Paris), L'histoire du concept de gravitation, <http://elbereth.obspm.fr/~charnoz/gravitation.html>
- [10]. Bernard Diu et Bénédicte Leclercq, La physique mot à mot, Paris, coll. «Sciences», fév. 2005, 1re éd., vol. 1, p. 721.
- [11]. M. Fink, M. Le Bellac et M. Leduc, Le temps: mesurable, réversible, insaisissable, 2016, chap. 5, § 5.1, p. 74.
- [12]. R. Taillet, L. Villain et P. Febvre 2018, Energie de masse, p. 264, col. 1.
- [13]. T. Damour, Relativité générale, Paris, 2005.
- [14]. J. C. Pecker, L'Univers explore, peu à peu expliqué, Paris, 2003.
- [15]. W. Rindler , Relativity: special, general, and cosmological, Oxford, 2006.
- [16]. Le boson de Higgs, CERN. ch, 15 décembre 2011.
- [17]. Les expériences du CERN observent une particule dont les caractéristiques sont compatibles avec celles du boson de Higgs tant attendu, Bulletin du CERN, 2 juillet 2012.
- [18]. Georges Aad et al. (ATLAS collaboration), Observation of a new particle in the search for the standard model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC », Physics Letters B, vol. 716, no 1, 17 septembre 2012.
- [19]. La désintégration du Higgs en quarks b enfin observée Publication du CERN, le 28 août 2018.
- [20]. Le boson de Higgs pris en flagrant délit de désintégration Actualité sur MSN le 29 août 2018.
- [21]. Boson de Higgs: l'origine de la masse des quarks se précise, Futura Sciences 30 août 2018.

منشورات المؤلف:

- [1]. Jabbour, J. (1981). Utilization of magnetic spectrometer to determine charge states probabilities of heavy ions at 7 MeV per nucleon. Caen University.



الشكل 13: تفاعل الجسيم مع حقل هيكلز.

الخلاصة هو أنه يجب التخيل أن الفضاء مُشكل من حقل، هذا الحقل عبارة عن مادة لاصقة، حيث هذه الجسيمات تمتلك ملعقة وتحاول غطها في هذا الحقل (أي في المادة اللاصقة)، والتفاعلات الناتجة مع هذه المادة اللاصقة (أي مع حقل هيكلز) تُبطئ حركتها، وتعطيها مظهر الكتلة. وكلما غاصت الملعقة عميقاً في الحقل، كلما بدى الجسيم وكأن كتلته أصبحت أكبر. بعبارة أخرى، فإن الجسيمات الخفيفة، مثل الإلكترونات، تتفاعل بشكل ضعيف مع حقل هيكلز، أي تصادف عدد قليل من بوزونات هيكلز، والجسيمات الأثقل تتفاعل بشكل قوي مع حقل هيكلز، وهذا الذي يعطيها كتلة أكبر. ويجب التخيل أيضاً بأن بوزون هيكلز هو عبارة عن جسيم مُصمت يمتلك كتلة خاصة به نتيجة تفاعله مع نفسه.

المراجع:

- [1]. P. Duhem, La théorie physique, son objet, sa structure. Paris: Riviere et Cie, 1906. Réédition Paris: Vrin, 2007.
- [2]. A. Koyré, Études newtoniennes. Paris: Gallimard, 1968.
- [3]. Aristote, Traité du Ciel. Paris: A. Durand, 1866. Livre IV, Chap. IV et V, p. 306-321, Chap. III, par. 2, p. 300.
- [4]. Aristote, Traité du Ciel. Paris: A. Durand, 1866. Livre II, Chap. XIV, par. 8, p. 214, Chap. IV, par. 11, p. 143.

