

إذا أردنا سرد قصة وتاريخ نظرية النسبية العامة لأينشتاين... فماذا نقول؟ كيف توصل ألبرت أينشتاين إلى "نظرية النسبية العامة؟"

د. جبّور جبّور

(قسم الفيزياء، جامعة تشرين)

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

الملخص

إذا أردنا شرح وتوضيح تلك النظرية، فإن ننطلق من الصورة التي تسمح بالقول والشرح إن الجاذبية لم تعد قوة، لكن تم استبدالها بانحناء "الزمكان" "Space-Time". هذا يعني أن الأجسام التي تمتلك كتلاً تُحني "الزمكان" ومسارات الأجسام الأخرى المحيطة تتغير بسبب هذا الانحناء. إن هذا التوضيح يشرح بشكل سريع الفكرة التي تعتمد عليها النظرية النسبية العامة لأينشتاين. ولكن التفكير ملياً بتلك الفكرة يقود إلى الكثير من الأسئلة حول الانحناء، وكيف نستخدم هذا المفهوم لتمثيل "الجاذبية" "The Gravity".

صاغ أينشتاين "نظريته النسبية العامة" "General Relativity Theory" وكتب معادلتها في مرحلة حيث كان يمر بصعوبات شخصية، ضغوطات سياسية ومنافسات علمية كادت أن تكلفه مجده.

وُلدت نظرية النسبية العامة من فكرة تجلت فجأة. وهذا كان في نهاية عام 1907، بعد سنتين من هذا الذي كان يُطلق عليه "السنة العجائبية" "miracle year" حيث خلال تلك السنة (1905) نشر أينشتاين أربعة مقالات في مجلة علمية تدعى "Annals of Physics".

إذاً، أبصرت النور تلك النظرية في عام 1915 وهي من اكتشاف "ألبرت أينشتاين" "Albert Einstein". ويجب أن نشير هنا إلى أنها، إذا صح القول، النظرية الثالثة في النسبية.

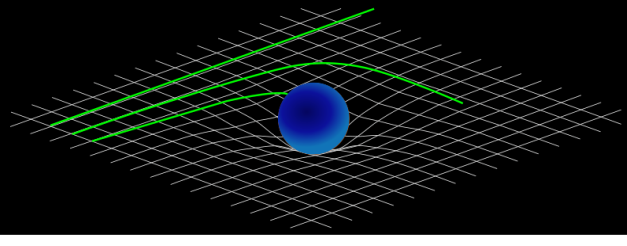
كلمات مفتاحية: مبدأ النظرية النسبية - الجاذبية - نظرية النسبية العامة - الزمكان - انحناء الزمكان - مبدأ التكافؤ - مبدأ العطالة - الكتلة العطالية - الكتلة الثقالية - انحناء الضوء.

إن النظرية النسبية هي مجموعة من الإيضاحات والشروحات تُترجم بعدم تغير "القوانين الطبيعية، أي القوانين الفيزيائية" التي يُعبّر عنها بطريقة مشابهة عند تغيرات المراجع (الجميل المرجعية) الفضائية-الزمنية. أي أن مبدأ النسبية يؤكد بأن "القوانين الفيزيائية" يمكن أن نُعبّر عنها بطريقة مشابهة في كل "المراجع العطالية": القوانين "لا تتغير عند تغير المراجع العطالي". وتمت صياغتها على عدة مراحل (بالتدرج). فالسؤال الذي يُطرح هو الآتي: ما هو مبدأ العطالة؟

هذا المفهوم يوجد صياغة دقيقة في "مبدأ العطالة" أو "القانون الأول لنيوتن": إن الجسم الذي لا يخضع لأي قوة (أو جملة من

I. مقدمة:

إن عبارة "نظرية النسبية" تُعيدنا (نُرجعنا) إلى نظريتين متكاملتين تم تطويرها من قبل ألبرت أينشتاين Albert Einstein : "النسبية الخاصة" "Special relativity" [1-6] و "النسبية العامة" "General relativity" [7-17]. وهذه العبارة يمكن أن نُعيدنا إلى فكرة أكثر قِدمًا، "نسبية غاليليه" أو "النسبية الكلاسيكية"، التي تُطبق في الميكانيك النيوتني [18-23].



(b)

شكل 1: (a) يوضح إنحناء الزمكان (Space-time curvature) نتيجة وجود جسم له كتلة، (b) ومسار جسم آخر فيه يدور حوله بسبب الانحناء.

إن هذا التوضيح يشرح بشكل سريع الفكرة التي تعتمد عليها النظرية النسبية العامة لأينشتاين. ولكن التفكير ملياً بتلك الفكرة يقود إلى الكثير من الأسئلة حول الانحناء، وكيف نستخدم هذا المفهوم لتمثيل "الجاذبية" "The Gravity".

صاغ أينشتاين "نظريته النسبية العامة" "General Relativity Theory" وكتب معادلتها في مرحلة حيث كان يمر بصعوبات شخصية، ضغوطات سياسية ومنافسات علمية كادت أن تكلفه مجده.

وُلدت نظرية النسبية العامة من فكرة تجلت فجأة. وهذا كان في نهاية عام 1907، بعد سنتين من هذا الذي كان يُطلق عليه "السنة العجائبية" "miracle year" حيث خلال تلك السنة (1905) نشر أينشتاين أربعة مقالات في مجلة علمية تدعى "Annals of Physics" حيث كشف ألبيرت أينشتاين عن كل من: المفعول الكهروضوئي "Photoelectric effect" في 9 حزيران، الحركة البراونية "Brownian motion" في 18 تموز، نظريته "النسبية الخاصة" "special relativity" في 26 أيلول، ومفهوم التكافؤ بين المادة والطاقة "Matter-energy equivalence" في 21 تشرين الثاني [7-17].

إذاً، أبصرت النور تلك النظرية في عام 1915 وهي من اكتشاف "ألبيرت أينشتاين" "Albert Einstein". ويجب أن نشير هنا إلى أنها، إذا صح القول، النظرية الثالثة في النسبية.

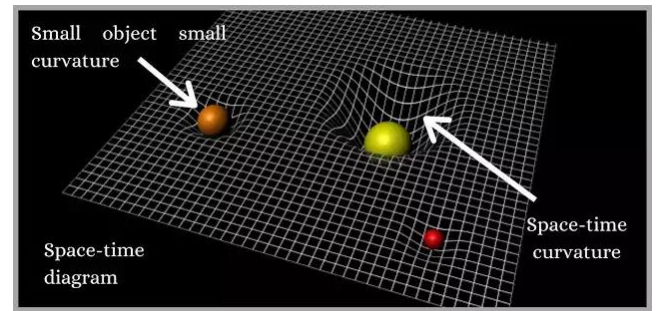
نشر أينشتاين، قبل عشر سنوات من نشر نظريته النسبية العامة، نظريته "النسبية الخاصة" "special relativity"، والتي تُعتبر

القوى محصلتها معدومة) يبقى ساكناً، أو يتحرك حركة مستقيمة منتظمة.

إن الانتقال من نظرية لأخرى (نسبية كلاسيكية، نسبية خاصة أو نسبية عامة)، يقتضي أن يُرافق بصياغة المبدأ (مبدأ النسبية) فرضيات جديدة على الفضاء والزمن، على السرعات، إلخ. بعض هذه الفرضيات كانت مضمنة أو "واضحة" في الفيزياء الكلاسيكية، لأنها تتوافق مع كل التجارب، وأصبحت واضحة وأكثر جدلاً انطلاقاً من اللحظة التي تم بها صياغة النسبية الخاصة والنسبية العامة. وهذا ما يتم عرضه في هذه المقالة.

