

الموسوعة الصغيرة

٢٧

النسبية بين نيوتن وأينشتاين

د. طالب ناهي الخفاجي

الموسوعة الع

رقم (٢٧) هذا الكتاب

وله في ثلاثة

نسخي

بحث

اصه



النسبية

بين نيوتن و آينشتاين

الدكتور طالب ناهي الخفاجي

منشورات وزارة الثقافة والفنون

الجمهورية العراقية

١٩٧٨

المقدمة

يسرني ان اقدم للقاريء العربي هذا الكتاب
عن نظرية النسبية . وقد آثرت ان اجعله في ثلاثة
فصول ، يشرح الاول منها الميكانيك الكلاسيكي
وظهور بدايات النسبية لدى غاليلو . بينما يبحث
الفضلان الثاني والثالث نظريتي آينشتين الخاصة
والعامة .

يحتوي الكتاب على مباديء اوليه في
الرياضيات ويمكن للقاريء غير الملم بها ان يتجاوزها
دون ان يحدث لديه هذا التجاوز ارباكاً في مفاهيم
النظرية .

اعتز بهذه المناسبة ان اسجل شكري للزميل
الدكتور علي عطية عبدالله رئيس قسم الفيزياء في
كلية العلوم - جامعة بغداد - على تكليفه اياي
باعداد هذا الموضوع وتقييمه له .

آملا ان يسد هذا الكتاب نقصاً في الثقافة
العلمية العامة لقرائنا الاعزاء .

الدكتور طالب ناهي الخفاجي
قسم الفيزياء - كلية العلوم
جامعة بغداد

بالنسبة لسطح الأرض ونجري قياساتنا وفقاً لذلك . ولكن ، الحقيقة غير ذلك ، لأن خط السكة الحديدية والقطار الذي يسير عليه قد تغير مكانهما في الفضاء مع دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس .

ولما كانت الإخيرة هي إحدى نجوم مجرة درب التبانة والتي تدور حول نفسها بسرعة هائلة ، فسمنا تدور معها ومجرة درب التبانة كباقي المجرات الأخرى الكثيرة المنتشرة في الكون ، منطلقه في الفضاء تتباعد عن بقية المجرات سرعة كبيرة . وهذا يعني في الفترة الزمنية التي يبدأ فيها القطار رحلته من بغداد ووصوله البصرة ، تكون الأرض وكل ما عليها بضمنها القطار وخط سكته ، قد انتقلت الى موقع آخر ، قد يبعد مئات الالوف من الكيلومترات عن المكان الذي درسنا فيه حركة القطار . إذن ، كيف نعين موقعا ثابتا مطلقا ، والكون بهذه الحركة الدائبة .

افترض نيوتن كذلك ، زمنا مطلقا ، وقال ان الزمن يجري بالتساوي في جميع انحاء الكون . ويمكن ان يستخدم التوقيت المطلق ، بصنع ساعة قياسيه ، تقيس فترات زمنية متصله بالحركة . وتعطي هذه الساعة اشارات معينه في فترات متساوية ثابتة ، نوقت بموجبها جميع الساعات

الفصل الاول

نسبيه نيوتن وغاليليو

1 - 1 الفضاء والزمن :

في اية نظرية علميه ، يجب ان نبدأ بمفاهيم اوليه معينه وعدد من الفرضيات ، ومن أكثر المفاهيم اساسية في الفيزياء ، مفهومان ، هما الفضاء والزمن .

عند تدريس الفيزياء الكلاسيكية ، نكتفي بالفضاء ذي الابعاد الثلاثة للهندسة الاقليديه ، اما لمفهوم الزمن فنفترض سلسلة من الاحداث المرتبة المتتابعه والتي تقاس بمقياس زمني منتظم مطلق ، وان لكل من الفضاء والزمن كيانا واضحا .

ويعني نيوتن بالمكان المطلق هو ان يبقى المكان مستقلا عما يحيط به غير قابل للحركة ويشبه دوما ذاته .