- [15]. Jabbour, J., et al. (2003). Radiation resistance of GaAs/GaAlAs vertical cavity surface emitting lasers. *Tishreen University Journal*, Vol (25), No (15).
- [16]. Jabbour, J. (2004). Studying and optimizing the performance of GaAs (p-i-n) diodes X-ray detectors. *Tishreen University Journal*, Vol (26), No (3).
- [17]. Jabbour, J., et al. (2004). Theoretical Modelization Of Space Degradation Of Multijunction Cells. *University Journal*, Vol (26), No. (2).
- [18]. Jabbour, J., et al. (2005). Suitability of Epitaxial GaAs for X-ray Imaging. *Tishreen University Journal*, Vol (27), No (1).
- [19]. Jabbour, J., et al. (2006). Using a Compact Scintillation NaI (Ti) Detector to Study the Environmental Radiation. *ABHATH AL – Yarmouk: basic Sciences and Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 189-194.
- [20]. Jabbour, J., et al. (2009). Statistical study for the environmental radiation. *Tishreen University Journal*, Vol (31), No (3).
- [21]. Jabbour, J., et al. (2012). Study of Experimental Characteristics of a NaI (Tl) Detector For Investigation in Radioactivity Measurements Of a Weakly radioactive samples. *Tishreen University Journal*, Vol (34), No (1), pp. 9-24.
- [22]. Jabbour, J., et al. (2013). Measuring the radioactivity resulted from (137Cs) and from (40K) isotopes of water samples from different sources in the city of Lattakia. *Tishreen University Journal*, Vol (35), No (4).
- [23]. Jabbour, J. Mulhem, J., and Yassin, S. (2013). Experimental Study of the Conservation Law in Compton Effect. *Tishreen University Journal*, Vol (35), No (1).
- [24]. Jabbour, J., et al. (2013). Analytical and experimental study of energy loss of the radiation alpha in function of target atomic number Z. *Tishreen University Journal*, Vol (35), No (1).
- [25]. Jabbour, J., et al. (2013). Study of Differential Cross Section for Compton Scattering. *Tishreen University Journal*, Vol (35), No (2).
- [26]. Jabbour, J., et al. (2013). Analytical and experimental study of the Rutherford scattering cross section. *Tishreen University Journal*, Vol (35), No (2).
- [2]. Louvel, M., Bizard, G., Drouet, A., Jabbour, J., Laville, J. L., Regimbart, R., Stephan, C., and Tassan-Got, L. New measurements of equilibrium charge state distributions of fast medium heavy ions in mylar. *Nuclear Instruments and Methods* 211(1983)535-541.
- [3]. Jabbour, J. (1986). Study of the collective aspect around $N = 40$ by the inelastic scattering of protons and lithium ions from natural even-even Zn and Ge isotopes. *Nantes University*.
- [4]. Rosier, L. H., Jabbour, J., Ramstein, B., Avignon, P., and Tamisier, R. Spectroscopy of the 70,72Ge isotopes and structure of low-lying states of the 70,72,74,76Ge by inelastic scattering of 22 MeV protons from natural even-even Zn and Ge isotopes, *Nuclear Physics A453(1986)389-416*.
- [5]. Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamisier, R., and Avignon, P. Elastic and inelastic scattering of 22 MeV protons from natural even-even Zn and Ge isotopes. (I), Spectroscopy of the 64,66Zn isotopes. *Nuclear Physics A464(1987)260-286*.
- [6]. Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamisier, R., and Avignon, P. Elastic and inelastic scattering of 22 MeV protons from natural even-even Zn and Ge isotopes. (II). Spectroscopy of the 68,70Zn and comparison between structure of low-lying states of Zn and Ge. *Nuclear Physics A464(1987)287-314*.
- [7]. Jabbour, J., Rosier, L. H., Obiajunwa, E. I., and Ramstein, B. Elastic and inelastic scattering of 6Li from 70,72Ge at 44 MeV *Nuclear Physics A500(1989)356-371*.
- [8]. Jabbour, J., and Mulhem, J. Heavy ion reaction mechanism. Study of the reaction at 400 MeV incident energy. *Science week 35th, Tishreen University*, (1995)41- 65.
- [9]. Jabbour, J. (1996). The mean values equilibrium charge of medium heavy ions in mylar C5H4O2. Comparison between theoretical and experimental results. *Tishreen University Journal*, Vol (18), No (5).
- [10]. Jabbour, J. (1997). Measurement of the angular altitude of the sun over Lattakia city. *Tishreen University Journal*, Vol (19), No (6).
- [11]. Jabbour, J. (1999). Measurement of the global solar radiation intensity in Lattakia city. *Tishreen University Journal*.
- [12]. Jabbour, J. (1997). Direct and collective excitation in the inelastic scattering of proton and alpha particle on even-even Zn. *Damascus University*.
- [13]. Jabbour, J. Rosier, L. H. (1998). Interference effect between the coulomb and nuclear excitation contribution to the inelastic scattering of 6Li from 70Ge and 72Ge at 44 MeV incident energy. *Tishreen University Journal*, Vol (20), No (7).
- [14]. Jabbour, J., et al. (2003). Measurement of the environmental radiation at the physics department of Tishreen University. *Tishreen University Journal*, Vol (25), No (13).