II- أهم المراحل التي مرت بها النظرية النسبية العامة:

تُعتبر "نظرية النسبية العامة" "General Relativity Theory" لأينشتاين إحدى النظريات الأكثر سحراً وجاذبية في العلم الحديث. السؤال الذي يُطرح هو الآتي: مما تتكون، وما هي المبادئ الأساسية التي تعتمد عليها تلك النظرية؟ إذا أردنا شرح وتوضيح تلك النظرية، فإن ننتقل من الصورة التي تسمح بالقول والشرح إن الجاذبية لم تعد قوة، لكن تم استبدالها بانحناء "الزمكان" "Space-Time". هذا يعني أن الأجسام التي تمتلك كتلاً تُحني "الزمكان" ومسارات الأجسام الأخرى المحيطة تتغير بسبب هذا الانحناء، انظر الشكل (1).



(a)

إذا لم يكن هناك من قوة مطبقة، فالأمر تجري كما هو الحال في المراجع الغاليلي. أما إذا كان لدينا قوة تطبق، فيمكن تطبيق قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma$$

الذي يربط بين مجموع القوى المطبقة F والتسارع a الذي يخضع له الجسم الذي كتلته m . من ناحية أخرى، يمكن أن نكتب:

$$a = \frac{F}{m}$$

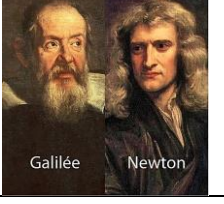
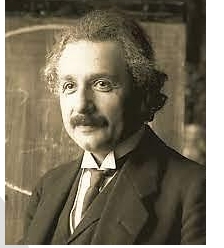
هذا يعني أن معرفة القوة والكتلة يمكن استنتاج التسارع، وهذا التسارع هو الذي سيعطي للجسم مسار مختلف عن مسار "الحركة المستقيمة المنتظمة". وجمال الشيء، هو أن معادلة نيوتن، تسير بنفس الطريقة في كل المراجع العطالية، ولهذا نتيجة مهمة، هو أنه من المستحيل القيام بتجارب في الفيزياء على حركة الأجسام، ومن ثم تمييز مرجع غاليلي عن مرجع غاليلي آخر. جميع التجارب تعطي دوماً نفس النتائج، وهذا الذي نُطلق عليه اسم "مبدأ النسبية".

تعلمون أحياناً أنه عندما تكونون في محطة القطار، وقطاركم يُقلع، أي يبدأ بالحركة، فإنه حقاً من الصعب معرفة إذا كان قطاركم هو الذي يتحرك أو القطار في الذي هو بجانبكم على السكة الأخرى. وهذا بالضبط هو الذي يجري، لا تستطيعوا التمييز إذا كنتم ساكنون لا تتحركوا بالنسبة لرصيف المحطة أو في القطار الذي يتحرك.

إن كل ما قيل أعلاه عن المراجع الغاليلي فهو أساسي، وهو مشترك لكل من نسبية غاليلي والنسبية الخاصة لأينشتاين. لكن هناك فرق بين النظريتين وهو أنه بالنسبة للنسبية الخاصة يوجد سرعة عظمى: هي سرعة الضوء التي تأخذ نفس القيمة في جميع المراجع الغاليلية، حيث ولا أي كتلة، طاقة، أو إشارة يمكن أن تسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

وهنا أينشتاين فهم بسرعة وطرح مسألة بالنسبة للوصف التقليدي لجاذبية نيوتن. بحسب نيوتن الجاذبية التي تؤثر بين جسمين هي عبارة عن قوة تساوي جداء كتلتا الجسمين (m_1, m_2) مقسوماً على مربع المسافة بينهما r^2 ، مع ثابت G يُدعى بثابت نيوتن:

كتحسين للنظرية النسبية لـ "غاليلي"، وذلك انطلاقاً من أفكار "غاليلي" و "نيوتن" في القرن السابع عشر، انظر الشكل (2).

XVII القرن السابع عشر	Galilean and Newton Relativity	
1905	Special Relativity	
1915	General Relativity	

الشكل 2: تواريخ ظهور نظريات النسبية.

في نسبية غاليلي كما هو في النسبية الخاصة، نحن بحاجة لجمل مرجعية: نوع من الشبكة (مربعات) لتعيين وتمييز وضع الأشياء (الأجسام)، مساراتها وقياس انتشار الحوادث. من بين كل المراجع الممكنة، يوجد نوع منها خاص: يُقال إنها مراجع "غاليلية" "Galilean". ونقول عن مرجع إنه مرجعاً غاليلياً إذا كانت الأجسام في تلك المرجع لا تخضع لأي قوة، أو محصلة القوى المؤثرة معدومة، فإن تلك الأجسام تسير وفق خط مستقيم وبسرعة ثابتة. نقول عنها إنها في "حركة مستقيمة منتظمة" "Uniform Rectilinear Motion". وبشكل واضح، عندما لا يخضع جسم لأي قوة، يمكن أن يكون ساكن أيضاً في مرجع مُعطى. لكن "السكون" "Immobile" يُعتبر حالة خاصة من "الحركة المستقيمة المنتظمة" حيث يسير بسرعة معدومة.

من بين المراجع الغاليلية الممكنة، نستخدم غالباً الأرض كمرجع، أي أننا نقيس المسارات بالنسبة للأرض، أو بالنسبة لسطح الأرض. في هذا المرجع، فعلياً، أي جسم لا يخضع لأي قوة، أي أنه "ساكن"، أو في "حركة مستقيمة منتظمة".

بشكل مختصر، في نسبية غاليلي، المراجع تُقسم إلى قسمين أو نوعين: المراجع التي نُطلق عليها مراجع غاليلي، حيث الأجسام في تلك المراجع لا تخضع لأي قوة وهي في "حركة مستقيمة منتظمة"، والمراجع الأخرى التي لا تتمتع بتلك الخاصية.

رأينا سابقاً أن نيوتن يقول لنا إن تسارع جسم يرتبط بمجموع القوى الذي يخضع لها $a = F/m$. إذا أخذنا القوة وقسمناها على كتلة الجسم، فنحصل على التسارع، لكن من ناحية أخرى، نظرية الجاذبية تقول لنا إن وزن (ثقل) جسم هو عبارة عن قوة تتناسب مع كتلته، ويساوي mg ، حيث g يمثل حقل الجاذبية أو الثقالة:

$$a = \frac{F}{m}, \quad F_{poids} = mg$$

وقيمة g على سطح الأرض يساوي تقريباً $g = 9,8 (m/s^2)$. بتعويض القوة F_{poids} في المعادلة الأولى، وذلك كون قوة الجاذبية عبارة عن قوة نجد أن:

$$F = F_{poids} \rightarrow a = \frac{F_{poids}}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

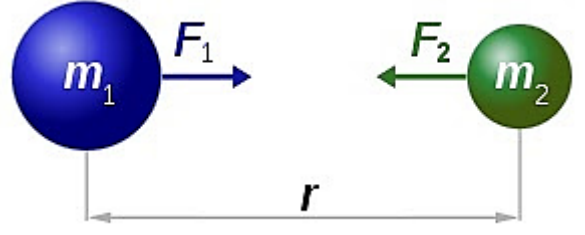
أي أن تسارع الجسم يساوي إلى حقل الثقالة، مهما كانت الكتلة، إذاً كل الأجسام عند السقوط الحر تسقط بنفس الطريقة. إذاً، لماذا قلنا إن هذا بمثابة أعجوبة؟

في المعادلة $P = mg$ ، الكتلة تحدد (تمثل) الطريقة التي يتفاعل الجسم مع حقل الثقالة، أو يتأثر بها بحقل الثقالة. من جهة ثانية في المعادلة $a = F/m$ ، الكتلة تمثل عطالة الجسم، أي صعوبة نقل الجسم أو تحريكه عندما نطبق عليه قوة ما. وإذا فكرنا قليلاً، فليس هناك من رابط أو علاقة، بشكل مبدئي، بين العطالة والثقالة. على سبيل المثال، إن تحريك صخرة كبيرة أصعب من تحريك صخرة صغيرة، مع نفس حقل الثقالة، وبشكل مستقل عن الجاذبية. إن ظهور الكتلة بأدوار ليس لها علاقة بالمعادلتين السابقتين اللتان لهما أصلان مختلفان كثيراً، فهذا غريب، ومع ذلك فيُعطى اسمين مختلفين لهذين الدورين للكتلة. في قانون الوزن (الثقل)، نتكلم عن الكتلة الثقالية، وفي قانون التسارع نتكلم عن الكتلة العطالية.

