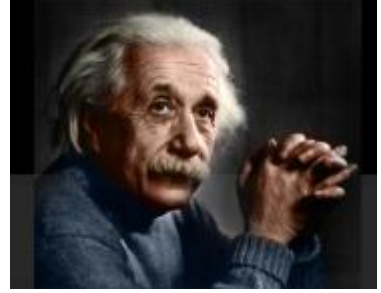


ألبرت آينشتاين

بحث من إعداد المهندس خالد العاني

«يعتبر آينشتاين أعظم علماء القرن العشرين وأحد نوبي الأدمغة السامية في كل العصور»
د. مايكل هارت

«أنت تؤمن بالله يلعب النرد وأناؤمن بقانون ونظام كاملين»
من رسالة آينشتاين إلى ماكس بورن



ولد ألبرت آينشتاين في 14 آذار من عام 1879 في مدينة «أولم» الواقعة في جنوب ألمانيا لأسرة يهودية. انتقلت أسرته في العام التالي لولادته للعيش في ضواحي ميونيخ. حيث أسس والده وعمه المهندس معملًا كهربائيًا كيميائيًا ولم يكن بالمشروع الناجح. كانت أمه مولعة بالموسيقى وبشكل خاص موسيقى بيتهوفن الذي ترك أثرًا في نفسه، كما قامت بتعليمه العزف على الكمان. كان ألبرت في صغره بطيئًا في تعلم الكلام ويتجنب القيام بأية جهود بدنية عنيفة.



لم يكن في ميونيخ نظام للتعليم العام آنذاك وكانت المدارس الابتدائية في أيدي مختلف الطوائف الدينية. ورغم كون أسرته يهودية فقد أرسلته إلى مدرسة ابتدائية كاثوليكية. ثم سجله والداه في سن العاشرة من عمره في مدرسة رسمية ثانوية. لم يكن آينشتاين سعيدًا أو ناجحًا في الدراسة، لأن الطلبة كانوا يكلفون بحفظ الدروس عن ظهر قلب حرفيًا ولم تكن هناك مناقشات في المواد الدراسية تؤدي إلى فهم الدروس فهماً عميقاً. تلقى آينشتاين في هذه المدرسة دروساً عن الديانة اليهودية بعدما تلقى في المدرسة الابتدائية دروساً عن الكاثوليكية، مما أورثه احتراماً للقيم الدينية وتسامحاً دينياً.

غرس عمه في نفسه حب الرياضيات وبين له كيف يختزل علم الجبر العمل في حل المسائل الحسابية. وقد أثرت دراسة الهندسة في آينشتاين تأثيراً عميقاً، فكان يفعل مسروراً بالطرق المستعملة في صياغة البراهين وبالمنطق الاستنتاجي الذي يتضمنه كل برهان شكلي.

يقول آينشتاين إن أهم حادثتين أثرتا في حياته كانتا في صباه، حيث تمثلت إحداهما في البوصلة المغناطيسية التي تلقاها هدية وهو في سن الخامسة من عمره، وأما الأخرى فكانت في دراسته لهندسة إقليدس حين كان في الثالثة عشرة من عمره. وقد قال عن كتاب الهندسة لإقليدس: «من لم يستهويه هذا الكتاب في صباه لم يخلق ليكون باحثاً نظرياً».

وإثر إفلاس منشأة الأعمال التي أقامها والده عام 1894 قررت عائلته التوجه إلى ميلانو في إيطاليا والإقامة بها. وكان على ألبرت الشاب الصغير البقاء في ميونيخ لإنهاء دراسته، ونظراً لعدم محبته لنزعة التسلط الموجودة في المدرسة فقد ترك المدرسة ليلتحق بأسرته الموجودة في ميلانو.



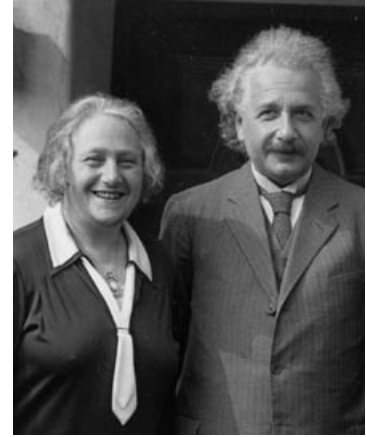
ثم أكمل دراسته فيما بعد في زيوريخ بسويسرا متخرجاً من معهد البوليتكنيك الفيدرالي عام 1900 متخصصاً في الفيزياء الرياضية ومكرساً لها بقية حياته. وأدى ولعه بالجدل ونفوره من التسلط إلى إعراض أستاذة معهد البوليتكنيك عنه، ولم يعرض عليه أي واحد من الأستادة وظيفة مساعد له وهو الطريق للمستقبل المهني الأكاديمي.

بعد ذلك عمل أينشتاين في زيوريخ مع «وولفر» مدير المرصد السويسري الفيدرالي حيث مكنته هذا من الحصول على الجنسية السويسرية. تزوج من زميلته في الدراسة

«ميليفا ماريك» المجرية الأصل. ثم تمكن أخيراً بعد مرور عامين من الحصول على وظيفة مستقرة هي وظيفة مدقق مبتدئ في مكتب الاختراعات في برن. حيث وجد في عزلة مركز عمله جواً مثالياً للتأمل في طبيعة العالم الفيزيائي.

كتب أينشتاين في عام 1905 ثلاث مقالات علمية، وهي التي أرست وضعه كواحد من قادة رجال العلم والفكر في العالم. وكانت هذه المقالات البداية لثورتين فكريتين غيرتا فهما للزمان والمكان والحقيقة نفسها، وهما النظرية النسبية وميكانيكا الكم. تناول أينشتاين في مقالته الأولى تفسيراً للحركة البراونية. وأما في مقالته الثانية فقد تناول الطبيعة الجسيمة للضوء والتي عرفت باسم «التأثير الكهروضوئي»، والتي منح عليها جائزة نوبل للفيزياء عام 1922. وأما في مقالته الثالثة فقد تناول النظرية النسبية التي عرفت فيما بعد بالنظرية النسبية الخاصة التي قلبت مفاهيم العصر ومهدت السبيل للنظرية النسبية العامة.