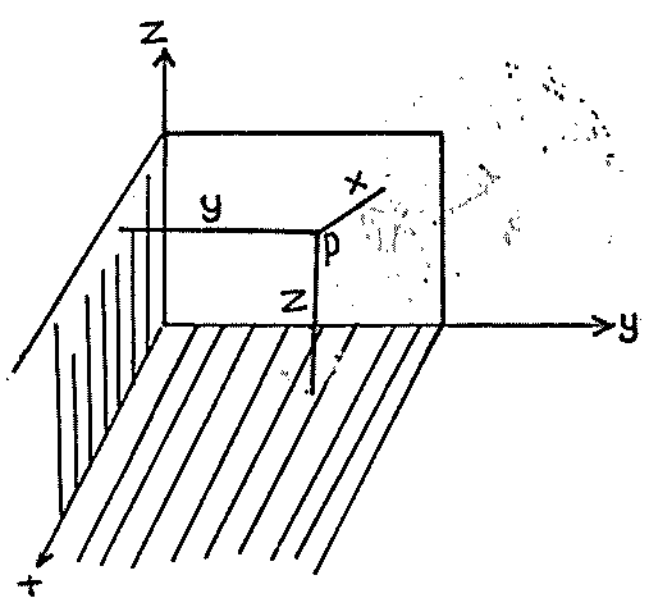
فمثلا ، عند دراسة حركة القطار بين بغداد والبصرة نعتبر مكان خط السكة الحديدية ساكنا

الأخرى دون أخذ الأبعاد المكانية بنظر الاعتبار .
 قد تفي هذه الساعه بالفرض لو كانت سرعة الضوء
 غير محدوده . لان الإشارة التي ترسلها إلى الساعه
 القياسيه لتوقيت ساعة في مكان ما ، تبستغرق
 وقتا قبل وصولها وهذا يؤدي إلى اختلاف
 التوقيت بين الساعتين .

لقد اعاد النظرية النسبيه لانيشتاين النظر
 في مفهومي الفضاء والزمان ، واللذين سوف نجدهما
 غير مستقلين ولماطلقين .

١ - ٢ الفضاء ذو الأبعاد الثلاثة للهندسه الإقليديه:

لكي نعين موضع جسم في الفضاء ، يجب ان
 نختار محاور معينة ، وقد استخدمت المحاور
 الديكارتيه في الفيزياء الكلاسيكيه وهي عبارة عن
 ثلاثة مستقيمت (أو محاور) متعامدة . ويعين
 موضع أي جسم مثل P في هذه المحاور بثلاثة أعداد
 أو إحداثيات مثل (x, y, z) . وعلى سبيل
 المثال ، لنفرض ان النقطة A تمثل مصباحا كهربائيا
 معلقا في سقف غرفه ، فإذا كان خط تقاطع جداري
 الغرفه المتعامدين يكون مع خطي تقاطعها مع
 أرضيتها ثلاثة محاور متعامدة ، فستكون محاور
 ديكارتيه لتعين موضع المصباح كما هو مبين في
 الشكل (١ - ١) .



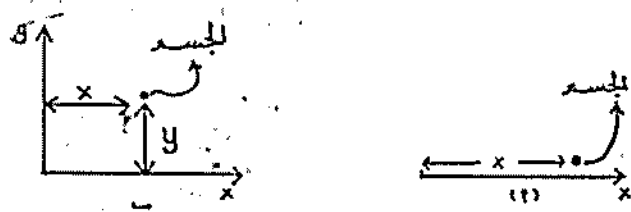
ولوصف موضع المصباح نحتاج إلى ثلاثة
 أعداد أو إحداثيات ، اثنان منهما يعينان البعد عن
 الجدارين المتعامدين مثلا (x, y) بينما يحدد
 الثالث البعد عن الأرض مثل z . إذن كل نقطة من
 نقاط الفضاء تعين بثلاثة أعداد ولذلك نقول ان
 فضاءنا متصل ذو ثلاثة أبعاد أو هو فضاء إقليدي .

للجسيم لا يتغير بمرور الزمن فان كلا منيما يكون في حالة سكون بالنسبة للآخر . فالسكون والبطركة اذن ، مفهومان نسيان ولا معنى للسكون التطلق بالمفهوم الفيزيائي . فالاشجار والبيوت تظهر وكأنها ساكنة بالنسبة للارض ولكنها في حالة حركة مستمرة بالنسبة للشمس مثلا ، وحينما يمر قطار بمحطه ، نقول بان القطار في حالة حركة بالنسبة للمحطه بينما ركاب القطار يقولون ان المحطه في حالة حركة بالنسبة للقطار وتسير بعكس اتجاهه .