$P = mg$	الكتلة الثقالية (Grave mass)
$a = \frac{F}{m}$	الكتلة العطالية (Inert mass)

وكل هذا يجعلنا نعتقد أن، بطريقة ظاهرياً عجيبة، أن الكتلة الثقالية والكتلة العطالية دوماً متساويتان بالمثل. يجب أن نُذكر

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$



الشكل 3: تمثيل تأثير الجاذبية بين جسمين.

إن هذه النظرية لنيوتن في الجاذبية تمشي بشكل جيد جداً، ويمكن أن نستخدمها، بشكل خاص، في توقع ووصف حركة الكواكب بدقة ظاهرية لا تُصدق، لكن المسألة التي طرحها أينشتاين هي الآتية: هو أن في نظرية نيوتن هذه القوة تؤثر عن بعد وبشكل لحظي.

لنأخذ مثال وهمي، تخيلي: الأرض تدور حول الشمس، بشكل أدق بسبب مفعول الجاذبية. إذا تخيلنا أنه فجأة الشمس اختفت، فبحسب نظرية نيوتن فإن مسار الأرض يجب أن يتغير مباشرة، هذا يعني أن المعلومات المتعلقة بالجاذبية (إشارة الجاذبية) تسير بشكل لحظي، أو بعبارة أخرى فإن تأثير الجاذبية يؤثر بشكل لحظي، أي أسرع من الضوء!! وهذا يشكل سبب جيد بالنسبة لأينشتاين لكي يحاول تحسين نظرية نيوتن وجعلها منسجمة مع النظرية النسبية الخاصة التي تقول إنه لا يمكن تجاوز سرعة الضوء. إذاً بعد صياغة أينشتاين لنظريته "النسبية الخاصة" عام 1905 فكر "كيف يمكن جعل هذه النظرية منسجمة مع قوة الجاذبية".

نعلم أن كل الأجسام تسقط سقوط حر بنفس الطريقة. لكن أظن أنكم تعلمون أنه في الهواء الأمر مختلف حيث هناك مقاومة الهواء، لكن في الخلاء (الفراغ) تسير الأمور بشكل جيد، نقاعة، ريشة، مطرقة تسقط بنفس الطريقة تماماً وتكون متزامنة، وهذا صحيح مهما كانت كتلة، شكل، أو تركيب هذا الذي يسقط. وهذا التأكيد كان معروفاً قبل أينشتاين، ومع ذلك، فإن هذا يُفسر ويُشرح بمعادلات نيوتن، لكن سوف ترون أن هذا يستند ويعتمد على أعجوبة صغيرة! ما هي تلك الأعجوبة؟

وكما يُقال إن تعاسة البعض (عامل الدهان) تؤدي إلى فرح البعض الآخر (فرح أينشتاين لمعرفة شعور العامل)، أو بعبارة أخرى، مصائب قوم عند قوم فوائد!

وهناك قصص أخرى تتعلق باكتشاف قوانين الجاذبية أذكر منها قصة غاليليه حيث يُحكى أنه صعد إلى برج بيزا "Tower of Pisa" في إيطاليا ليرمي أشياء وأجسام من أعلى البرج لدراسة السقوط الحر، وقصة سقوط التفاحة على رأس نيوتن. وربما تم اختراع تلك القصص، وما هي إلا عبارة عن أساطير للتجميل والزخرفة وجذب القارئ!

بالرغم من أن توجّه أينشتاين كان مركزاً على النواحي العلمية منها على الناحية الشخصية، فمن المحتمل أن أينشتاين قد رأى العامل يسقط من البناية، وفكر مباشرة بنظرية الجاذبية، وهذه الحادثة هي التي أوحى له بتلك الفكرة التي وصفها بأنها الفكرة الأكثر سعادة في حياته، أو التي جعلته أكثر سعادة.

ولاحقاً، أينشتاين طور فكرته التجريبية. الرجل الذي يسقط سقوطاً حراً أصبح مغلقاً عليه في غرفة محكمة الإغلاق، غرفة مصعد على سبيل المثال، وتلك الغرفة هي التي تسقط سقوطاً حراً. في هذه الغرفة، يشعر الشخص بأنه في حالة انعدام الجاذبية. كل جسم يتركه يسقط يطفو بالنسبة له، يبقى إلى جانبه. وليس من الممكن القول، وليس هناك من أي تجربة تسمح بتحديد، إذا كانت غرفة المصعد تسقط بحركة متسارعة أو إذا كانت تطفو في وسط معدوم الجاذبية (الثقالة)، في الفضاء.

وهنا يتساءل أينشتاين، وي طرح السؤال الآتي على نفسه: هل السقوط الحر أو التسارع هما نفس الشيء؟

ثم تخيل أينشتاين أن الشخص يتواجد في نفس الغرفة السابقة، ومن ثم أرسل إلى الفضاء حيث الجاذبية مهملة لا يشعر بها، وهناك قوة ثابتة تُسرّع الغرفة. يشعر الشخص أن رجليه تلتصق بأرض الغرفة. إذا رمى شيء ما أو جسم ما، فإن هذا الجسم سيسقط على أرض الغرفة كما لو كان على الأرض.

إذا سقط سقوط حر بشكل واضح وجلي فإن الأشياء التي تسقط معكم، على سبيل المثال: مظلة، قبة تسقط مثلكم لأنه نعلم أن كل الأجسام تسقط بنفس السرعة في الفراغ. إذاً النقل أو الوزن الذي هو سبب سقوطكم يقود إلى أن أثناء السقوط الأشياء التي

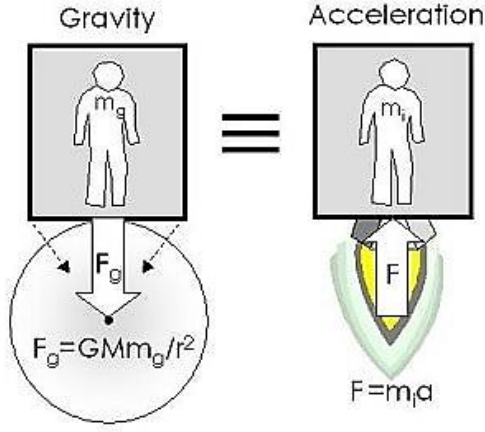
ونفهم جيداً أن هذا ليس مُلزماً مبدئياً، يمكن أن نتخيل أجسام من الصعب تحريكها، أي أن عطالتها كبيرة، لكن قليلة الحساسية لحقول الثقالة، أو بالعكس، ولكن تجريبياً هذا لا يحدث على الإطلاق. من أجل كل الأجسام، ومن أجل كل المواد، الكتلة الثقالية والكتلة العطالية متساويتان بشكل دقيق، وتم اختبار ذلك حيث وجد أن الفارق النسبي تقريباً من مرتبة الـ "جزء من المليون من المليار" في كل مرة. ويُطلق على هذه المساواة بـ "مبدأ التكافؤ" "Equivalence principle".

عندما يكون هناك كميّتان (مقداران)، مبدئياً، ليس لهما علاقة ببعضهما، وتبين أنهما متساويتان بدقة، فهذا يُخبي شيء ما أساسي، وهذا الشيء الأساسي تمّ فهمه من قبل أينشتاين. السؤال الذي يُطرح هو الآتي: ما هي المحاكمة التي اتبعتها أينشتاين لهذه الغاية؟

كان يعمل أينشتاين في تلك الفترة الزمنية كخبير تقني في "مكتب براءات الاختراع في مدينة بيرن في سويسرا" "Swiss patent office in Bern"، وكان غير معروف، غير مشهور في الوسط العلمي آنذاك. وهناك تجلت له فكرة، فماداً تقول تلك الفكرة التي تجلت له؟

وذات يوم بعد الظهر، بعد طعام الغداء، بينما كان جالساً في مكتبه في مدينة بيرن وهو بين النائم والصاحي، أي نصف صاحي نصف نائم يقول إنه أتته الفكرة الآتية: "إذا سقط شخص سقوطاً حراً، فهذا الشخص لا يشعر بوزنه الخاص". ويقول أينشتاين لاحقاً، إن هذه الفكرة هي الفكرة الأكثر سعادة في حياته، أو بعبارة أخرى هي الفكرة التي جعلته أكثر سعادة في حياته. وهذه الفكرة حرّضت لدى أينشتاين شعور وإحساس كبير كما يقول، وهي الفكرة التي قادته بعد عدة سنوات إلى نظرية جديدة للجاذبية (الثقالة)، وهذا هو نهاية قوله أو حديثه.