وفي عام 1909 شغل أينشتاين كرسي الفيزياء النظرية في جامعة زيوريخ. وفي عام 1910 أصبح مدرساً في جامعة براغ الألمانية، ثم في عام 1912 درس الفيزياء في معهد البوليتكنيك في زيوريخ. وفي عام 1913 عُين عضواً في الأكاديمية البروسية للعلوم في برلين فكان الشاب الوحيد بين زملائه الشيوخ. وفي نفس السنة أصبح مديراً لمعهد «القيصر وليم» الفيزيائي، وقد تركت له هذه الظروف وقتاً لتكريس نفسه للبحث العلمي. وفي برلين انفصل عن زوجته ميليفا ليتزوج فيما بعد من ابنة عمه إيزا عام 1919.

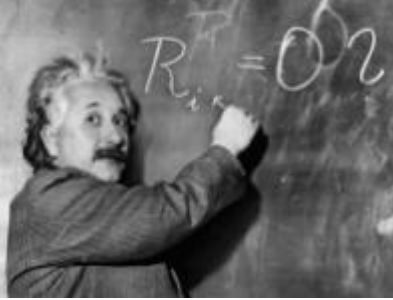


وفي عام 1915 وضع أينشتاين النظرية النسبية العامة في الجاذبية التي تختلف اختلافاً جذرياً عن نظرية نيوتن في الجاذبية. وقد علق «ماكس بورن» على النظرية بقوله: «تبدو لي النظرية على أنها أعظم انجاز حققه الفكر البشري عن الطبيعة، وأنها أعظم تركيب مذهل يجمع بين النظرية الفلسفية الثاقبة والإلهام الفيزيائي والمهارة الرياضية. ولكن ارتباطها بالتجربة كان هزيباً لدرجة أنها تعجبني كما يعجبني أي عمل فني عظيم أتمتع به وأتأمله بإعجاب ولكن عن بعد». وبعد الحرب العالمية الأولى انتقل أينشتاين من برلين إلى هولندا للعمل كمدرس في الجامعة.

كان لتقرير بعثة «آرثر ادنغتون» عام 1919 أثر كبير على شهرة أينشتاين العالمية، حيث أيدت صدق نبوءة أينشتاين حول انحراف الضوء عند مروره بمجال جاذبي قوي كالشمس. بعد ذلك دعاه اللورد «هالدين» لزيارة لندن. قبل أينشتاين الدعوة، ولدى وصوله إلى لندن قام بزيارة مقبرة الملوك والعظماء في كنيسة «ويستمنسر». وضع إكليلاً من الزهور على ضريح نيوتن ثم ألقى محاضرة قيمة في كلية «الملك». ومما قاله «هالدين» في افتتاح الجلسة: «إن ما صنعه نيوتن في القرن الثامن عشر يصنعه أينشتاين في القرن العشرين». واجتمع أثناء زيارته بمفكرين انجليز كبار من أمثال «لويد جورج» و «برنارد شو» والتقى أثناء الزيارة برئيس الكنيسة الإنجليكانية الذي أفضى إلى أينشتاين بسؤال عن مدى تأثير النظرية النسبية على الدين فأجاب «ليس لها أي تأثير فالنسبية مسألة علمية محضة وليس لها أدنى علاقة بالدين».

في عام 1921 دعي أينشتاين لزيارة الولايات المتحدة و لقي في مرفأ مدينة نيويورك بحفاوة وتكريم لم يحلم بها عالم قط. كما منح لقب مواطن شرف لمدينة نيويورك. وفي التاسع من أيار منحه جامعة «برنستون» دكتوراه شرف تقديراً منها لجهوده

وبحوثه في النظرية النسبية. وفي طريق عودته توقف في باريس محاضراً في جامعتها. وفي عام 1922 سافر إلى شنغهاي في الصين ومنها إلى اليابان، ومر في طريق عودته بفلسطين المحتلة وحل في دار الحاكم العام البريطاني الذي كان مولعاً بالنظرية النسبية. لم يكن آينشتاين موضع ترحاب من الصهاينة، ونظر إليه الوطنيون اليهود شزراً وكذا المتدينون من اليهود لأنه لم يظهر أي اهتمام بإقامة الشعائر الدينية اليهودية بل كان يسخر منها. وفي عام 1930 دعي كأستاذ زائر إلى معهد كاليفورنيا التكنولوجي فشارك في أبحاث المعهد وقام بإجراء أبحاث فلكية في مرصد جبل ويلسون.



عاد آينشتاين إلى أوروبا عام 1933 وقام بزيارة إلى بلجيكا والتقى هناك بالأب لامتر صاحب نظرية تمدد الكون والمقرب من القصر الملكي. ومع وصول النازيين إلى الحكم في ألمانيا عام 1933 قام النازيون بإسقاط الجنسية الألمانية عن آينشتاين بصفته مواطن شرف، كما فصل من منصبه كأستاذ في الجامعة وصودرت أملاكه لكونه يهودياً. ولذا نصحه المقربون منه بمغادرة بلجيكا خوفاً على حياته، فغادر بلجيكا متوجهاً إلى نيويورك ملبياً دعوة من «فلا كستر» للعمل في المؤسسة الحديثة

للدراستات العليا كمدير لمعهد الرياضيات في برنستون بولاية نيو جيرسي. ثم حصل بعد ذلك على الجنسية الأمريكية. أسهم آينشتاين في تطوير الطاقة الذرية. وكان لرسائله التي بعث بها إلى الرئيس «روزفلت» عام 1939 دور مساعد في إخراج مشروع مانهاتن إلى الوجود، والذي انتهى إلى صنع أول قنبلة ذرية. وقد جاء في خطاب آينشتاين الذي وجهه إلى الرئيس الأمريكي روزفلت الآتي:

«حدث في غضون الشهور الأربعة الأخيرة أن أصبح من المحتمل عن طريق أبحاث جوليو في فرنسا وفيرمي وزيلارد في أمريكا أن يكون بالإمكان إحداث تفاعل نووي متسلسل في كتلة كبيرة من اليورانيوم، ليتولد عن طريق ذلك كميات هائلة من الطاقة وكميات كبيرة من عناصر مشابهة للراديو. ويبدو من شبه المؤكد الآن أن هذا أمر يمكن إنجازه في المستقبل العاجل، وسوف تؤدي هذه الظاهرة الجديدة إلى إنشاء قنابل. ومما يقبله التصور إمكانية إنشاء نوع جديد من القنابل لها قوة تدمير كبيرة».

