أخبار ومعلومات إثرائية

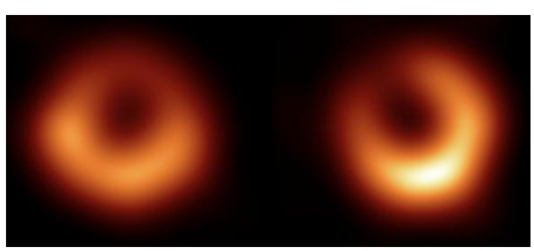
هل تعلم؟!

أن نظريّة أوستروغرادسكي $\iiint_V \left(\vec{\nabla}.F\right) dv = \oiint_S (F.\hat{n})\, ds$ التي تربط بين التكامل الحجمي لتباعد حقل متّجهي والتكامل على سطح يحدّ الحجم السابق لتدفّق الحقل نفسِه وفق السطح، أو نظريّة ستوك $\iint_\Sigma \left(\vec{\nabla} \times F\right) d\sigma = \oint_{\partial\Sigma} F.d\vec{\ell}$ التي تربط بين التكامل السطحي لدوّار حقلٍ متّجهي مع جريان هذا الحقل على طول مسارٍ مغلَق يحدّ السطح، وحتى النظريّة الأساسيّة في التحليل القائلة بأن التكامل معاكس للاشتقاق $\int_a^b f'(x)dx = f(b) - f(a)$، يمكن اعتبارُها حالات خاصّة من نظرية تقول بمساواةِ مُكاملةِ تفاضلِ شكلٍ تفاضلي **f** على متنوّع (منطوٍ **manifold**) **M** لتكامل هذا الشكل التفاضلي على حدود المتنوّع، وكأن رمز المفاضلة **d** قد انتقل من الشكل التفاضلي إلى المتنوِّع $\int_M df = \int_{\partial M} f$.

مرجع

صدور صورة ثانية ذات دقة أعلى للثقب الأسود فائق الكتلة *M87

أصدر فريق مقراب الأفق الأوروبي (**EHT**) صورة جديدة للثقب الأسود **M87*** بمناسبة مرور خمس سنين على إصدار الصورة الأولى للثقب نفسه. تنسجم الصورتان السابقة (اليسار) واللاحقة (اليمين) مع بعضهما، حيث تظهر كلتاهما مركزًا مظلمًا مُحاطًا بهالةٍ مشعة، انتقل جزؤها الأكثر سطوعًا -مع ذلك- باتجاه عقارب الساعة بزاوية 30 درجة. مرجع



مُصوِّرة (كاميرا) كومبتون تقيس استقطاب أشعة غاما في تجربةِ فيزياء نووية

تمّ استخدام كاميرا كومبتون لقياس استقطاب أشعة غاما في تجربة فيزياء نووية. قام بهذا البحث فريقٌ بقيادة شينتارو غو يعمل في عنقوديّة ريكِن للبحوث الرائدة في اليابان، حيث يمكن للنهج الجديد المُتَّبَع أن يساعد الفيزيائيين على استكشاف هيكل النواة الذرية بتفاصيل أدقّ بكثير ممّا سبق.

كحال الإلكترونات، توجد نكلونات النواة (بروتونات ونترونات) في مستويات طاقيّة عديدة، يمكن عبر انتقالها بينها إصدارُ أشعة غامّا. عن طريق قياس استقطاب الأشعة الغاما المنبعثة، يمكن لها تحديد تدويم (سبين**spin**) النواة وشفعيّتها (زوجيّتها **parity**). ومع ذلك، فإن إجراء قياسات دقيقة لاستقطاب الأشعة الغاما ليس أمرًا سهلاً.

طوّر مؤخرًا تادايوكي تاكاهاشي وزملاؤه في جامعة طوكيو تصاميم لكاميرا كومبتون متعدّدة الطبقات لتحقيق قياسات عالية الجودة، حيث تتألّف الكاميرا من طبقتَين على الأقلّ (كادميوم-تيلوريد)، حيث تقوم الأولى ببعثرة أشعة غاما بشكلٍ غير مرن (تبعثر كومبتون)، بينما تمتصّها الثانية، ومن خلال تحليل مواضع هذَين النوعَين من الأحداث يمكن تتبّع مصدر فوتونات غامّا إلى دائرة في الفضاء، وهكذا من خلال قياسات عديدة ومقاطعة هذه الدوائر يمكن تحديد مصدر أشعة غامّا، ولذلك لعبت كاميرا كومبتون دوراً كبيرًا من تحديد مواقع النجوم. ما اختبره غو في تجربته هو اعتماد زاوية انحراف الفوتون في تبعثر كومبتون على استقطابِه، وبالتالي من خلال قياسات عديدة لهذه الزوايا يمكن تحديد الاستقطاب، وقد توافقت قياسات الكاميرا مع النتائج النظريّة المتوقَّعة في حالاتٍ معروفة، ما يُعطي الكاميرا موثوقيّةً لاستخدامها في تجارب أخرى. مرجع