إن قصة هذا الشخص الذي يسقط أصبحت قصة رمزية. حيث يُحكى أنه كان عامل دهان يدهن بناية، بالقرب من "مكتب براءات الاختراع" حيث يعمل أينشتاين، وفعلاً سقط هذا العمل، وذهب أينشتاين يسأله عن شعوره وإحساسه أثناء السقوط، فيُحكى أن العامل أجابه: يمكنك أن تسأل الحفرة التي نتجت عن سقوطي! حيث سقط على كومة من الرمل ولم يُصبه أي أذى!



الشكل 4: مبدأ التكافؤ. ليس هناك من طريقة أو وسيلة للتمييز بين مفعول الجاذبية (Gravity) ومفعول التسارع (Acceleration). مفعول الجاذبية يكافئ مفعول التسارع.

بعد ذلك التاريخ حصل على أول وظيفة جامعية في ألمانيا في جامعة "شارل - فيردينان في مدينة براغ" - Charles- "Ferdinand University in Prague" في نيسان من عام 1911، حيث كانت مدينة براغ تابعة، في تلك الحقبة، إلى "الأمبراطورية النمساوية-الهنغارية" - Austro-Hungarian "Empire"، قبل الحرب العالمية الأولى. قضى هناك 16 شهراً ابتداءً من عام 1909 حيث بدأ العمل على مفهوم الجاذبية، وكان لديه أيضاً فكرة لا تُصدق، دوماً قصة المصعد مع أينشتاين، حيث دوماً هناك الكثير أو العديد من المصاعد في فكره، في ذهنه. وكان يقول دوماً للفيزيائية "ماري كوري" - Marie Curie، ماري أريد أن أعرف ماذا يحدث في المصعد!

تخيلوا أنكم داخل مصعد متسارع بشكل منتظم نحو الأعلى حيث يصعد بسرعة متزايدة، وهناك ثقب في جدار المصعد يدخل عبره شعاع ضوئي له مسار موازي للأرض يعبر المصعد، وبينما الشعاع الضوئي يعبر المصعد، المصعد يصعد نحو الأعلى لأن المصعد متسارع. إذاً نقطة تصادم الشعاع الضوئي على الجدار المقابل للمصعد سوف لن تكون مقابلة وجهاً لوجه لنقطة الدخول لكن ستكون أدنى بقليل. إذاً من أجل الشخص الموجود في المصعد يحدث ذلك وكأن مسار الشعاع الضوئي انحرف كونه يوجد تسارع! وهذا يبدو طبيعياً! ولكن بما أن مبدأ

تسقط معكم بالنسبة لكم لا تسقط. عندما تسقطوا، الأشياء التي تسقط معكم تبدو لكم كأنها في وضع حيث الجاذبية معدومة (weightless). إذاً مفعول ثقلكم (وزنكم) الذي هو السقوط يبدو أنه يعدم (يلغي) سبب سقوطكم، أي وزنكم (تقلكم)!

إذا كنا نفهم ذلك فهذا يعني أن التسارع الذي يولده السقوط يعدم (يلغي) السبب الذي هو الجاذبية (الثقالة). وهذا قاد أينشتاين مباشرة بعد ذلك إلى صياغة هذا الذي يُطلق عليه اسم "مبدأ التكافؤ" (Equivalence principle) بين الجاذبية (الثقالة) والتسارع. ماذا يعني هذا؟ هذا يعني أنه إذا كنتم في غرفة مغلقة حيث لا تروا ماذا يوجد في الخارج لا تستطيعوا أن تفرقوا فيما إذا كانت الغرفة المغلقة على الأرض في حقل الجاذبية حيث في هذه الحالة الغرفة ساكنة لا تتحرك... هي إذاً في حقل الجاذبية أو الثقالة حيث يمكن أن تقذفوا كرات أو أشياء أخرى وترقبوا مساراتها، أي هذا الذي نراقبه عادة على شكل قطع مكافئ على سبيل المثال، أو إذا كانت الغرفة في مكان في الفضاء بعيدة عن أي كتلة خارج عن أي حقل للجاذبية، لكن تسريع الغرفة هذا يعني إعطائها تسارعاً معاكساً لتسارع الجاذبية. وإذا كنتم داخل الغرفة وتقذفوا كرات على الأرض، على أرض الغرفة فسوف تروا نفس القانون الفيزيائي الناظم لو كنتم على سطح الأرض.

إذاً ليس هناك من طريقة أو وسيلة للتمييز بين مفعول الجاذبية ومفعول التسارع الناتج. وهذا ما أطلق عليه أينشتاين اسم "مبدأ التكافؤ" - "Equivalence principle". موضعياً، مفاعيل الجاذبية مكافئة لمفاعيل التسارع. هذه المفاعيل يجب إذاً أن تُظهر نفس الظاهرة، هناك حقل كوني يأخذ بالحسبان بأن واحد التسارع والجاذبية.

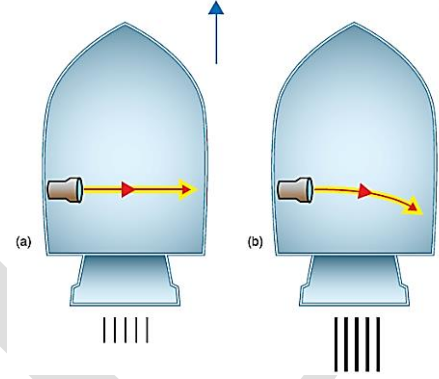
إذاً بالنسبة لأينشتاين الوضعان متكافئان بشكل كامل، وعلى الفيزيائي أن تعكس صدى هذا التكافؤ، أي يجب التعبير عن ذلك رياضياً. وهذه هي المرحلة الأولى في عام 1907.

تجريبياً، أي يمكن مراقبة تلك الظاهرة في الكسوف الكلي للشمس. وهذا كان فعلاً في عام 1919 بعد الحرب العالمية الأولى حيث كان هناك بعثة علمية برئاسة الفيزيائي "أيدنغتون" (Arthur Eddington) وقام بالقياسات أثناء "الكسوف الكلي للشمس" في 29 أيار من عام 1919، وذلك في فندق يُدعى "Sundy Praia" يقع في جزيرة "Principe" في جنوب القارة الإفريقية [8]. وهذه القياسات أكدت صحة حسابات أينشتاين. ومنذ ذلك الفترة أُطلق على هذا الكسوف "كسوف أينشتاين"، أو "كسوف النظرية النسبية العامة". وكما ترون فإنطلاقاً من تجربة ذهنية بسيطة حيث ليس هناك من حسابات، أو بالأحرى ليس هناك من حسابات معقدة، تم التحقق تجريبياً من ذلك!

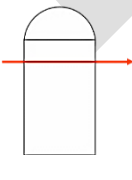
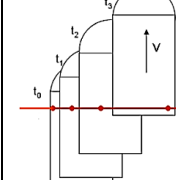
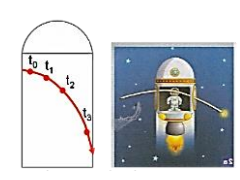
وخلال إقامته في مدينة براغ فهم أينشتاين أنه لا يستطيع وصف الجاذبية في "مكان" النسبية الخاصة التي طورها واقترحها في عام 1905. ففهم أنه يجب اللجوء إلى هندسة أخرى بسبب هذا المسار المنحني للضوء حيث يلزمنا هندسة غير مستوية، هندسة غير إقليدية.