هنا قد يلقي البعض بمسؤولية القنبلة الذرية على آينشتاين لاكتشافه العلاقة بين الكتلة والطاقة، إلا أن هذا يشبه بإلقاء المسؤولية على نيوتن في حادث تصادم طائرتين نظراً لاكتشافه قانون الجاذبية العام. لم يساهم آينشتاين بنفسه في مشروع مانهاتن بل أصابه الفزع عند إلقاء القنبلة الذرية فوق هيروشيما وناغازاكي عام 1945.

وقد دعي آينشتاين ليكون رئيساً للكيان الصهيوني في فلسطين السليبية فاعتذر عن ذلك وأجاب بقوله: «إنني قد ألفت المشكلات العلمية لكنني لا أملك القدرة الطبيعية والخبرة الضرورية لسياسة المخلوقات البشرية». وقال عن السياسة: «إنها تعمل من أجل اللحظة الراهنة، أما المعادلات فهي للخلود». وقد عبر عن استيائه من الظلم الذي يمارسه الصهاينة ضد الشعب الفلسطيني بقوله: «إن دولة تنشأ كما نشأت إسرائيل جديرة بالفناء».

في عام 1950 نشر آينشتاين نظرية الحقل الموحد التي دمج بها بين قوانين الفيزياء في الجاذبية والكهرطيسية في 24 صفحة من المعادلات الرياضية. وقد توفي آينشتاين في 18 نيسان عام 1955 وهو يحاول وضع القوانين المهيمنة على الكون في صيغ رياضية. يقول العالم الفيزيائي ستيفن هوكينغ: «إن معادلات آينشتاين عن النسبية هي أفضل ما ينقش على قبره وأفضل تذكارات له. وكما ينبغي فسوف تبقى ما بقي الكون باقياً». وقد ذكر لآينشتاين عن نشر كتاب عنوانه «مائة مؤلف ضد آينشتاين» فأجاب: «ولماذا مائة مؤلف؟ لو كنت على خطأ لكان مؤلف واحد يكفي».

سنتحدث في الجزء التالي من هذه المقالة بشيء من التفصيل عن بعض أفكار ونظريات آينشتاين الرياضية.

العلاقة بين الدين والعلم

عبر آينشتاين عن رأيه عن العلاقة بين الدين والعلم بقوله: «إن الاعتقاد بأن العالم محكوم بقواعد عقلية ويمكن أن يفهمه العقل لهو اعتقاد ينتمي إلى مجال الدين - المقدس - وأنا لا أستطيع أن أتصور عالماً حقيقياً يفتقر إلى هذا الاعتقاد الممكن. ويمكن التعبير عن هذا الموقف بالصورة المجازية: العلم بدون الدين أعرج والدين بدون العلم أعمى».

ومن مقالة آينشتاين بعنوان «الروح الدينية في العلم» يقول: «والآن نجد أنه بالرغم من أن الاتجاه العلمي والاتجاه الديني كلا منهما على جده ينفصلان عن بعضهما البعض بصورة واضحة فهناك علاقات متبادلة قوية بينهما وأمور يعتمدان فيها كل منهما على الآخر. فبالرغم من أن الدين قد يكون هو الذي يحدد الهدف فإنه مع ذلك قد تعلم من العلم بأوسع معنى أي الوسائل يمكن أن تسهم في الوصول إلى الأهداف التي وضعها. ولكن العلم قُطِفَ لا يجنيه إلا أولئك الذين برّح بهم الحنين إلى الصدق والفهم، وهذا الإحساس لا يفيض إلا من رحاب الدين. فالدين هو الذي أذكى الاعتقاد في إمكان أن تكون التنظيمات التي تنطبق على دنيا الوجود معقولات أي يستطيع العقل إدراكها، ولا أستطيع أن أتصور عالماً أصيلاً لا يؤمن إيماناً عميقاً بهذه العقيدة. ويتمثل الموقف كله في أن العلم بدون الدين أعرج عاجز والدين بدون العلم أعمى يتخبط في الظلام».

التأثير الكهروضوئي

في 1905 درس آينشتاين الأثر الكهروضوئي بالاستعانة باستخدام علاقة ماكس بلانك الشهيرة التي تربط بين طاقة الفوتون وتردده وهي:

$$E = h.f$$

حيث $H =$ ثابت بلانك $[J.S]$ ويعادل $10 \times 6.62 \times 10^{-34}$ ، $F =$ تردد الضوء، $E =$ طاقة الفوتون. وقد اعتبر بلانك أن الأجسام تمتص الإشعاع الحراري وتبعثه على شكل كمات (quanta)، وكل إشعاع ومن ضمنه الضوء يخضع لتحكم أعداد صحيحة من الكوانتم. لقد طبق آينشتاين فرضية بلانك على الإشعاع الضوئي، فلدّى اصطدم شعاع ضوئي بسطح معدني معين فإن هذا السطح يطلق إلكترونات. وسميت هذه الظاهرة بالأثر الكهروضوئي. ويجب على كل فوتون ساقط على السطح امتلاك طاقة تعادل على الأقل طاقة ارتباط الإلكترون بالسطح ليتمكن من الانفلات. ولما كانت طاقة الفوتونات تعتمد على تردداتها، فإن طاقة الإلكترون المنطلق سوف تعتمد على طاقة الفوتون الساقط أي على تردد الضوء. حيث يستغل جزءاً من طاقة الفوتون في التغلب على شد السطح للإلكترون ومن ثم يستغل الجزء الباقي في إعطاء الإلكترون طاقة حركية. وقد قدم آينشتاين الصياغة التالية:

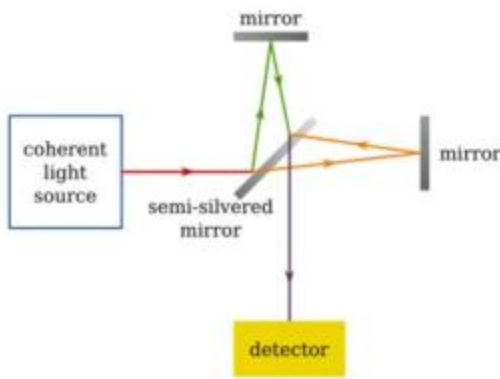
$$H.F = E + \frac{m.v^2}{2}$$

حيث $E =$ الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من السطح، $m =$ كتلة الإلكترون، $F =$ تردد الضوء، $H =$ ثابت بلانك. $\frac{m.v^2}{2}$: تمثل الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون المتحرر.