دالة زيتا لريمان أو دالة زيتا لأويلر-ريمان

متسلسلة ريمان المُعرَّفة بالشكل $\zeta(s)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^s}$ متقاربة (متباعدة) من أجل $1<s\in\mathbb{R}$ $(1\geq s\in\mathbb{R})$. هذه معلومة معروفة لطلاّب السنة الأولى الجامعيّة، وقد يُطلَب منهم حساب المجموع المتقارِب في حالات خاصّة، ولكن أويلر في القرن الثامن عشر كان أوّل من حسب المجموع $\zeta(2)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}=\frac{\pi^2}{6}$، وعمّم ذلك إلى $\zeta(2k)$ باستخدام أعداد برنولي التي يمكن حسابُها تدريجيًّا. لم ينجح في حساب $\zeta(2k+1)$ ، ولكنه أورد علاقة بين الدالّة والأعداد الأوّليّة $\zeta(k)=\prod_{p\in P}\frac{1}{1-\frac{1}{p^k}}$ حيث $\wp$ مجموعة الأعداد الأوّليّة.

قام ريمان في القرن التاسع عشر بتطبيق خواصّ التحليل العقدي من أجل تمديد تعريف هذه الدالّة ζ(s) على الساحة العقديّة (s=σ+it∈ℂ)، مبتدئًا من التعريف أعلاه كمتسلسلة متقاربة بالإطلاق من أجل Re(s)=σ>1، فتغدو الدالّة ζ(s) دالّة ميرومورفيّةً لها قطب بسيط عند s=1، بينما تكون تحليليّةً فيما خلا ذلك. ثم أوجدَ علاقة تحقّقها الدالّة $\zeta(s)=2^s\pi^{s-1}\sin\left(\frac{\pi s}{2}\right)\Gamma(1-s)\zeta(1-s)$، حيث Γ(s) دالّة غاما التي تمدّد عقديًّا دالّة العامليّ ($\Gamma(n)=(n-1)!$)، فيتبيّن هنا الدور الخاصّ الذي يلعبه المستقيم $\sigma=\frac{1}{2}$ حيث ترتبط القيم التي على يمينه بتلك التي تُناظِرها على يساره. كما ربَط بينها وبين π(x) (عدد الأعداد الأوّليّة المساوية لـ x أو أصغر منه) من خلال العلاقة $\ln\zeta(s)=s\int_2^{\infty}\frac{\pi(x)}{x(x^s-1)}dx$ ما سمح ببرهان خاصيّة تخلخل الأعداد الأوّليّة مع كبرها، حيث $\frac{\pi(n)}{n}\overset{n\to\infty}{\sim}\frac{1}{\ln n}$.

بيّن ريمان كذلك ألاّ أصفار للدالّة من أجل σ≥1، وبالتالي أصفار الدالّة زيتا -بعيدًا عن أصفار الجيب البديهيّة ($s\in-2\mathbb{N}^*=\{-2,-4,\cdots\}$)- يجب أن تكون في النطاق $0<\sigma<1$، وقدَّم ريمان مُخمّنتَه الشهيرة القائلة بتموضع أصفار الدالّة على المستقيم $\sigma=\frac{1}{2}$. لا زالت هذه المخمَّنة موضعَ بحث منذئذ دون أن يتمكن الرياضيّاتيون من برهان صحّتها أو خطئِها، وهي إحدى المسائل التي طرحها هِلبرت كتحدٍّ لرياضيّي القرن العشرين، وغدت المسألة الأولى التي تتحدّى رياضيّي القرن اللاحِق، ومن يفعلها تنتظره جائزة مليون دولار من معهد كلاي.