ولهذا السبب استقال من جامعة براغ وعاد إلى مدينة "زوريخ" "Zürich" في سويسرا حيث ينتظر صديقه "مارسيل غروسمان" "Marcel Grossmann" في مرحلة الدراسة في البوليتكنيك في زوريخ الذي كان قوياً جداً في الرياضيات ويعرف الهندسة الإقليدية، ومعه طورا ما يدعى بـ "نظرة شاملة على النظرية النسبية العامة" (A sketch of general relativity)، حيث كتبوا معادلات، ليست المعادلات التي نشرت عام 1915 حيث كان بعض الأخطاء في تلك المعادلات وتم تصحيحها لاحقاً. ولكن أينشتاين انطلقاً أو بتداءً من تلك اللحظة بدأ يعمل بشكل مستمر وبشدة، بحمية حيث استمر عدة أشهر طويلة بمساعدة الرياضيين للصياغة النظرية المجردة بمعادلات رياضية لهذا المفهوم الجديد للجاذبية، وهذه الصياغة نُشرت في عام 1915. ماذا يقول هذا المفهوم الجديد للجاذبية؟ يقول إن الجاذبية ليست قوة! كما نتعلم ذلك في المدارس! كقوة تمارس وتؤثر في الفضاء بين الأجسام التي تمتلك كتلة، أي غير معدومة الكتلة، الجاذبية ببساطة هي تشوه للزمان بطريقة أن الأشياء أو الأجسام التي لها كتلة هي حرة لا تخضع لقوة، لكن

التكافؤ يقول إن هذا الوضع هو نفسه وضع المصعد عندما يكون ساكن على سطح الأرض ضمن حقل الجاذبية، حيث يوجد حقل الجاذبية، يقول أينشتاين إن هذا الذي أراه في المصعد المتسارع يجب أن أراه في المصعد وهو على سطح الأرض ساكن لا يتحرك. إذاً الجاذبية يجب أن تحرف، تُحني مسار الشعاع الضوئي، أي تحرف مسار الضوء!



الشكل 5: (a) غرفة مصعد ساكنة على سطح الأرض، أو تتحرك بسرعة ثابتة (حركة مستقيمة منتظمة)، (b) غرفة المصعد تتحرك بحركة متسارعة نحو الأعلى.

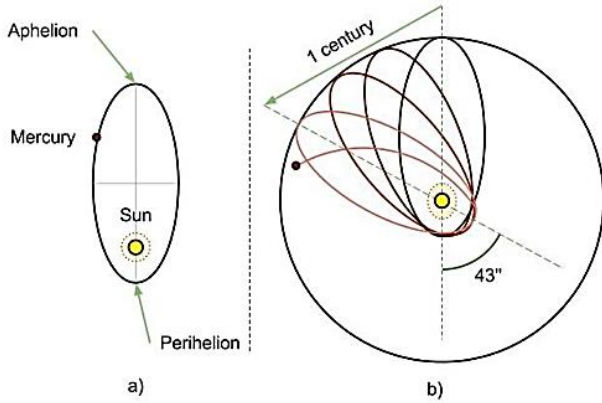
		
غرفة مصعد ساكنة. المراقب من داخل المصعد يرى مسار الشعاع الضوئي عبارة عن خط مستقيم.	غرفة مصعد متسارعة نحو الأعلى. مراقب على سطح الأرض يرى مسار الشعاع الضوئي دوماً عبارة عن خط مستقيم.	غرفة مصعد متسارعة نحو الأعلى. مراقب داخل المصعد يرى مسار الشعاع الضوئي دوماً عبارة عن مسار منحني، قطع مكافئ.

الشكل 6: يوضح مسار شعاع ضوئي في غرفة مصعد ساكنة على سطح الأرض، أو تتحرك بحركة متسارعة نحو الأعلى.

وفي بداية عام 1911 ينشر أينشتاين مقالة يعرض فيها ويشير إلى أن هذه الظاهرة يجب أن تكون قابلة للمراقبة والملاحظة

مدار الكوكب عطارد لا يرسم بالضبط دائرة، لكن شكل إهليجي، قطع ناقص، وحتى أنه مداره هو الأكثر إهليجياً. لكن بسبب تأثير الكواكب على بعضها البعض، فإن القطع الناقص يدور مع الزمن، ونقول إنه "يتقدم" "Precession". يمكن حساب سرعة التقدم هذه وفق نظرية نيوتن، أي السرعة الذي يدور بها القطع الناقص (مدار الكوكب). إن هذا الحساب صعب جداً، ولكن إذا حسبنا ذلك من أجل كل كواكب المجموعة الشمسية نجد القيمة الجيدة والصحيحة للقيمة المقاسة بالمراقبات الفلكية باستثناء القيمة المتعلقة بالكوكب عطارد!

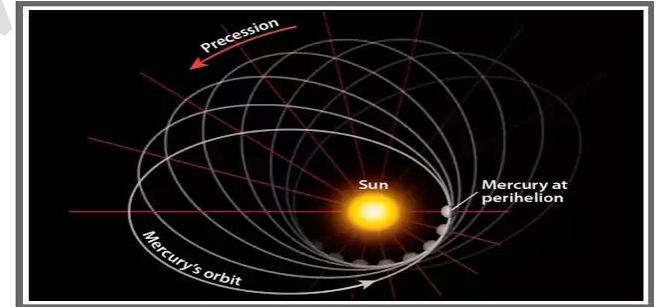
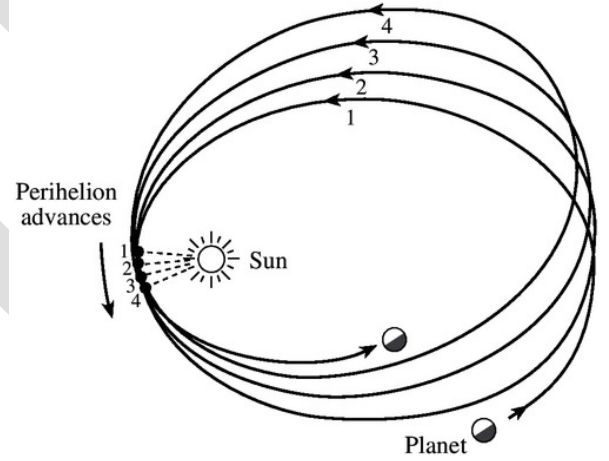
بعبارة أخرى، هناك انحراف بزاوية صغيرة من أجل كل مسار كامل له حول الشمس. وبالنسبة للحساب الذي يمكن القيام به حسب قوانين نيوتن نلاحظ انحراف صغير لهذا الذي تُطلق عليه أيضاً اسم (Perihelie) أي النقطة من مسار عطارد الأكثر قرباً من الشمس، حيث الـ (Perihelie) يتقدم بـ (43 ثانية قوس بقرن)، أي كـ 100 سنة (43 arc seconds per century) إضافة لما هو متوقع بالحسابات. إن القيمة 43 ثانية عبارة عن زاوية صغيرة جداً! وتمثل سماكة شعرة يُنظر إليها عن بعد متر واحد! تقريباً صفر! انظر الشكل (8).



الشكل 8: (a) مدار الكوكب عطارد وفق نيوتن، مدار مغلق حيث بعد دور واحد يعود إلى نفس النقطة، (b) في هذا الوضع عطارد يتبع مدار نسبي حيث نقطة الحضيض (Perihelion) (النقطة الأقرب إلى الشمس) تتزاح كل دور، و (Aphelion) تدعى بنقطة الأوج، أي

تتحرك وفق حركة عطالية وفق خط مستقيم (الحركة العطالية هي حركة وفق خط مستقيم) إلا أن هذا الخط المستقيم ليس مستقيماً وذلك لأن الزمكان منحنى! إذاً تتبع انحناء الزمكان وتتبع هذا الذي نُطلق عليه "الجيوديزيك" (Geodesics)، فإن تفسير وشرح الجاذبية تغير بشكل كامل وانقلب رأساً على عقب!