تتبع أهمية اكتشاف آينشتاين من تأكيده على التفسير الجسيمي للضوء، ومن وجود الضوء على شكل فوتونات بإمكانها التفاعل مع الإلكترونات. وكانت هذه الفكرة من الأفكار الهامة التي أدت إلى الانقلابات الجذرية في ابستمولوجيا العلم والمدخل إلى ميكانيكا الكم. واستحق على بحثه هذا جائزة نوبل للفيزياء عام 1922 .

تجربة مايكلسون ومورلي

كانت نظرية مكسويل الكهرومغناطيسية قد أثبتت أن الضوء ينتشر على شكل أمواج. وللتغلب على مشكلة انتقال الضوء افترض العلماء مادة أسموها الأثير (Ether). وبينما كانوا يتحدثون عن الأثير كان لا بد من إثبات وجوده. والفكرة بسيطة: إذا كان الأثير موجوداً فلا بد للأرض أن تنتقل خلاله كما تنتقل الطائرة خلال الهواء، وفي هذه الحالة لا بد من وجود نوع من الرياح الأثيرية حول الأرض كما توجد ریح حول الطائرة المسافرة. وإذا طبقنا قوانين نيوتن على الضوء فإن سرعة الضوء سوف تكون أعظم فيما لو كان الضوء يتجه نحو الناظر. أما إذا تحرك الضوء بعيداً عن الناظر فإن سرعة الضوء لا بد أن تنقص. قام مايكلسون و مساعده مورلي بإجراء تجربة عام 1887 لمعرفة إن كان يوجد ریح أثيرية أم لا. وقد تم إجراء التجربة من خلال أخذ منبع ضوئي ذي طول موجة وحيدة وشطرها عبر مرآة نصف عاكسة (A) إلى موجتين تسيران باتجاهين متعامدين ثم عكسهما عبر المرايا (C & D) ثم دمجها عبر جهاز دقيق للتداخل (E). كانت النتيجة أن الموجتين كانتا متعادلتين وعادتا في اللحظة ذاتها. إن التجربة أخفقت في إثبات وجود الأثير كما أن سرعة الضوء لم تتبع قوانين نيوتن.



لقد بنى أينشتاين تفكيره على نتائج تجربة مايكلسون وصاغها في عبارة قريبة من هذه: «مهما كانت سرعة المصدر فإن الضوء ينطلق بالسرعة ذاتها لجميع المشاهدين مهما كان اتجاه سيرهم». وتسمى هذه العبارة بمبدأ ثبات سرعة الضوء. وكانت هذه هي النقطة التي انطلق منها أينشتاين في النظرية النسبية.

فرضية فيتزجيرالد وتحويلات لورنتز

أحدثت نتائج تجربة مايكلسون ومورلي أزمة خطيرة في الفيزياء الكلاسيكية، لأنه معطى تجريبي لا يتوافق مع القوانين المعمول بها. بحث العلماء عن حل مع محافظتهم على افتراض وجود الأثير. وكان من الحلول ما اقترحه العالم الإيرلندي فيتزجيرالد من أن حركة كل جسم تسبب له انكماشاً في جهة حركته. وهذا يعني أن أشعة الشمس وهي من طبيعة كهرومغناطيسية تتعرض لانكماش في اتجاه حركتها نحو الأرض، وهذا الانكماش الخفي هو السبب في بقاء سرعة أشعة الشمس ثابتة سواء أكانت حركة الأرض في اتجاه الشمس أو تبتعد عنها.

وقد قبل العلماء في تلك الفترة بفرضية فيتزجيرالد وراحوا يقيسون هذا الانكماش. استطاع العالم لورنتز في عام 1903 من وضع صياغة جبرية تحدد مقدار هذا الانكماش:

$$B = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

حيث أن B = معدل الانكماش، V = سرعة الجسم، C = سرعة الضوء. أي أن طول الجسم L ينعدم عندما يتحرك الجسم بسرعة تساوي سرعة الضوء.

$$L' = L \cdot B = L \cdot 0 = 0$$

لقد أصبح من الضروري إدخال معدل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية إلى أخرى عند تحرك الجسم بسرعة مقاربة لسرعة الضوء.

المنظومات المرجعية وأنواعها

يعتمد العلم على القياس، وعندما أقيس شيئاً فإنني أقيسه بالنسبة إلى شيء آخر أتخذه مرجعاً للقياس عليه. وجملة المرتكزات التي استند إليها لتحديد شيء ما من الأشياء في المكان أو الزمان أو فيهما معا تسمى بالمنظومة المرجعية أو منظومة الإحداثيات. وتنقسم المنظومات إلى:

1- **المنظومات المرجعية الغاليلية - العطالية:** وهي منظومة مبنية على انتظام السرعة وثبات اتجاه المتحرك، وسميت

غاليلية لأن غاليليو أقام فيزياءه معتمداً على مبدأ العطالة، أي أن السرعة النسبية بين منظومتين مرجعتين غاليليتين سرعة ثابتة في الاتجاه والمقدار.

2- **المنظومات المرجعية غير الغاليلية:** وهي منظومة يسير فيها المتحرك بسرعة تزيد أو تنقص أي بشكل متسارع أو

أن المتحرك يغير فيها اتجاهه.

فالنظرية النسبية الخاصة تدرس الحوادث في إطار المرجعيات الغاليلية فلا تدخل في حساباتها التسارع. وأما النظرية النسبية العامة فهي تدرس الحوادث في إطار المرجعيات غير الغاليلية أي الخاضعة للجاذبية وما ينشأ عنها من تغير في السرعة أو الاتجاه.

التحويل الغاليلي - العطالي

هو تحويل يقوم على افتراض أن الزمان ثابت ومطلق أي أن الجسم يبقى هو هو لا يتغير. فلو أننا نريد قياس جسم موجود في منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة لمنظومتنا المرجعية بسرعة منتظمة. فإن التحويل الغاليلي الذي يعطي إحداثيات الجسم عند حركته:

$$\begin{aligned}X' &= X + V.t \\Y' &= Y \\Z' &= Z \\T' &= T\end{aligned}$$

حيث X = الطول ، Y = العرض ، Z = الارتفاع ، T = الزمن ، V = سرعة الجسم. ومن الواضح أن الشيء الوحيد الذي يتغير في التحويل الغاليلي هو طول الجسم.