على الرغم من أن متسلسلة مجموع جميع الأعداد الطبيعيّة متباعدة: $1+2+3+4+\cdots=\infty$، إلاّ أنه بالتمديد التحليلي نجد أن ζ(-1)=-1/12، وبالتالي لو استبدلنا وبسذاجة 1- بـ s في العبارة التعريفيّة لاضطررنا لاستنتاج: $1+2+3+4+\cdots=-\frac{1}{12}$!.

حقيقةُ أنّ هذا المجموع منتهٍ وسالبٌ هي أمرٌ مخالفٌ للحدس، ولكنه يعبِّر عن تقنية مُستخدَمة في الفيزياء تُدعى باستنتظام زيتا zeta regularization، حيث نصل مثلاً عند إيجاد عدد الأبعاد التي تعيش فيها الأوتار البوزونية إلى المعادلة التالية (d هو عدد أبعاد الزمكان):

$$(d-2)\left(\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}n\right)=-1\Longrightarrow d=26$$

ومن هنا تأتي الأبعاد الـ 26 الموافقة للنسخ الباكرة من نظرية الأوتار البوزونيّة. هناك تطبيق آخر لدالّة ريمان-زيتا يكمن في حساب أثر كازيمير عندما يظهر المجموع نفسُه ولكن عند $\zeta(-3)=\sum_{n=1}^{\infty}n^3$ والذي يعطي عند التمديد التحليلي القيمة $\frac{1}{120}$ ممّا يسمح بتبيان تناسب قيمة قوّة كازيمير في واحدة المساحة بين ناقلَين مثاليَّين يحصران الخلاء بينهما عكساً مع المسافة الفاصلة مرفوعة للقوة 4. إن التمديد التحليلي يتسبّب بفقدان مقدارٍ لا متناهٍ

للطاقة خارج المنطقة بين اللبوسَين، ولكن هذا المقدار اللامتناهي يتغيّر مع حركة اللبوسَين ممّا يخلق قوّة كازيمير بينهما. مرجع

القوى الرئيسيّة الأربع

تمكن العلماء خلال المئة السنة الأخيرة من جمع دلالات تشير إلى أن التأثيرات المتبادلة بين مختلف الأشياء التي نراها في حياتنا، وأيّاً كانت طبيعة المواد المتفاعلة، تُردّ إلى تركيبات لأربعة أنواع من القوى هي قوة الثقالة Gravitational force والقوة الكهرمغناطيسية Electromagnetic force والقوة النووية الضعيفة Weak nuclear force والقوة النووية الشديدة Strong nuclear force.

تعدّ قوة الثقالة الأكثر شيوعاً بين هذه القوى، فهي المسؤولة عن بقاء كوكبنا في مداره حول الشمس، وهي ما يتيح لنا الوقوف وأقدامنا على سطح الأرض، وتنشأ بين أيّ جسيمين لهما كتلة، حيث تُعَدّ كتلة جسم ما مقياساً لقوة الثقالة التي يؤثر بها هذا الجسم أو يتأثر بها في تعامله مع أجسام أخرى، أمّا الجسيم المسؤول عن نقلها فهو الغرافيتون (الجذبون Graviton) الذي لم يتمّ بَعْد التحقّقُ من وجوده كجسيم. يلي هذه القوةَ شيوعاً وانتشاراً القوةُ الكهرمغناطيسية التي يرجع إليها الفضل في تمتعنا بمنجزات الكشوف الحديثة المتضمّنة للكهرباء، وتغطي شدة هذه القوة طيفاً واسعاً يغلب دومًا مثيلتها الثقاليّة وبمراتب، فهي في الأثر الهائل للعواصف الرعدية كما هي في الأثر اللطيف لمداعبةٍ باليد؛ تقوم الشحنة الكهربائية التي يحملها جسم ما، في هذه القوة، بالدور ذاته الذي تقوم به كتلة هذا الجسم بالنسبة لقوة (الثقالة)، فهي تدل على شدة التأثير الكهرمغناطيسي الذي يتبادله مع أجسام أخرى، أمّا حاملُها فهو الفوتون كمّة الضوء.

بالنسبة للقوّتَين الأساسيّتَين الأُخريَين فلا يُحَسُّ بهما في حياتنا اليومية لأن مداهما لا يتعدى الأبعاد الذرّيّة، وهما أقوى بكثير من القوتَين الأُخريَين ذواتَي المدى اللانهائي. أولاهما -القوة النووية الضعيفة- مسؤولة عن تحلُّل decay الجسيمات أكثر من ظهورها كقوّة جاذبة أو دافعة، وتؤثّر في الكواركات واللبتونات، وتشمل حواملُها بوزونات W+,W-,Z. أمّا ثانيهما -القوة النووية الشديدة- فتؤثّر في الكواركات، وتحملها جسيمات افتراضيّة تُسمّى بالغليّونات (غريونات gluons).