وهذا بدى بأنه مجرد، لكن في الحقيقة في عام 1915 طبق نظريته لحسابات مسألة خطيرة جداً في تلك الحقبة تمت ملاحظتها بالنسبة "للكوكب عطارد" (Mercur planet) الكوكب الأقرب للشمس مع مسار إهليجي لا ينغلق على نفسه عند كل مسار كامل له حول الشمس [9]، (انظر الشكل 7).



الشكل 7: يوضح مدارات الكوكب عطارد وتقدم نقطة الحضيض (Perihelion Advances) الأقرب للشمس، بالنسبة لتلك المدارات.

بما يتعلق بحركة الكواكب فإن معادلات نيوتن تُعطي حسابات ممتازة، ومع ذلك هناك حالة شاذة (استثنائية) بالنسبة للكوكب عطارد. كما هو الحال بالنسبة لكواكب المجموعة الشمسية فإن

ولكن هذا تأخر كثيراً لأن تلك الأمور أو تلك التسميات دخلت بتلك الطريقة في الثقافة.

إن نظرية النسبية الخاصة تم نشرها من قبل أينشتاين عندما كان يعمل كمهندساً في مكتب منح شهادات وبراءات الاختراع حيث كان يقوم بفحص واختبار تلك الاختراعات التي يتقدم بها المهندسين والتي تتعلق بدراسة تزامن الساعات الميكانيكية عن بعد، توحيد الساعة في ألمانيا وفي سويسرا على سبيل المثال حيث المهندسون يقومون بتلك العمل! وبدراسة تلك الاختراعات فهم أينشتاين أنه يوجد شيء غير طبيعي، غير عادي، شذوذ بشرح نظرية الكهرومغناطيسية في تلك العصر!

في الواقع هناك تناقض في فيزياء العصر التاسع عشر حيث لا نستطيع أن نفهم هذا التناقض! إن فيزياء القرن التاسع تستند إلى نظريتين مختلفتين، من جهة الميكانيك، ميكانيك نيوتن الذي تم صياغته من قبل لاغرانج وهاملتون الذي يعتمد على ثلاثة مبادئ، أحد هذه المبادئ هو مبدأ النسبية المُعلن عنه من قبل غاليله.

ماذا يقول مبدأ النسبية؟ يقول إن الحركة كأنها لا شيء (Movement is like nothing). هذا يعني أنه إذا كنتم في حالة حركة هذا يحدث تماماً وكأنكم لستم في حالة حركة! عندما تكونوا في قطار يتحرك بسرعة ثابتة وفق خط مستقيم وهذا يحدث في القطار كما يحدث في صالة الانتظار في المحطة! الحركة لا تغير شيء في القوانين الفيزيائية! وإذا قلنا هذا، فهذا يقتضي أن كل المراجع الغاليلية متكافئة! لا يمكن القول إن هناك مرجعاً أكثر سكوناً من المراجع الأخرى! أي أن يكون متحركاً بالنسبة لآخر له نفس الوضع بالنسبة له! بعبارة أخرى، إن هذا الذي يقوله مبدأ النسبية إنه لا يوجد مرجعاً (جملة مرجعية) حيث يمكننا القول إنه ساكن بشكل مطلق! يمكن أن أكون بمرجع ساكن بالنسبة لكم، ولكن لست ساكناً بالمطلق، أنا ساكن بالنسبة لكم لأنه نقاسم نفس الحركة، الأرض تدور حول نفسها، تدور أيضاً حول الشمس، نحن متواجدون في نفس الجملة المرجعية بحيث نكون ساكنون، ولكن ليس سكوناً مطلقاً! إن الذي يقوله الميكانيك هو إنه لا يوجد أي مرجع حيث يمكن القول إنه ساكن بالمطلق! هذه هي النقطة الأولى.

النقطة المقابلة لنقطة الحضيض والأبعد إلى الشمس. هذه الحركة أو هذا الانزياح يُقدر بـ 43 ثانية قوس بقرن، أي كل 100 عام.

والكثير من الفيزيائيين في تلك الحقبة (أي في عام 1900) قالوا إن هذا صغير جداً لا يُحسب، يمكن إهماله، يمكن نسيان هذا الشذوذ حيث يُعتبر غير خطير! لكن أينشتاين حسب هذا الشذوذ وفق نظريته، حيث لم يتم اختبار نظريته في تلك الفترة، ووجد بالحساب 43 ثانية قوس بقرن، أي كل 100 سنة!! إضافة لما كان يتوقعه حساب نيوتن.

كما تلاحظون أن هذا فظيع جداً في تاريخ العلوم بالنسبة لنظرية بالكاد وُلدت، أبصرت النور، غريبة إلى حد ما لأنها قائمة على الرياضيات، رياضيات لسنا متعودين على مثل تلك الرياضيات، وما أن كُتبت تلك النظرية سمحت بحل مسألة فلكية حيرت الفيزيائيين منذ عشرات السنوات! ونشير هنا إلى أن هذا هو الاختبار الأول للنظرية النسبية، بينما الاختبار الثاني كان لاحقاً، في عام 1919 كما ذكرنا ذلك سابقاً، وهو يتعلق بانحراف الأشعة الضوئية.

فالسؤال الذي يُطرح الآن: ما هي علاقة النسبية العامة بالنسبية الخاصة؟ وهذا ما سنراه في الفقرة القادمة.

II. هل "النظرية النسبية العامة" بحاجة إلى "النظرية النسبية الخاصة"؟

إن نظرية النسبية الخاصة تم نشرها من قبل أينشتاين في شهر حزيران من عام 1905 أي 10 سنوات قبل نشر نظرية النسبية العامة.

هنا لا بد من إبداء الملاحظة الآتية... تتعلق بالمفردات التي تُحير غالباً الطلاب! إن نظرية النسبية الخاصة تم تسميتها هكذا قبل نشر نظرية النسبية العامة! لكن في الواقع أن نظرية النسبية التي نُطلق عليها خاصة إنها نظرية عامة (Universal) للزمكان، إنها عامة وليست خاصة! بينما نظرية النسبية العامة هي نظرية نوعية مختصة بالجاذبية! إنها نظرية لا تصف إلا الجاذبية (قوة الجاذبية) قوة الثقالة! وليست بقية القوى الأساسية! هنا لدينا تسميات خادعة إلى حد ما حيث كان يمكن تغييرها،

كانت سرعة هذا الذي يقوم بقياس سرعته فيجد دوماً نفس القيمة. إذاً سرعة الضوء تأخذ دوماً نفس القيمة وهذا الذي قاد أينشتاين إلى نظرية جديدة تتعلق بالفضاء والزمان التي تم صياغتها استناداً إلى مفهوم جديد هو مفهوم "الزمكان" أي لا يمكن الفصل بين الفضاء والزمان، أي تم وضع شحطة بين الفضاء والزمان (Space-Time) حيث الشحطة تعني أنه ليس هناك الفضاء من جهة والزمان في الجهة المقابلة، أي لا يمكن الفصل بينهما! بشكل واضح في مرجع معطى، أي في جملة مرجعية معطاة، مثل صالة أو غرفة دراسة نتواجد فيها يمكن أن نعرّف زمن، هذا الذي تقيسه ساعتى، وفضاء الذي أقيسه بواسطة مسطرة، وفي هذه الحالة الفصل بينهما واضح وجلي بشكل جيد. من أجل شخص ما يتنقل بالنسبة لنا بسرعة كبيرة هناك جزء من هذا الذي سمّيته الفضاء يكون بالنسبة له زمن، وهذا الذي سمّيته زمن يكون بالنسبة له فضاء، وهذا الذي يتحرك هو الفصل بين الفضاء والزمن! هذا الفصل لم يعد مطلقاً هو نسبي في المرجع، أو للمرجع.

وهذا هو نظرية النسبية الخاصة حيث تُعتبر تلك النظرية النطاق النظري لكل التفاعلات، التفاعل النووي الذي لم يكن معروفاً في تلك الفترة، التفاعلات الكهرومغناطيسية، وأيضاً التفاعل التجاذبي (النقالي) بطريقة غير مباشرة بواسطة النظرية النسبية العامة. وعلى هذه الأرضية سوف يبنى ويصاغ نظريته النسبية العامة. وهنا سيفهم أن مفهوم الزمان سيكون مختلفاً عما هو في نظريته النسبية الخاصة، وذلك من أجل أن يضع أو يأخذ بالحسبان مفاعيل الجاذبية (الثقالة).