تحويل لورنتز

يتطلب تحويل لورنتز إدخال معامل الانكماش B بالنسبة للطول ومعامل التمدد $(1/B)$ بالنسبة للزمن.

$$B = \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

فلو كانت إحداثيات حدث ما (x,y,z,t) في هيكل إسنادي وهو نفسه مقاساً في هيكل إسنادي آخر (X',Y',Z',T') يتحرك بالنسبة إلى الهيكل الأول بسرعة V فتعطي التحويلات بالعلاقات التالية:

$$X' = \frac{X + V.T}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

$$Y' = Y$$

$$Z' = Z$$

$$T' = \frac{T + \frac{V.X}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

أي أن الطول يميل إلى الانكماش والزمن يميل إلى التمدد. ولو كان الأمر يتعلق بآلة لضبط الوقت لانكشمت حركة عقاربها. أي تتأقلت وبالتالي يتمدد الزمن الذي يعني أن لكل منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة إلى الأخرى زمناً خاصاً بها، فليس الزمان عاماً ولا مطلقاً.

السرعات

إن التحويل في منظومة غاليلية يقوم على جمع السرعات، فإذا فرضنا أن سفينة تسير في البحر بسرعة V_1 ومسافراً على ظهرها يسير بسرعة V_2 فإن سرعة هذا المسافر بالنسبة إلى صياد يقف على الشاطئ تحسب كالتالي: $V=V_1+V_2$ أما حسب منظومة آينشتاين فإن طريقة تحويل لورنتز تقتضي إدخال معامل الانكماش على النحو التالي:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{c^2}}$$

فلو فرضنا أن A_1 هو جسم يسير بسرعة تبلغ 0.9 من سرعة الضوء وأن جسماً فوقه A_2 يسير بسرعة 0.5 من سرعة الضوء فإن سرعة A_2 لمن يراقبه حسب التحويل الغاليلي:

$$0.9 C + 0.5 C = 1.4 C$$

أي أكثر من سرعة الضوء. أما سرعة الجسم حسب طريقة تحويل لورنتز:

$$V = \frac{0.9C + 0.5C}{1 + \frac{0.9C \times 0.5C}{c^2}} = \frac{1.4C}{1.54} = 0.96C$$

أي أن سرعة الجسم A_2 أقل من سرعة الضوء والنتيجة أن سرعة الضوء هي الحد الأقصى لكل سرعة ممكنة. وبالخلاصة أن آينشتاين أطلق من تجربة مايكلسون و مورلي وتحويلات لورنتز فصاغ النسبية الخاصة ثم تابع أبحاثه وصاغ النسبية العامة.

النظرية النسبية الخاصة

في عام 1905 وضع ألبرت آينشتاين النظرية النسبية الخاصة وهي تتعلق بقوانين الفيزياء. وقد كانت قوانين الفيزياء مبنية على قوانين الحركة التي صاغها نيوتن قبل ذلك بمائتي عام والتي قدمت الحلول لمعظم مسائل الفيزياء. لكن بعض الصعوبات نشأت عند تطبيق قوانين نيوتن على الضوء كما مر معنا في التجربة التي أجراها مايكلسون و مورلي، والتي أسس آينشتاين نظريته بناءً على نتائجها.

وتقوم نظرية آينشتاين على فرضيتين هما:

1. إن سرعة الضوء ثابتة في جميع اتجاهات الفضاء ولها القيمة نفسها بالنسبة لجميع المراقبين، ولا تعتمد على الحركة

النسبية بين المراقب ومصدر الضوء. وهذا المبدأ يتعارض مع فكرة السرعة النسبية للضوء في الميكانيكا التقليدية. وقد تم إثبات فرضية ثبات سرعة الضوء تجريبياً.

2. تأخذ قوانين الفيزياء الشكل نفسه في جميع هياكل الإسناد العطالية، حيث أن السرعة والاتجاه ثابتين. فكل قانون يتم

إثباته في هيكل إسناد عطالي يكون صحيحاً في أي هيكل عطالي آخر.

قبل مجيء النظرية النسبية كان يفترض وجود زمان ومكان مطلق ولهما القيمة نفسها بالنسبة إلى جميع المراقبين. وقد برهن آينشتاين على أنه لا يمكن اعتبار الزمان والمكان شيئين مستقلين عن بعضهما وعن المراقب، ويأتي ذلك نتيجة لثبات سرعة

الضوء. لذا يتعين وصف أي حدث في هيكل إسنادي عطالي بدلالة الإحداثيات الأربعة حيث يكون ثلاثة منها مكانية وأما الرابع فهو زمني. وتختلف إحداثيات الزمان والمكان للحادثة نفسها حين قياسها في هيكلين مختلفين ولكن يمكن تحويلها من هيكل إلى آخر يتحرك بالنسبة له بسرعة ثابتة باستخدام تحويلات لورنتز.

تباطؤ الزمن

عند اقتراب السرعة v بين هيكلين عطاليين من سرعة الضوء يتباطأ الزمن بمعدل معامل الانكماش B :

$$B = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

حيث يعطى الزمن T في هيكل يتحرك بسرعة v بالنسبة إلى زمن الراصد T' في هيكل إسنادي آخر بالعلاقة التالية:

$$T = T'.B$$

مثال: عند سفر رائد فضاء إلى نجم بعده 12.5 سنة ضوئية بسرعة ثابتة تساوي 0.999 من سرعة الضوء ثم العودة إلى الأرض يكون قد مضى على الأرض 25 سنة، ولكن عمر رائد الفضاء يكون قد زاد بمقدار سنة واحدة.

تقلص الطول

والتنبؤ الثاني للنظرية النسبية الخاصة هو الانكماش الظاهري لطول الجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فيقلص الطول بمقدار الجداء بالمعامل B ، وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتز، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$L = L'.B$$

$$B = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

L : الطول في هيكل إسنادي متحرك بالسرعة v .

L' : الطول مقاسا في هيكل إسنادي آخر.

ازدياد الكتلة

تنبأت النظرية النسبية بأن الكتلة ليست ثابتة، ولكنها تزداد مع زيادة السرعة النسبية بين الكتلة والراصد وفقا للعلاقة التالية:

$$M = \frac{M'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

M' = كتلة سكون الجسم.

ومن ذلك يتبين أنه لا يمكن لجسم أن يتحرك بسرعة الضوء لأن كتلته تصبح لا نهائية. وتقتصر هذه السرعة على الجسيمات عديمة الكتلة كالفوتونات على سبيل المثال.

