# لماذا الطاقة تساوي مضروب الكتلة بمربع سرعة الضوء؟




**عندما يتعلق الأمر بجوهر معادلة أينشتاين، فهي قوية ومعقدة وفي نفس الوقت بسيطة.**

**حقوق الصورة: David Franklin / Shutterstock.com**

---

بول سوتر **Paul Sutter** عالم فيزياء فلكية في جامعة ولاية أوهايو وكبير علماء مركز **COSI** للعلوم. سوتر أيضًا مستضيف برنامجي **Ask a Spaceman** و**RealSpace** على الراديو، بالإضافة لسلسلة **Space In Your Face** على اليوتيوب.

شارك سوتر بهذه المقالة لصالح فقرة صوت الخبراء: **Op-Ed & Insights**.

هيا بنا نلعب لعبة! سرعة الضوء مجرد رقم، هل هذا صحيح؟ إن عرّفت وحداتك، على سبيل المثال، ما هو المتر وما هي الثانية، يمكنك القول بأن سرعة الضوء تقريبًا نحو 300,000,000 متر في الثانية. أو 670,000,000 ميل في الساعة، أيًا كان.

ماذا لو قلنا بدلاً عن ذلك إن سرعة الضوء تساوي 1، فقط 1. إذن، 1 ماذا؟ قلت أنا: فقط 1. لا أميال، لا ثواني، لا أسابيع، لا وحدات. فقط 1.

في الحقيقة، مسموح لنا أن نفعل ذلك لأنه فقط رقم، ونحن بذلك نختار نظامًا لا يوجد فيه للسرعة وحدة. في هذا النظام، تمر طائرة نفاثة بسرعة الحلزون المساوية لـ 0.000001 أو 0.0001 بالمئة من سرعة الضوء. جسمان من أسرع الأجسام التي صنعها الإنسان، مسبارا هيليوس، اقتربا حول النظام الشمسي بسرعة 0.00025! انظر إليهما يسيران.

الآن عرّفنا سرعة الضوء لتكون 1، هيا بنا نلقي نظرة على المعادلة الأكثر شهرة في الفيزياء: $E = mc^2$

نعرف كل الأجزاء، لكن لنحدث معلوماتنا قليلًا: **E** تمثل الطاقة **energy**، و**m** للكتلة **mass**، و**c** هي سرعة الضوء الثابتة. لكن في نظام وحداتنا الجديد (الذي يطلق عليها وحدات هندسية)، **c** تساوي 1، وبذلك تبسط المعادلة لأبسط صورة:
**E=m** سأقوم بنطقها كاملة لكم: الطاقة = الكتلة.

لن تتضح الفكرة بشكل أكبر من ذلك، أيها الأصدقاء. الطاقة هي كتلة، الكتلة هي الطاقة، هما متكافئتان: متساويتان. هما الشيء نفسه.

انتظر، انتظر، انتظر، تقولها وأنت تنظر إلي بارتياب. ماذا بشأن الضوء؟ الفوتونات ليس لديها أي كتلة، لكن بالتأكيد لديها الكثير من الطاقة. ماذا تأكل النباتات غير الضوء؟

معك حق، الفوتونات لا تملك كتلة. لكن لديها كمية حركة (الزخم) الذي يُكسب الأشياء، مثل المركبات الشراعية الضوئية **light sails** (يطلق عليها أيضًا المركبات الشراعية الشمسية **solar sails**)، الطاقة اللازمة للتزلج حول النظام الشمسي: الدفع الخاص بها آتٍ من الضغط الإشعاعي للشمس، والزخم يملك طاقة.

لكن أين الزخم في **E=m**؟ يبدو وكأنه ليس لدينا حروف كفاية لحشره فيها.

يأتي الالتباس من **m** الموجودة في **E=m**، بالعادة نتخيل الكتلة كشيء قاس وبسيط. أمسك صخرة في يدك: إنها تملك كتلة، قم برميها يصبح لديها كتلة وزخم، لكن هذه ليست **m** التي في **E=m**. بدل ذلك، كتب أينشتاين المعادلة التي في الأسفل، عنى شيئًا مختلفًا، بالعادة يطلق عليه "**الكتلة النسبية**".

هذا المصطلح غير مستخدم كثيرًا هذه الأيام، لكنه يسبب مشكلة أساسية، لنرجع خطوة للوراء ونرى ما الذي كان يفكر فيه أينشتاين.
هل تتذكر نسبية رياض الأطفال؟ وسماعك أشياء مثل "من المستحيل أن تتحرك بسرعة الضوء، لأنه كلما أسرع الشيء يكتسب المزيد من الكتلة، فللوصول لسرعة الضوء، سيملك الجسم كتلة لا نهائية، وبذلك يصبح من المستحيل أن تدفعه!" نعم، الآن وقت نسبية الصف الأول.