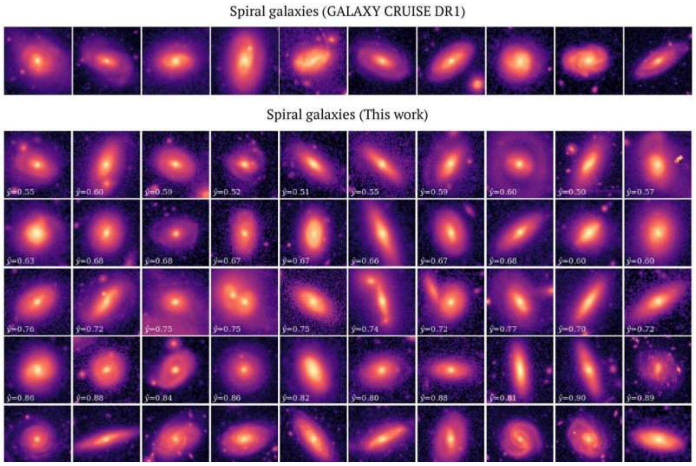
تُفسَّر جميعُ القوى المحسوسة في الطبيعة من ناحية المبدأ اعتماداً على هذه القوى الأربع، فهناك أبحاث كثيرة حول إمكانيّة اشتقاق الكمون النووي بين النكليونات (مكوّنات النوى) انطلاقاً من القوى النووية الشديدة، وبالتالي إمكانيّة تفسير بنية الهادرونات hadrons والميزونات mesons وكتلها. أمّا بنية الذرّات الإلكترونيّة وقوى فاندِرفالس Van der Waals forces بين الجزيئات فهي قائمةٌ أساساً على القوى الكهرمغناطيسيّة، كما أن نموذج هايزنبرغ الذي يقترح آليةً لتفاعل التبادل exchange interaction المسؤول عن الاتجاه المتماثل للقطبانيّات في المغانِط يعزو هذا الأثر إلى قوى الحقل الكهرساكن المتولِّد عن البنية البلّوريّة في المادة المُمَغنَطة. مرجع

اكتشاف مجرات جديدة بالذكاء الاصطناعي

في تعاون فريد بين علماء الفلك والذكاء الاصطناعي، استطاع علماء الفلك بالتعاون مع فلكيّين هواة مشاركين في مشروعٍ لعلوم المواطِن يُسمّى بـ "التطواف عبر المجرّات" "GALAXY CRUISE"وباستخدام الذكاء الاصطناعي اكتشاف حوالي 400,000 مجرة حلزونية و30,000 مجرة حلقية في البيانات المأخوذة من مقراب سوبارو. يُعدّ هذا البحثُ الأولَ من نوعه في اعتماد بيانات التصنيف من مشروعٍ لعلوم المواطن، مؤكدًا على الدور الهام للتعاون البشري والذكاء

الاصطناعي في تعميق فهمنا للكون. توصّل الفريق إلى أن المجرات الحلقية تظهر خصائص وسطية بين الحلزونية والإهليلجية، ما يطابق أحدث نتائج المحاكاة بالحواسيب الفائقة الحديثة.

في الصورة المرفقة مجرّات حلقيّة، يُفيد الصفّ الأول في التدريب على الكشف، ما أدّى إلى الكشف عن المجرّات في الصفوف المتبقيّة. مرجع