العلاقة بين الكتلة والطاقة

يشرح هذا القانون الشهير إمكانية تحويل المادة إلى طاقة: $E = M.C^2$ ، ومعناه في لغة الفيزياء أن الطاقة E المحتواة في جزء من المادة تساوي كتلة هذا الجسم M مضروبة في مربع سرعة الضوء C . وقد بين هذا القانون للمرة الأولى مصدر طاقة

الشمس، فلو كانت طاقة الشمس نحصل عليها باحترق وقودها لبردت الشمس منذ زمن طويل. ولكن بتحويل المادة إلى طاقة أمكن للشمس أن تطلق الحرارة لمدة طويلة وستواصل ذلك ملايين السنين. لقد كان لهذه الدور الأكبر في تحقيق القنبلة الذرية وإخراجها إلى حيز الوجود وكانت فتحاً كبيراً في فيزياء الطاقات العالية. وأخيراً فما يجب ملاحظته أن نتائج النسبية الخاصة تؤول إلى النتائج نفسها التي تتبأت به قوانين نيوتن عند السرعات الصغيرة ولكنها تختلف عند اقتراب السرعة من سرعة الضوء.

النظرية النسبية العامة

أطاحت النظرية النسبية بالانفصال التقليدي بين مفهومي الزمان والمكان وجعلت الزمان بعداً رابعاً بالإضافة إلى الأبعاد الثلاثة التي لم يخطر ببال الكلاسيكيين سواها وهي الطول والعرض والارتفاع. وأنت بالمتصل الزمكاني الرباعي الأبعاد، ويعد الفيزيائي «مينكوسكي» من رواد معالجة العالم ذو الأبعاد الأربعة. وقد أوضح أنه يمكن تطويق المطلق بالعود إلى أصله الرباعي وبالتالي يتم بحثه بعمق أكبر وهذا ما فعله أينشتاين حين طرح المتصل الزماني- المكاني الرباعي الأبعاد واتخذ من هندسة ريمان ذات السطوح المنحنية هندسة تطبيقية بدلاً من هندسة إقليدس بسطوحها المستوية، والتي عمل نيوتن بها والتي لا تصلح لتفسير ظواهر الكون جميعاً.

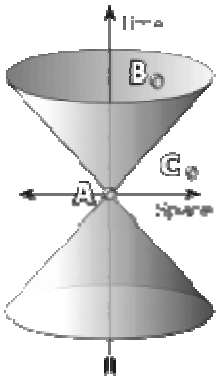
لقد نقض أينشتاين المطلق النيوتوني وفي ذلك يقول: «يمكن وصف عالم الأحداث وصفاً ديناميكياً عن طريق تصور يتغير عبر الزمان في إطار خلفية من الفضاء ثلاثية الأبعاد. ويمكن أيضاً وصف الأحداث عن طريق تصور ستاتيكي في إطار خلفية من المتصل الزمكاني رباعي الأبعاد. من منظور الفيزياء الكلاسيكية التصوران متكافئان. ولكن من منظور النسبية التصور الستاتيكي أكثر ملاءمة وأكثر موضوعية. وحتى في إطار النظرية النسبية ما زلنا نستطيع استخدام التصور الديناميكي إذا كنا نفضل هذا. لكن يجب أن نتذكر أن تلك القسمة التي تفصل بين الزمان والمكان ليس لها أي معنى موضوعي مادام الزمان لم يعد مطلقاً». فالنقطة كانت تمثل في مستوي ثلاثي الأبعاد بالشكل الآتي:

$$R^2=(X^2 + Y^2 + Z^2)$$

أما النقطة فتمثل في مستوي رباعي الأبعاد حسب هندسة مينكوسكي. وتعرف بالفترة الزمكانية (S) وفق المعادلة التالية:

$$S^2=(C^2 \cdot T^2)-(X^2+Y^2+Z^2)$$

حيث تمثل S الفترة الزمكانية (Interval)، $C^2 \cdot T^2$: تمثل الإسقاط الزماني، $(X^2 + Y^2 + Z^2)$: تمثل الإسقاط المكاني.

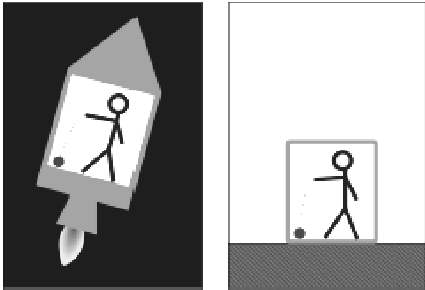


وضع أينشتاين النظرية النسبية العامة عام 1915، والأفضل أن تسمى نظرية أينشتاين في الجاذبية. فحقل الجاذبية الناشئ عن وجود أجسام ذات كتل كبيرة تغير هندسة الزمان والمكان وتجعله منحنيًا - محدبًا، وتجعل الكون مكاناً تسري عليه هندسة ريمان - السطح المحدب - أي أن الكون مكان محدب ذو شكل كروي. هذا الانحناء يؤدي بدوره إلى السيطرة على الحركات الطبيعية للأجسام. فالمادة تخبر الزمكان كيف ينحني والزمكان يخبر المادة كيف تتحرك، أي أن الأجسام تتخذ من حركتها الطبيعية مسارات جيوديسية (Geodesic). أي يتخذ الجسم أقصر مسافة للانتقال بين نقطتين، وهو المنحني،

ويمثل جزء من دائرة كبرى والتي يكون مركزها مركز الكرة مثل خط الاستواء أو دائرة خط الطول. فالكوكب خلال حركته في مداره حول الشمس يكون في حالة سقوط حر متبعاً خطاً جيوديسياً في الزمكان. والكوكب لا تمسك به في مداره قوة الجاذبية النيوتونية التي تمارسها الشمس عليه ولكنه يتبع الطريق الطبيعي في الزمكان المنحني الذي يحيط بالشمس. وهكذا ترى النسبية أن الجاذبية عبارة عن انحناء الزمكان لا بوصفها قوة تؤثر على نحو ما فورياً عبر المكان كما تصورها نيوتن. ناقش آينشتاين أفكاره عن النسبية العامة مع الرياضي «هيرمان مينكوسكي» أثناء زيارته لجامعة غوتنغن عام 1915 حيث عرض معادلات النسبية التفاضلية المكونة من 16 معادلة والتي تصف العلاقة بين الجاذبية وانحناء الزمكان. علماً أن هيرمان توصل رياضياً إلى نفس معادلات آينشتاين إلا أن الفضل في اكتشاف النسبية يعود لآينشتاين.