ولوصف الحركة ، يجب ان نثبت محاور نسب اليها الحركة ونسميها بالمحاور المرجعيه ، ففي المختبر وعلى الورقه والسبورة مثلا نثبت محاورنا ونعتبرها مرجعا لدراستنا النظرية للحركة . ولدراسة حركة الاجسام التي لا تحتاج قياساتها الى دقة متناهية ، وهي كثيرة ، نثبت محاورنا على سطح الكرة الارضية ونعتبرها مرجعا لدراستنا .

لنفرض ان هناك مراقبان O ، O' في المحاور xyz والمحاور $x'y'z'$ على التوالي ، وكلا منيما يراقب حركة الجسم P كما في الشكل (١ - ٢) .

هناك حالات خاصة كثيرة لا نحتاج فيها الى استخدام ثلاثة محاور متعامده لتعيين موضع جسم ما ، فمثلا يكفي احدائى احد لتعيين موضع جسم على خط مستقيم ، لذلك يستخدم منحور واحد فقط من المحاور الديكارتيه كالمحور x . كما في الشكل (١ - ١٢) ويكفي احدائين لتعيين موضع جسم في مستوي لذلك يستخدم محوران متعامدان من المحاور الديكارتيه كما في الشكل (١ - ٢ ب) .



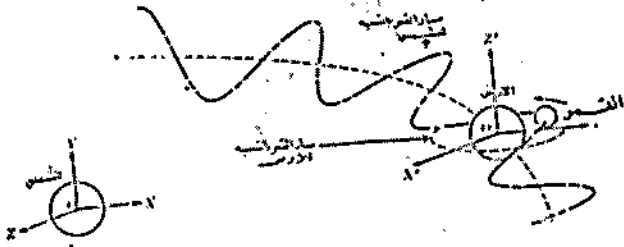
الشكل ١ - ٢

١ - ٢ الحركة والسكون :

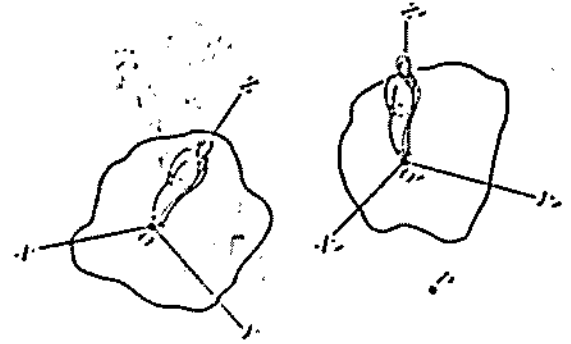
عندما يغير الجسم موضعه بمرور الزمن بالنسبة لجسم ثان يقال بأنه في حالة حركة بالنسبة للجسم الثاني . اما اذا كان الموضع النسبي

الشمس يرى القمر يصنع خطاً متموجاً ، كما في الشكل (١ - ٤) . على أية حال ، لو عرف المراقبان حركتهما النسبية لتكنا بسهولة التوفيق بين ملاحظتهما للقمر .

ويتم ذلك بأن تشب الحركة الى محاور



مرجميه يختارها المراقب ، لانها مفهوم نسبي ، ولما كان المراقبون المختلفون يستخدمون محاور مرجعيه مختلفه ، فمن المهم اذن ، معرفه العلاقه بين مشاهداتهم المختلفه . لناخذ الان مثالا آخر مشابهاً للسابق ، لنفرض ان هناك مراقباً يقيس سرعة كرة بليارد على سطح باخرة تسير بسرعة منتظمة بالنسبه لمراقب قد ثبت محاوره المرجعيه على الشاطئ . المراقب الاول عادة يثبت محاوره على



فاذا كان المراقبان O, O' في حالة سكون بالنسبه لبعضهما البعض ، فإنهما سيلحظان نفس الحركه للجسم P اما اذا كان المراقب O' في حالة حركه فملاحظاتهم لحركه P ستكون مختلفه .