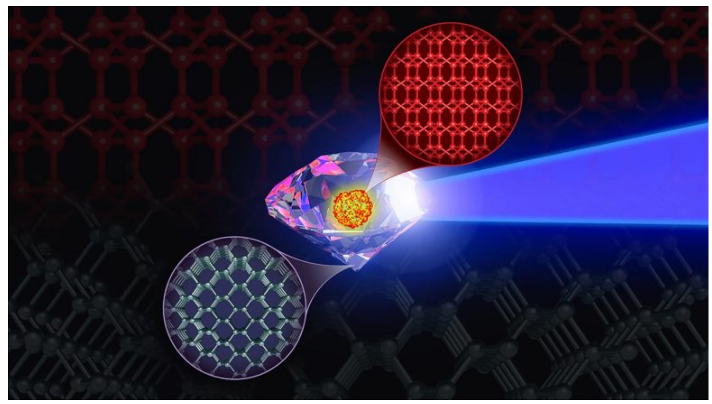
تالاغران، مُروِّض العشوائيّات

فاز الرياضياتي ميشيل تالاغران بجائزة آبل -التي يعتبرِها البعض مع جائزة فيلد كما لو كانتا جائزة نوبل في الرياضيات- لعام 2024 تقديرًا لأبحاثه المتميزة في نظرية الاحتمالات وتحليله العميق للعشوائية. يُعَدّ تالاغران، الذي يعمل في المركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي (CNRS)، رائدًا في دراسة النظم العشوائية، وقد أسهم بشكل كبير في فهم الحالات الحدّيّة لهذه النظم من خلال تقنيّات رياضية تتحول معها إلى مسائل هندسية. أحدثت معادلات/متراجحات تالاغران، التي تصف النظم العشوائية المتمتّعة بدرجة من التنبؤ، ثورة في الفهم الرياضي للمبدأ الإحصائي المعروف بتركيز القياسات. علاوةٍ على ذلك، تجد أعمالُه تطبيقاً كبيرا في نُظمٍ عشوائيّة فيزيائيّة مثل الزجاجيّات التدويميّة (spin glasses)، وهي تشكيلات مغناطيسيّة غير اعتياديّة حيث تَعمَل ذرّات المادّة كما لو كانت مغانط صغيرة تأخذ اتّجاهاتٍ عشوائيّةً دون أي ترتيب ظاهِر. برهن تالاغراند رياضيًّا بعض الصيغ الرياضيّة التي قدّمها باريزي (جائزة نوبل 2021) لتوصيف هذه المواد وبقيت دون برهان لحين أعمال تالاغراند. مرجع

فك شيفرة تخليق الألماس فائق الصلابة

في إنجاز علمي لافت، تمكن الباحثون من مخبر لورنس ليفرمور الوطني ومن جامعة فلوريدا الجنوبيّة من فك شيفرة تخليق الألماس فائق الصلابة ذي البنية البلّوريّة المكعّبيّة مركزيّة الجسم ثمانيّة الوجوه BC8، والذي يُعَدّ أكثر صلابةً من الألماس الطبيعي ويُعتقَد بوجوده في بعض الكواكب الغريبة مع فشلنا لغاية اليوم في صنعه على كوكبنا، عبر اختبار الطرق الممكنة في مخطّط الطور للألماس في مستوي الضغط والحرارة، فلم يجدوا إلاّ عددًا قليلاً يؤدّي لـ BC8. يفتح هذا الاكتشاف آفاقاً جديدة في مجال المواد الفائقة الصلابة التي يمكن استخدامها في تطبيقات عدة، مثل الصناعات التكنولوجية المتقدمة وأدوات القطع الصناعية وحماية الأجهزة. سمحت الدراساتُ التي أجريت من خلال الحاسوب Frontier العملاق -عبر تنفيذ ملايينَ من إجرائيّات محاكاةٍ لعملياتٍ ديناميكيّة ذريّة و/أوجزيئيّة- بتحليل البنية لذرية

للألماس وفهم الظروف المثالية لتخليق نسخة فائقة الصلابة منه، ممّا يفسِّر عدمَ نجاحنا تجريبيّاً في تصنيعِها ويمهّد الطريق ربّما لإنتاجها على نطاق واسع في المستقبل. يمكن أن يؤدي هذا التطور إلى تحسين كبير في المواد المستخدمة في العديد من القطاعات ويعزز من إمكانيات البحث العلمي في مجال الفيزياء والكيمياء. مرجع



كسوف الشمس الكلي ليوم الإثنين 8-أبريل/نيسان-2024

يشهد العالم كسوفًا كليا للشمس يوم الإثنين 8 نيسان/أبريل 2024، وهذا الكسوف الكلي يشاهد من المكسيك وأمريكا

Image credit: GreatAmericanEclipse.com

الشمالية، ولا يرى من المنطقة العربية، حيث سيقوم قرص القمر بالمرور أمام قرص الشمس فيحجبه ولفترة محدودة، وتظلم السماء كما في الفجر أو الغسق، حيث تختلف نسبة الحجب بحسب الموقع الجغرافي على الأرض. وسيكون أولُ كسوف كبير للشمس منذ عام 2017 مرئيا من المكسيك و15 ولاية أمريكية وجنوب شرق كندا. بالنسبة للمنطقة العربية، سيحدث أول كسوف شمسي كلي يوم الاثنين الموافق 2 أغسطس/آب 2027 ويشمل الدول التالية: مصر، السعودية، الجزائر، ليبيا، السودان، تونس، اليمن.