III. هل تُعتبر "نظرية النسبية العامة" هي الاختراع أو الاكتشاف الأكثر عظمة؟

أظن، وليس الوحيد أن النظرية النسبية العامة هي أعظم أعمال ألبرت أينشتاين! إنه ليس قام بذلك لوحده، إنه قام بذلك بمساعدة رياضيين. لكن الفكرة الأساسية لتلك النظرية، مبدأ التكافؤ الذي تكلمت عنه أعلاه، أينشتاين هو الذي اقترحه، هو الذي اكتشفه.

النقطة الثانية هي النظرية الثانية التي ظهرت في القرن التاسع عشر هي الكهرومغناطيسية التي تعتبر الضوء كنمط اهتزازي، شكل من أشكال الاهتزاز، انتشاره يؤدي أو يقود إلى اهتزاز وسط ما أطلق عليه اسم "الأثير" (Luminiferous Ether) حيث أخذنا أوجه الشبه مع الصوت، أي شبهناه بالصوت من حيث الانتشار. الصوت ينتشر في الهواء. وإذا قمنا بتفريغ الهواء، فالصوت لم يعد ينتشر! الصوت لا ينتشر في الخلاء! الصوت ظاهرة موجية بحاجة لوسط مادي لحامل يهتز لكي ينتشر. والفيزيائيون فكروا بنفس الطريقة، حيث تم تشبيه الضوء بالصوت، أي اعتبروا أن الضوء ظاهرة موجية حيث هناك وسط يهتز عند مروره! الذي أطلق عليه اسم "الأثير".

ما هي صفات وخواص الأثير؟ هل هو صلب؟ هل هو مرن؟ هل له وزن؟ هل له كتلة؟ ... الخ. تم دراسة كل ذلك، والنتيجة التي تم التوصل إليها أن الأثير له خاصية وحيدة وهي أنه ساكن بالمطلق! وهذا في تناقض مع ما يقوله الميكانيك، أو مع هذا الذي يقود أو يقتضيه الميكانيك، مع مبدأه في النسبية.

كثير من الفيزيائيين في تلك العصر أمثال (Poincare, Lorentz) بالنظر إلى الأثير، حيث ليس هناك من شخص كان يشك بوجود الأثير، حاولوا جعل النظريتين في توافق بإدخال الكهرومغناطيسية في الميكانيك مع الأخذ بالحسبان الأثير، ولكن أينشتاين يصل ويقول إن الأثير يُشكل لنا مشكلة! إذا حذفنا الأثير فالمسألة التي كانت تُطرح علينا تختفي! وهذا الذي قام به أينشتاين في المقالة التي نشرها عام شهر حزيران من عام 1905 مع استخلاص كل النتائج:

النتيجة الأولى: الضوء ينتشر في الفراغ، الضوء ليس بحاجة لحامل لكي ينتشر، إذاً الضوء يصبح كيان أو جوهر فيزيائي بحد ذاته وليس طريقة أو شكل أو نموذج اهتزازي (Vibration mode) لمادة خاصة (Particular substance) التي كانت الأثير.

ومن ثم فإن مبدأ النسبية، حيث إنه مهما كانت سرعتنا بالنسبة له، أي بالنسبة للضوء، فإن الضوء يسير بالنسبة لنا بسرعة تساوي إلى سرعة الضوء! لا يمكن أن نكون ساكنون بالنسبة للضوء، مهما كانت سرعة المنبع الذي يُصدر الضوء ومهما

نهاية القرن التاسع عشر حيث هناك الميكانيك والكهرطيسية يرتكزان على مبادئ مختلفة، وحتى أنها متناقضة، واليوم لدينا نوعان من الفيزياء يرتكزان على مبدئين على ركيزتين مختلفتين، فيزياء كوانتية حيث بفضل تلك الفيزياء يمكننا وصف القوى الكهرطيسية والقوى النووية والنسبية العامة التي لا تصف إلا الجاذبية. والسؤال الذي يُطرح منذ فترة، وبشكل خاص، بالوضع الذي يعطيه الزمكان، الزمكان المتعلق بالفيزياء الكوانتية هو عبارة عن زمكان ساكن صلب، في الواقع هو زمكان النسبية الخاصة، بينما زمكان النسبية العامة هو زمكان مرن ديناميكي، أي أنه عبارة عن كائن فيزيائي بحد ذاته حيث يمتلك مجموعة من الصفات، القياس المتريك (metric)، الانحناء، وهذه الصفات تتعلق بما يجري داخله، أي داخل هذه الزمكان، أي داخل هذا الكائن الفيزيائي. إذاً إن ما بين المحتوى (contenting) والمحتوى (content) هناك نوع من الانتماء (الالتصاق، الالتحام) (adherent). أما بالنسبة للفيزياء الكوانتية هناك الزمكان الذي هو عبارة زمكان ثابت صلب، نوع من المادة (substance) حيث ضمن هذا الزمكان تبدأ الظواهر الفيزيائية بأخذ مكانها بالظهور. واليوم هناك العديد من الفيزيائيين يحاولون إيجاد نطاق جديد يسمح بتوحيدهما! هما نظريتان مختلفتان قليلاً كما هو الحال بالنسبة لأينشتاين الذي وحد الميكانيك والكهرطيسية.

V. الخلاصة:

تُعتبر "نظرية النسبية العامة" "General Relativity Theory" لأينشتاين إحدى النظريات الأكثر سحراً وجاذبية في العلم الحديث. أبصرت النور تلك النظرية في عام 1915 وهي من اكتشاف ألبرت أينشتاين "Albert Einstein". ويجب أن نشير هنا إلى أنها، إذا صح القول، النظرية الثالثة في النسبية. بالكاد وُلدت، أبصرت النور، غريبة إلى حد ما لأنها قائمة على الرياضيات، رياضيات لسنا متعودين على مثل تلك الرياضيات. وما أن كُتبت تلك النظرية سمحت بحل مسألة فلكية حيرت الفيزيائيين منذ عشرات السنوات (مسار الكوكب عطارد)! ونشير هنا إلى أن هذا هو الاختبار الأول للنظرية النسبية،

نشير هنا أنه ليست الفكرة ضرورية، بينما في النظرية النسبية الخاصة، وحتى في الفيزياء الكوانتية، فإن أينشتاين لعب دوراً مهماً جداً. يمكن أن نفكر أنه إذا لم يكن أينشتاين موجوداً، أو إذا لم يُخلق أينشتاين، فإن النظرية النسبية الخاصة سوف تنتهي بالظهور لأن المعادلات المتعلقة بهذه النظرية كانت موجودة، والذي كان ينقص هو التفسير والشرح.

لكن المسألة التي طرحها أينشتاين على نفسه، بما يتعلق بالجاذبية (الثقالة)، هو الذي طرحها وليس الآخرون حيث ليس هناك من مبرر في تلك الفترة لتغيير نظرية الجاذبية! باستثناء السبب الذي هو من تلقاء نفسه طرحه على نفسه، أو الذي فكر به، وذلك لأنه هو أب النظرية النسبية الخاصة.

نفهم من نظرية نيوتن أن الجاذبية تنتشر بسرعة لانهاية! من أجل كتلتان فبحسب نيوتن فإنه بشكل مباشر، على الحال هناك قوة تربط (تصل) بين الكتلتين بسرعة لانهاية، وهذا يناقض مبدأ النسبية الخاصة. وأينشتاين هو الذي خرج بهذا التناقض وهو الذي صححه وأعاد صياغته، وديراك وآخرون، الكل قالوا إنه دون أينشتاين ليس هناك من نظرية تُدعى بالنظرية النسبية العامة!