وعلى سبيل المثال ، لنفرض ان هناك مراقبان احدهما على الشمس والاخر على الارض ، وكل منهما يدرس حركه القمر . فالمراقب الذي يثبت محاوره - $o'x'y'z'$ على الارض يظهر له القمر ، يصنع مساراً دائرياً حول الارض بينما المراقب الذي يثبت محاوره - $oxyz$ على

سنة اللقائى فى اكر وس

تكون ساكنة بالنسبة لفضاء خال من المادة ، ولكنهم لم يفلحوا في هذا المضمار لعدم تواجد عناصر في الفضاء الخالي يمكن اتخاذها كنقاط مرجعية . خصوصاً بعد ان اهتمت فكرة الاثير ، والتي سيطرت على عقول العلماء سنين طويلة . حيث افترضوا وسطاً مادياً غامضاً يملأ الفضاء الخالي اطلقوا عليه اسم الاثير وعرفوا المحاور المطلقة بتلك المحاور التي تكون ساكنة بالنسبة له .

1 - قانون القصور الذاتي :

بدا علم الديناميك ، عندما بحث غاليليو السؤال التالي : كيف تؤثر القوى على حركة الاجسام المادية ؟ او بعبارة ايسر : ماذا نقول عن حركة جسم ، لم تملك عليه قوى ؟ ووضع مبداه المعروف بالتوازن الستاتيكي وهو « اذا كان جسم في حالة سكون ، فمحصلة القوى المسلطة عليه تساوي صفراً فالجسم يجب ان يبقى ساكناً .
لقلنا : اذا كانت محصلة القوى المسلطة على جسم تساوي صفراً فالجسم يجب ان يبقى ساكناً .
اذن ، لكي تدوم حركة الجسم لابد من استمرار محصلة القوى المسلطة عليه .

لقد عمم نيوتن هذا المفهوم بقانونه الاول وقال « كل جسم يستمر في حالة السكون ان كان ساكناً

سطح الباخرة ويجري قياساته بالنسبة لها . فاذا قام المراقب الوجود على الشاطئ بنفس القياسات على كرة البليارد لحصل على نتيجة مختلفة .

لانه يتمكن من معرفة سرعة الباخرة ، ففي هذه الحالة يقيس سرعة الباخرة وسرعة الكرة ، بينما المراقب الذي على سطح الباخرة لا يتمكن من قياس سرعة الباخرة ، لانه ومحاوره المرجعيه يسيران معها . ولو ثبت مراقب ثالث محاوره المرجعيه في مركز الكرة الارضية واعتبرها ساكنه وقام بنفس القياسات لحصل على نتيجة تختلف عن الاول والثاني لانه ادخل دوران الارض حول نفسها ، وهكذا بالنسبة لمراقب رابع يثبت محاوره في الشمس ، لانه سيدخل حركة الارض حول الشمس في قياساته .

عادة ، يثبت الفلكيون محاورهم المرجعية في نجم بعيد جداً ويعتبرونه ساكناً وينسبون اليه حركة الاجرام السماويه . وفي الفيزياء اللدربة تحسب حركة الالكترونات بالنسبة للنواة . والفيزيائي التجريبي يختار المحاور التي يجري فيها قياساته ويحللها وفقاً لها وهكذا .

لقد بحث الفيزيائيون والفلاسفة لقرون عديدة امكانية تعريف محاور مطلقة ، اي محاور

المتبادل بين الأرض والشمس وبينهما وبين الأجرام السماوية الأخرى . ولكن هذه تعمل في أكثر الحالات دون خطأ يذكر .

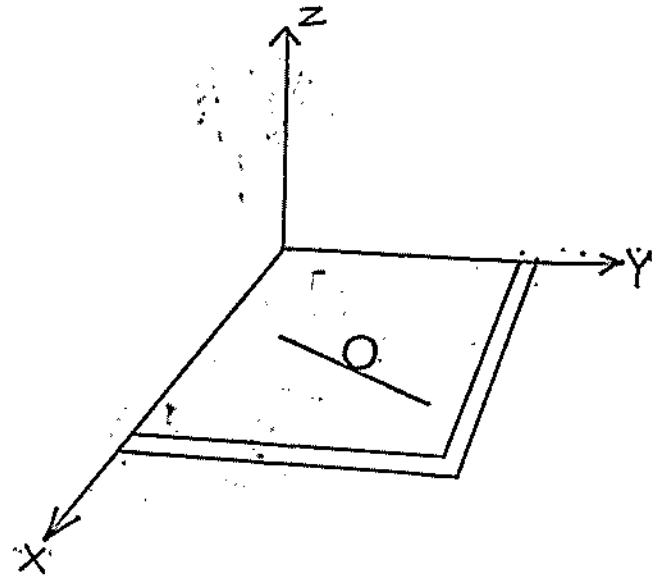
فمثلاً ، عند وضع كرة بليارد على سطح أفقي أملس كما في الشكل (١ - ٥) فإنها ستبقى في حالة السكون أن كانت ساكنة بالنسبة لمحاور مثبتة في المختبر وعلى سطح الكرة الأرضية ، مالم تؤثر عليها قوة خارجية . وعند إهمال تأثير الأجرام السماوية الأخرى ودوران الأرض يمكن اعتبار الكرة حرة ، على فرض أن السطح المستوي الذي تستقر عليه سيعادل التأثير المتبادل بينها وبين الأرض .