مسألةٌ للطلاب

نهدف في هذه الزاوية إلى تدريب طلاّبنا على حلّ بعض المسائل التي تتطلّب بعض التفكير. نختار عادةً مثل هذه المسائل من الأسئلة التي تُلقى في المسابقات (ومنها مسابقات الأولمبيادات الدوليّة). في كلّ عدد، سوف نعرض حلّاً لمسألة عُرضت في العدد السابق ونقدّم مسألة جديدة.

مسألة غير محلولة

(فيزياء، منهاج سنة ثانية جامعة)

يدور طفل على حقل جليدي حول منزلٍ شكلُه مثلث متساوي الأضلاع بضلع a2. ما هو الزمن الأقصر لدورة واحدة حول المنزل بافتراض مسار أمثلي، وأن معامل الاحتكاك بين الطفل والجليد ثابت μ (تسارع الثقالة g)؟

مسألة محلولة

(فيزياء، نسبيّة خاصّة، منهاج سنة أولى جامعة)

تُطلق مركبة -مسارُها مستقيم وبتسارع ثابت g (كما يشعر به مسافر على متنها)- صاروخَين بسرعتَين V و V2 (بالنسبة للمسافر) على الترتيب. احسب الفارق الزمني في مرجع المركبة (أي بالنسبة للمسافر) بين لحظتَي بلوغ المركبة الصاروخَين.

الحل:

نرمز بـــ τ (t) للزمن الصرف الفعلي (المرصود) كما يقيسه مسافر المركبة (المراقِب على الأرض)، وبـــ S(τ) للمرجع اللحظي السكوني المنطبق مع المركبة عند τ، فيكون $S_0=S(0)$ المرجع عند إطلاقها للصاروخَين، ونرمز بـــ v(τ) لسرعة المركبة بالنسبة لـــ S_0. نفرض c=1. (معاني الرموز: / بالنسبة لـــ، ≡ يساوي تعريفاً، o تركيب)

طريقة أولى:

(سرعة المركبة عند τ+d τ / S_0) [≡v(τ+dτ)] =(سرعة المركبة عند τ+dτ / S(τ)) [≡ gdτ من تعريف التسارع] o (سرعة S(τ) / S_0) [≡v(τ)]، إذن

$$v(\tau+d\tau) = gd\tau \circ v = \frac{v+gd\tau}{1+vgd\tau} = v+gd\tau - v^2 gd\tau \Rightarrow$$
$$v(\tau+d\tau)-v = dv = gd\tau(1-v^2) \overset{v(\tau=0)=0}{\Rightarrow} v=\tanh(g\tau)$$.

(سرعة الصاروخ / S(τ)) = (سرعة الصاروخ / S_0) o (سرعة S_0/ S(τ)) = V o (−v)

$$= \left(\frac{V-v}{1-Vv}\right) = \frac{\tanh\phi - \tanh g\tau}{1-\tanh\phi\tanh g\tau} = \tanh(\phi-g\tau): \phi = \tanh^{-1}V$$

يقطع الصاروخ بالنسبة للمسافر مسافة: $s(\tau)=\int_0^\tau \tanh(\phi-gx)dx = \int_0^\tau \frac{sinh(\phi-gx)}{cosh(\phi-gx)}dx = \frac{-1}{g}\log\left|\frac{\cosh(\phi-g\tau)}{\cosh(\phi)}\right|$ وبالتالي ملاقاة الصاروخ (s(τ)=0) تعني $\phi-g\tau=\phi \Rightarrow \tau=0 \vee \phi-g\tau=-\phi\Rightarrow \phi=\frac{g\tau}{2}$، أي $\tau=\frac{2\phi}{g}=\frac{2\tanh^{-1}V}{g}$ والفارق الزمني بالنسبة للمسافر إذن $\Delta\tau = \frac{2}{g}(\tanh^{-1}2V - \tanh^{-1}V)$

طريقة ثانية:

تسارع المركبة / S_0 [≡ a] = (تسارع المركبة / S(τ)) [≡ g] o (S_0/S(τ)) إذن حسب تركيب التسارعات: $a=g(1-v^2)^{3/2}$

$\frac{dv}{dt}=a \Rightarrow \frac{dv}{(1-v^2)^{3/2}} = gdt \Rightarrow \int\frac{dv}{(1-v^2)^{3/2}}=gt \overset{v(t=0)=0}{\Rightarrow} \frac{v}{\sqrt{1-v^2}}=gt$ أي $v=\frac{gt}{\sqrt{1+g^2t^2}}$

$$v=\frac{gt}{\sqrt{1+g^2t^2}}=\frac{dx}{dt}\overset{x(t=0)=0}{\Rightarrow} x=\int_{y=0}^{y=t}\frac{gydy}{\sqrt{1+g^2y^2}} = \left[\frac{\sqrt{1+g^2y^2}}{g}\right]_0^t = \frac{1}{g}\left(\sqrt{1+g^2t^2}-1\right)$$

في S_0، يحقق الصاروخ المُنطلق بسرعة V العلاقة: $x(t)=Vt$ ، وبالتالي الملاقاة تحدث عندما $Vt=\frac{1}{g}\left(\sqrt{1+g^2t^2}-1\right)\Rightarrow t=0 \vee t=\frac{2V}{g(1-V^2)}$. يبقى أن نحسب العلاقة بين t وτ:

$$d\tau = dt\sqrt{1-v^2} \overset{t=0\Rightarrow\tau=0}{\Rightarrow} \tau=\int_{y=0}^{y=t}\sqrt{1-v^2}dy = \int_{y=0}^{y=t}\sqrt{1-\frac{g^2y^2}{1+g^2y^2}}dy = \int_{y=0}^{y=t}\frac{1}{\sqrt{1+g^2y^2}}dy=\frac{1}{g}\sinh^{-1}(gt)$$،

والفارِق الزمني يغدو: $\Delta\tau=\frac1g\left[\sinh^{-1}\left(g\frac{2V}{g(1-V^2)}\Big|_{V=2V}\right)-\sinh^{-1}\left(g\frac{2V}{g(1-V^2)}\Big|_{V=V}\right)\right]$، أي $\Delta\tau = \frac1g\left[\sinh^{-1}\left(\frac{4V}{(1-4V^2)}\right)-\sinh^{-1}\left(\frac{2V}{(1-V^2)}\right)\right]$، وهذا يساوي ما وجدناه في الطريقة الأولى (تحقّق من ذلك).

تهدف المدرسة الصيفية الثانية للفيزياء المتقدمة، التي تنظمها الجمعية الفيزيائية العربية (ArPS) بالتعاون مع مدينة زويل للعلوم والتكنولوجيا، إلى توفير فرصة للطلاب خلال مدة أسبوع، من 25 إلى 29 أغسطس/آب 2024، من أجل تعميق المفاهيم الفيزيائيّة واستكشاف موضوعات الأبحاث المتقدّمة. المدرسة مُوجَّهة لخريجي الدرجة الأولى (البكالوريوس) الجدد في الفيزياء، وطلاب الدراسات العليا، وباحثي ما بعد الدكتوراه، والباحثين الشباب في بداية حياتهم المهنية المتحمسين لتعلّم مواضيع متقدّمة في الفيزياء. سيتم إلقاء المحاضرات باللغتين الإنجليزية والعربية، وسيحصل المشاركون الناجحون على شهادات تقديريّة. مكان انعقاد المدرسة الصيفية هو الحرم الجامعي بمدينة زويل.

هناك مقرّرات أساسيّة لجميع الطلاب وأخرى تخصّصيّة تجري في عدّة قاعات على التوازي.

تتضمّن **المقرّرات الأساسيّة** مواضيعَ: ميكانيكا الكم المتقدمة، الكهرومغناطيسية المتقدمة ونظرية الحقل الكلاسيكي، الميكانيكا الإحصائية المتقدمة، الطرق الحسابية في الفيزياء، فيزياء المادة المكثفة،

أمّا **المقرّرات التخصّصيّة** فتشمل: نظرية الحقول الكموميّة، النسبية العامة وعلم الكونيات، فيزياء البلازما وتطبيقاتها، الفيزياء الحيوية، المعلومات والحوسبة الكمومية، فيزياء الليزر وتطبيقاته.

[انتهز الفرصة وسارع للتسجيل]