وجد آينشتاين أن حل معادلاته لا يصف كوناً ساكناً، فأضاف آينشتاين إلى معادلاته حداً سماه بالثابت الكوني مما أتاح له حلاً ساكناً ستاتيكيًا للكون. كانت هذه واحدة من أكبر الفرص الضائعة في الفيزياء النظرية، لأن آينشتاين لو تمسك بمعادلاته الأصلية لأمكن له أن يتنبأ بتمدد أو انكماش الكون. بعد عدة سنوات أظهرت قياسات «هبل» في مرصد «مونت ويلسون» إلى أن المجرات تتباعد عن بعضها البعض مما أدى إلى زوال الحاجة إلى ثابت آينشتاين لإعطاء الحل السكوني للكون. وقد قال آينشتاين فيما بعد «إن الثابت الكوني هو أكبر خطأ في حياتي». وقد قام الرياضيان فريدمان ولوميتير فيما بعد بإدخال تعديلات على آراء آينشتاين سمحت لهم بافتراض أن مجموع المكان المنتهي ليس حجماً ثابتاً، وإنما هو يتمدد والرياضيات التفاضلية تسمح بذلك.

من أسس النظرية العامة: مبدأ التعادل



نص هذا المبدأ على أنه لا سبيل محلياً إلى التمييز بين آثار الجاذبية وتلك الآثار التي يولدها التسارع. فالراصد في صندوق مغلق لن يكون قادراً على التمييز إن كان شعوره بالوزن ناشئاً عن كون الصندوق ساكناً في مجال الجاذبية الأرضية أو أنه يتسارع بفعل صاروخ في الفضاء الحر - لقد فكر آينشتاين في أفراد داخل المصاعد بدلاً من سفن الفضاء قبيل عصر الصواريخ. فالقوة التي يشعر بها في كلتي الحالتين ستكون متكافئة، وهذا المبدأ هو امتداد للتناسب الملحوظ بين الكتلة

الجاذبية وكتلة العطالة (القصور الذاتي). فوفقاً لقانون نيوتن الثاني في الحركة فإن التسارع a الذي تحدثه قوة f في جسم كتلته m نحصل عليه من المعادلة $a = \frac{f}{m}$. والكتلة m في هذا السياق هي مقياس مقاومة الجسم للتسارع أي لقصوره الذاتي ومن ثم تعرف بكتلة القصور الذاتي (Inertial mass). وحسب قانون نيوتن في الجاذبية فإن الكتلة m والكتلة M تجذب كلا منهما الأخرى بقوة تساوي:

$$F = \frac{m.M}{d^2}$$

فإذاً الكتلة الجاذبية (التي تحدد كتلة الجاذبية) وكتلة القصور الذاتي (وهي تحدد التسارع) لجسم ما تكونان متعادلتين تماماً. لذا فالنظرية النسبية العامة تتطلب أمرين: أحدهما وجود حقل جاذبي منظم في غاية الشدة، وثانيهما جسم يتحرك بتسارع ثابت. لقد ترتب على اكتشاف النسبية العامة معرفة أن الكواكب تدور حول الشمس نتيجة لانحناء الزمكان الناتج عن كتلة

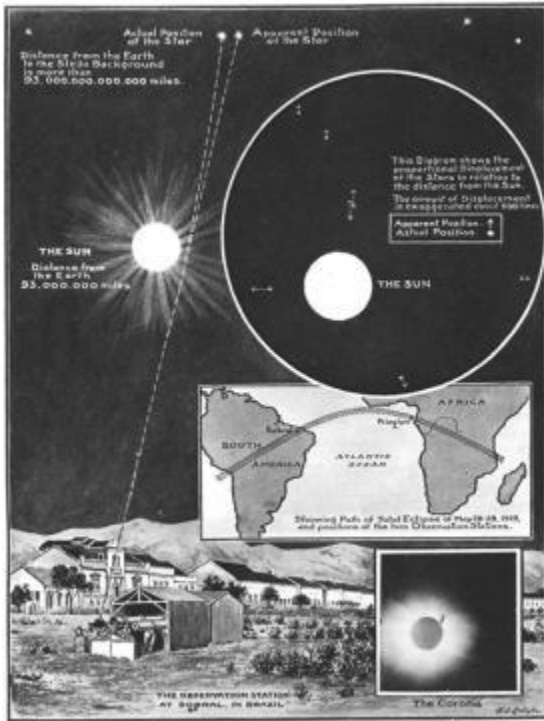
الشمس الكبيرة، والضوء أصح خاضعاً لقوانين الجاذبية حيث ينحرف مساره لدى مروره بالقرب من أجسام كبيرة، وبالتالي تتبأت النظرية النسبية العامة بوجود الثقوب السوداء.

اختبارات صحة النسبية العامة

تتطلب اختبارات صحة النسبية حقول جاذبية في غاية الشدة وقياسات في غاية الدقة. إن نتائج هذه الاختبارات تتبأ لنا بتفسير ظواهر تختلف عما تتبأت به نظرية نيوتن في الجاذبية على سبيل المثال. ومن أهم هذه الاختبارات ما يلي:

1- انحناء الضوء بفعل حقول الجاذبية:

عند مقارنة القياسات التي أجريت على مواقع النجوم التي تقع على خط بصري قريب من حافة الشمس خلال كسوف كلي والقياسات لنفس النجوم أثناء غياب الشمس. تبين أن الضوء الصادر عن النجم ينحني قليلاً عند مروره قريباً من حافة قرص الشمس ذي الكتلة الكبيرة كما هو مبين في الشكل.



وبعبارة أخرى نقول أن النجوم القريبة من الشمس تبدو كما لو كانت تحركت بعيداً عن الشمس وعن بعضها البعض. وهذا شيء لا يمكن ملاحظته بالأحوال الطبيعية. إن حقل الجاذبية الشمسي يغير مسار الفوتونات ويجعلها تنحني باتجاه الشمس، وقد وجد بالقياس أن مقدار انحراف الضوء عند قرص الشمس يعادل 1.75 ثانية قوسية وهو يتفق مع ما تتبأت به النظرية النسبية العامة. والواقع هو أن أول شاهد تجريبي يقوي ويعزز النسبية جاء في أثناء الكسوف الكلي في 29 أيار سنة 1919 في جنوب أفريقيا على يد اللورد «آرثر أدینگتون»، وهو من أعظم علماء الفلك في النصف الأول من القرن العشرين ويعتبر من رواد الفيزياء النسبية وممن قاموا بتطويرها في كتابيه «المكان والزمان والجاذبية» (1920) و«النظرية الرياضية للنسبية» (1922). وقد نظم رحلة إلى جنوب أفريقيا لرصد كسوف الشمس وإجراء

القياسات، وقد جاءت النتائج موافقة لما تتبأ به آينشتاين ومخالفة لما توقعه جموع العلماء. هنا أبرق أدینگتون إلى آينشتاين يزف إليه النتيجة، وبروح الدعابة التي أشتهر بها آينشتاين قال إنه «واثق من صحة نظريته وسلامته تتبواته. ولو كانت النتيجة مختلفة لرثى لحال صديقه العزيز أدینگتون». وهكذا بفضل بعثة أدینگتون اجتازت النسبية العامة الاختبار التجريبي العسير.