IV. هل هناك دوماً عدم انسجام بين النظرية النسبية العامة والفيزياء الكوانتية؟

إذا قمنا بشيء من الموازنة، فإن النظرية النسبية العامة لم يتم حتى الآن اثبات عدم صحتها بالتجربة، حتى إنها النظرية التي تسمح بالقيام بدراسة ما يُدعى بعلم الكون (The cosmology)، لأن هذه النظرية تسمح باعتبار الكون كائن فيزيائي، شيء فيزيائي بحد ذاته، وليس نوع من الغلاف الذي يحتوي أشياء فيزيائية أخرى. أي أن الكون يمتلك خصائص إجمالية لا يمكن استنتاجها من خصائص محلية أو موضعية، الكون عبارة عن كائن فيزيائي، شيء، وهذا الشيء أو الكائن له تاريخ في التمدد (تمدد الكون) في نظرية الانفجار الأعظمي... إلخ.

لكن الفيزياء الكوانتية تصف القوى الأخرى والذي تم اكتشافه هو أن المبدأ بحد ذاته لهذه الفيزياء غير متوافق مع مبادئ النسبية العامة. إذاً فيزياء اليوم، كما هو في حالة الفيزياء في

- [2] Henri Poincaré, Sur la dynamique de l'électron, Rendiconti del Ciorcolo matematico di Palermo, vol. 21, p. 129-176, 1906.
- [3] Ernst, Andreas & Hsu Jong-Ping (June 2001); *First Proposal of the Universal Speed of Light by Voigt in 1887*, pdf Chinese Journal of Physics
- [4] Henri Poincaré, «Sur la dynamique de l'électron», une note de l'Académie des sciences, 1905.
- [5] Albert Einstein, «Zur Elektrodynamik bewegter Körper», Annalen der Physik, vol. 17, 30 juin 1905, p. 891-921.
- [6] Traduction de Zur Elektrodynamik bewegter Körper: «De l'électrodynamique des corps en mouvement», 2013.
- [7] Wolfgang Pauli; Theory of relativity, Dover Publications, Inc. (1981).
- [8] Albert Einstein, *The meaning of relativity: four lectures delivered at Princeton University, May, 1921*, Princeton: Princeton University Press, 1923.
- [9] Einstein, Albert (1905). "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" [On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light] (PDF). *Annalen der Physik (in German)*. 17 (6): 132–148.
- English translations:**
- Einstein, Albert. "On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light" (PDF). Translated by Dirk ter Haar.
 - Einstein, Albert. "On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light". Translated by Wikisource.
- [10] Einstein, Albert (1905). "Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen" [Investigations on the theory of Brownian Movement] (PDF). *Annalen der Physik (in German)*. 322 (8): 549–560.
- English translation:**
- Einstein, Albert. "Investigations on the theory of Brownian Movement" (PDF). Translated by A. D. Cowper.
- [11] Einstein, Albert (1905-06-30). "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" [On the Electrodynamics of Moving Bodies] (PDF). *Annalen der Physik (in German)*. 17 (10): 891–921. 921.

English translations:

- Einstein, Albert (1923). "On the Electrodynamics of Moving Bodies". *The Principle of Relativity*. Translated by George Barker Jeffery; Wilfrid Perrett. London: Methuen and Company, Ltd.
- Einstein, Albert (1920). "On the Electrodynamics of Moving Bodies". *The Principle of Relativity: Original Papers by A. Einstein and H. Minkowski*. Translated

بينما الاختبار الثاني كان لاحقاً، في عام 1919 كما ذكرنا أعلاه، وهو يتعلق بانحراف الأشعة الضوئية.

هنا لا بد من إبداء الملاحظة الآتية: تتعلق بالمفردات التي تُحير غالباً الطلاب! إن نظرية النسبية الخاصة تم تسميتها هكذا قبل نشر نظرية النسبية العامة! لكن في الواقع أن نظرية النسبية التي نُطلق عليها خاصة إنها نظرية عامة (Universal) للزمكان، إنها عامة وليست خاصة! بينما نظرية النسبية العامة هي نظرية نوعية مختصة بالجاذبية! إنها نظرية لا تصف إلا الجاذبية (قوة الجاذبية، قوة الثقالة)! وليست بقية القوى الأساسية! هنا لدينا تسميات خادعة إلى حد ما، حيث كان يمكن تغييرها، ولكن هذا تأخر كثيراً لأن تلك الأمور أو تلك التسميات دخلت بتلك الطريقة في الثقافة.

أظن، وليس الوحيد أن النظرية النسبية العامة هي أعظم أعمال ألبرت أينشتاين! إنه ليس قام بذلك لوحده، إنه قام بذلك بمساعدة رياضيين، لكن الفكرة الأساسية لتلك النظرية، مبدأ التكافؤ الذي تكلمت عنه أعلاه، أينشتاين هو الذي اقترحه، هو الذي اكتشفه.

نشير هنا أنه ليست الفكرة ضرورية، بينما في النظرية النسبية الخاصة، وحتى في الفيزياء الكوانتية، فإن أينشتاين لعب دوراً مهماً جداً. يمكن أن نفكر أنه إذا لم يكن أينشتاين موجوداً، أو إذا لم يُخلق أينشتاين، فإن النظرية النسبية الخاصة سوف تنتهي بالظهور وذلك لأن المعادلات المتعلقة بهذه النظرية كانت موجودة، والذي كان ينقص هو التفسير والشرح.

لكن المسألة التي طرحها أينشتاين على نفسه بما يتعلق بالجاذبية (الثقالة) هو الذي طرحها، وليس الآخرون، حيث ليس هناك من مبرر في تلك الفترة لتغيير نظرية الجاذبية! باستثناء السبب الذي هو من تلقاء نفسه طرحه على نفسه، أو الذي فكر به وذلك لأنه هو أب النظرية النسبية الخاصة.

المراجع

- [1] James Clerk Maxwell, «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 155, 1865, p. 459-512.

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.
- [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 Tamsier, 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 A* 453(1986)389-416.
- [5]. Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamsier, 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 A* 464(1987)260-286.
- [6]. Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamsier, 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 A* 464(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 A* 500(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).
- [12] Einstein, Albert (1905). "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?" [Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?] (PDF). *Annalen der Physik (in German)*. 18 (13): 639–641.

English translations:

- Einstein, Albert (1923). "Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?". *The Principle of Relativity*. Translated by George Barker Jeffery; Wilfrid Perrett. London: Methuen and Company, Ltd.

- [13] Gribbin, John, and Gribbin, Mary. *Annus Mirabilis: 1905, Albert Einstein, and the Theory of Relativity*, Chamberlain Bros., 2005. ISBN 1-59609-144-4. (Includes DVD.)
- [14] Renn, Jürgen, and Dieter Hoffmann, "1905 - a miraculous year". 2005 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 38 S437-S448 (Max Planck Institute for the History of Science) [Issue 9 (14 May 2005)]. doi:10.1088/0953-4075/38/9/001.
- [15] Stachel, John, et al., *Einstein's Miraculous Year*. Princeton University Press, 1998. ISBN 0-691-05938-1.
- [16] F. W. Dyson, A. S. Eddington et C. Davidson, « A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919 », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 1920, p. 291-333.
- [17] Steven Weinberg, *Gravitation & Cosmology*, John Wiley & Sons, New York, 1972.
- [18] Principes mathématiques de la philosophie naturelle D'après la traduction du latin en français par Émilie du Chatelet (1756).
- [19] La mécanique. Exposé historique et critique de son développement Chapitre II Développement des principes de la dynamique, section VII Critique synoptique des énoncés de Newton, paragraphe 4. Traduction par Emile Bertrand (1904)
- [20] John R. Taylor, *Mécanique classique*, de Boeck, 2012, 877 p.
- [21] Halliday et Resnick, *Physics*, vol. 1 (ISBN 978-0-471-03710-1), p. 199
- [22] Pierre Simon Laplace, «Essai philosophique sur les probabilités» [archive], 1825, Bachelier.
- [23] Emilio Segrè, *Les physiciens classiques et leurs découvertes*, Fayard, 1987.
- [24] Taillet, Villain et Febvre 2018, (équations de Maxwell).

- [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).
- [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 Nal (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 (TI) 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).