جانب أساسي من كوننا هو أن هناك سرعة كونية (حقًا نعني كونية) مُحَددة للضوء: سرعة جريان الضوء نفسها. لا يهم أي شيء، لن تتمكن مطلقًا من كسر هذه السرعة. هيا بنا نرى كيف يعمل هذا الأمر بالممارسة.

لنقل إني أعطيتك دفعة قوية أكسبتك 0.9 من سرعة الضوء. ماذا إن لحقت بك وأعطيتك الدفعة نفسها، مرة أخرى؟ لن تصبح سرعتك 1.8 من سرعة الضوء، لأن هذا غير مسموح. ستقترب من سرعة الضوء، لكن لن تتخطاها مطلقًا. إذًا السرعة التي تكتسبها جراء دفعتي لا تكافئ قوة دفعتي لك.

كلما تقترب من سرعة الضوء، تقل فاعلية دفعتي لك: أول دفعة ربما تكسبك سرعة 0.9 من سرعة الضوء، والثانية 0.99، والثالثة 0.999. في الحقيقة، الأمر وكأنك تكتسب المزيد من الكتلة. هذا بالضبط ما تعنيه الزيادة في الكتلة: يصبح دفعه أصعب.

إذًا ماذا يحصل؟ الجواب هو الطاقة. ما زلت تملك كتلتك السكونية الاعتيادية التي ملكتها دائمًا، لكنك ستتحرك بسرعة كبيرة، وتلك السرعة لديها طاقة مرتبطة بها (الطاقة الحركية). تعمل الطاقة الحركية وكأنها قوة خارجية تؤثر على الجسم: عملية دفعك تصبح أصعب وأصعب، مهما يحصل، وذلك بسبب الحد الأساسي للسرعة.

**بعبارة أخرى، يمكنك أن تقول إن الطاقة هي الكتلة. ممم، ما الذي تعرفه؟**

---

بالرجوع لـ **m**. عندما بدأ الفيزيائيون اللعب بهذه المعادلات أول مرة، كانوا مدركين حد السرعة الكوني والعواقب غير البديهية الناتجة عنه، وهي أنه كلما زادت السرعة يصبح الدفع أصعب، لذلك لخصوا ذلك المفهوم في متغير واحد: الكتلة النسبية، التي تجمع الكتلة الاعتيادية اليومية والكتلة الفعالة التي تكسبها باكتساب أحمال الطاقة الحركية.

**عندما نقسم m لعدة أجزاء، نحصل على:**

$$E^2 = m^2 + p^2$$

أو باختصار صديقنا القديم **c**:

$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$$

ولدينا حرف جديد انضم للحفلة: **p**، معبرًا عن الزخم. لا تملك الفوتونات كتلة، لكن تملك زخامًا، وذلك سبب امتلاكها الكتلة.

حسب وجهة النظر هذه، تعتبر الكتلة نوعًا من أنواع الطاقة. لكن أنا قلت في الأعلى إن الطاقة تتصرف مثل الكتلة. ما الأمر؟ هل نتكلم في دوائر؟

لا، الطاقة هي الكتلة، والكتلة هي الطاقة. يمكنك احتساب الأشياء بالكتلة أو بالطاقة، لا يهم، إنهما الشيء نفسه.

حرفيًا، يزن كوب القهوة الساخن أكثر من البارد، السفينة الفضائية التي تتحرك بسرعة تزن أكثر من التي تتحرك ببطء. الصخرة ـأو نواة ذريةـ هي كرة مضغوطة من الطاقة، وأحيانًا يمكننا إخراج شيء من تلك الطاقة لإحداث انفجار كبير.

تعلم المزيد حول هذا الأمر بالاستماع لحلقة "**Why Does** $E=mc^2$؟" في قناة **Ask A Spaceman**، متاح على آيتونز وعلى الشبكة العنكبوتية عبر الرابط هنا. يمكنك طرح أسئلتك علينا عبر تويتر باستخدام الهاشتاغ **#AskASpaceman** أو **@PaulMattSutter** أو حساب الفيسبوك.

- التاريخ: 17-12-2016

- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#النظرية النسبية #الطاقة #اينشتاين #سرعة الضوء #الكتلة النسبية

## المصادر

- livescience

## المساهمون

- ترجمة
  - شريف دويكات
- مُراجعة
  - نداء البابطين
- تحرير
  - روان زيدان
  - ليلاس قزيز
- تصميم
  - محمود سلهب
- نشر
  - مي الشاهد