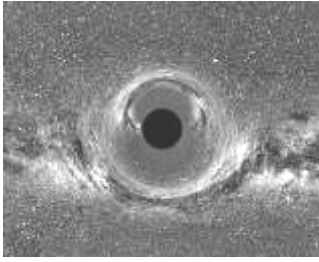
2- تقدم حضيض مدار كوكب عطارد:

لقد تقدم حضيض مدار كوكب عطارد نتيجة انحناء الزمكان، وهذه الظاهرة ناشئة عن حركة الكواكب التي لها مدارات حول جرم كبير كالشمس. فالحضيض (perihelion) هو أقرب نقطة في مدار الكوكب حول الشمس، ولا يمر الكوكب فيها بعينها لأن موضع هذه النقطة يتغير تغيراً طفيفاً.

خضعت دورات الحضيض كلها للحسابات النيوتونية إلا كوكب عطارد أقرب الكواكب إلى الشمس وأسرعها. وكان اختلاف حضيض عطارد لغزاً لم يستطع العلماء أن يجدوا له حلاً. فحضيضه يدور حول الشمس بمقدار 574 ثلاثة كل قرن (والثانية تعادل 60 ثلاثة). ولم تستطع جاذبية نيوتن أن تفسر إلا 531 ثلاثة فقط، أما الـ 43 ثلاثة المتبقية فليس لها تفسير عند نيوتن. وتأتي قوانين أينشتاين لحل هذه المشكلة عند تطبيقها على دوران عطارد. وبالتالي أعطى الجواب الصحيح 574 ثلاثة كل قرن. وكان هذا شاهداً على صحة الفرض الأساسي للنسبية العامة.

3- اضطراب الموجي الثقالي:

يتمثل الاختبار الثالث لصحة النظرية النسبية العامة بوجود موجات جاذبية (gravitational wave). يسبب انبعاث هذه الموجات فقداً في طاقة المنظومة، وهي عبارة عن اضطراب موجي شديد الضعف يصدر عند تسارع أو اضطراب أجرام سماوية ذات كتل كبيرة تمثل نموذج لانحناء الزمكان، وتؤثر هذه الموجات على المادة و باستطاعتها من حيث المبدأ إحداث ميسان ضعيف في جسم معلق. وتتولد هذه الموجات عند انفجار المستعرات العظمى، و حدوث الأنشطة عالية الطاقة في قلب المجرات النشطة.



4- الثقوب السوداء:

لم يفكر العلماء بالثقوب السوداء إلا بعد ظهور النسبية العامة. فقد دلت النظرية على أن الثقالة مرتبطة بتحدب الفضاء (curvature of spaces)، وأن الثقب الأسود ما هو إلا المكان الذي يبلغ فيه التحدب حده الأقصى بحيث يشكل ثقباً أسود.

الخاتمة

وأخيراً ففي بداية القرن العشرين وضعت نظريتان جديدتان هما النظرية النسبية ونظرية ميكانيكا الكم، حيث تتعامل النسبية مع المكان والزمان وكيفية انحنائهما على المدى الواسع تحت تأثير المادة والطاقة في الكون. أما ميكانيكا الكم فيتعامل مع عالم الصغريات. كان أينشتاين مسؤولاً بمفرده عن النسبية، كما أنه لعب دوراً هاماً في ميكانيكا الكم. ولكنه انزعج انزعاجاً شديداً بسبب أبحاث هايزنبرغ في كوبنهاغن و بول ديراك في كمبرج و شرودينغر في زيوريخ، والذين أنشؤوا صورة جديدة للواقع تعتمد على ميكانيكا الكم والقائمة على مبدأ الارتياح الذي ينص على أن من غير الممكن قياس كل من موضع الجسم وسرعته بدقة تامة في الوقت نفسه، فكلما ازدادت الدقة في قياس أحد المقدارين تناقصت الدقة في قياس الآخر. أي أن هناك دائماً عنصر من الارتياح أو عدم اليقين مما روع أينشتاين من هذا العنصر العشوائي في القوانين الأساسية. وقد عبر أينشتاين عن مشاعره في رسالة بعث بها إلى ماكس بورن: «أنت تؤمن بالله يلعب النرد وأنا أؤمن بقانون ونظام كاملين». على أي حال وافق معظم العلماء على صحة قوانين الكم الجديد وهي الأساس للتطورات الحديثة في الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزيئية وعالم الإلكترونيات، وكانت أساس التكنولوجيا التي أحدثت تحولاً في العالم في السنين الخمسين الأخيرة.

مراجع البحث

1. أينشتاين والنظرية النسبية، د. عبد الرحمن مرحبا.
2. أفكار وأراء ألبرت أينشتاين، ترجمة رمسيس شحادة، الهيئة المصرية للكتاب.
3. الثقوب السوداء والأكوان الطفلة، ستيفن هوكينغ، دار طلاس.
4. الكون في قشرة جوز، ستيفن هوكينغ، عالم المعرفة الكويت، العدد 219.
5. فلسفة العلم في القرن العشرين. د.يمنى خولي، عالم المعرفة، العدد 264.
6. فلسفة الكوانتم، رولان أونيس، ترجمة د.أحمد فؤاد باشا ود. يمنى خولي، عالم المعرفة الكويت، العدد 350.
7. فكرة الزمان عبر التاريخ، كولن ولسون، عالم المعرفة، العدد 159.
8. قصة الفيزياء، لويد متر وجيفرسون. ترجمة وائل الأتاسي، دار طلاس.
9. عمالقة العلم، فيليب كين، دار دمشق.
10. موسوعة علوم الفلك والفضاء والفيزياء الفلكية، دشوقي الدلال، الكويت.
11. المنهج التجريبي وتطور الفكر العلمي، د.عابد الجابري، دار الطليعة.