وعند ضرب الكرة ، تكتسب سرعه في تلك اللحظة بسبب التأثير المتبادل بينها وبين المضرب . بعدئذ تتحرك على خط مستقيم بالسرعه التي اكتسبتها فإذا كانت الكرة صلبة وتامة التكور فإننا قد نفترض بأنها سوف تتحرك دون توقف . ولكن هذا غير ممكن من الناحية العملية ، لأن الكرة ستبطيء بالتدريج وتتوقف عن الحركة بسبب التأثير المتبادل بينها وبين السطح والذي يسمى بالاحتكاك . والتجربة الأتفة الذكر إحدى التجارب المهمة التي تدعم قانون القصور الذاتي .

والحركة على خط مستقيم وبإنطلاق ثابت إذا كان متحركاً ، مالم تؤثر عليه قوة خارجية فتغير حالته الحركية . ولما كانت حركة أي جسم يجب أن تنسب إلى محاور مرجعية معينة ، فقانون القصور الذاتي ، إذن ، هو ليس فقط نص قطعي حول تصرف اجسام معينة ، وإنما يذهب أبعد من ذلك . بالحقيقة يمكن وضع نصه على النمو التالي « توجد محاور مرجعية معينة ، حركة أي جسم - لا تؤثر عليه قوى خارجية - بالنسبة لها ، هي حركة بخط مستقيم وبسرعة ثابتة » .

المحاور المرجعية التي يصح فيها قانون القصور الذاتي ، تسمى بالمحاور القصورية والمراقب فيها يسمى بالمراقب القصورى . أن اعتبار محاور مرجعية معينة كمحاور قصورية يعتمد ذلك على المشاهدة والتجربة . معظم المشاهدات التي تجري داخل المختبرات تعتبر المحاور المثبتة في المختبر وعلى سطح الأرض محاور قصورية ، وعلى أية حال ، استخدم غاليليو نفسه محاور من هذا النوع عندما وضع مبدأ القصور الذاتي . ولو أن الأرض لاتصلح تماماً لتثبيت المحاور القصورية عليها ، لأن الأرض تدور حول الشمس والدوران ينتج عنه كما هو معروف تعجيل بسبب اتجاه سرعة الدوران بالإضافة إلى التأثير

موجودة فاذا لا يوجد انحراف - فهذا يعني عدم وجود قوة والعكس بالعكس . ومن المسلم به الآن بخو عدم امكانية « برهنة » قانون التصور الذاتي بالطرق التجريبية المعروفة . ولما كان تعريف الجسم الحر « هو الجسم الذي لا يوجد بينه وبين اي جسم آخر تأثير متبادل » ، اذن ، فهو اما ان يكون معزولا تماماً ، او ان يكون الجسم الوحيد في الكون . وفي هذه الحالة لا يمكن مشاهدته لان ذلك يحدث تأثيراً متبادلاً بينه وبين المراقب الذي يشاهده . اذ ان تعريف الخط المستقيم ليس بديهياً بالفيزيائي وفي الوقت ذاته فهو ليس مبهماً بالرياضي . ولا يمكن تعميم قانون التصور الذاتي لانه جاء من الخبرة . فنحن نعمم اي قانون يجب ان تثبت صحته تجريبياً لجميع الحالات دون استثناء . وعلى اية حال ، لقد فر هذا القانون جميع الحركات التي يمكن مشاهدتها وان اعتقادنا بصحته تنمو باستمرار مع عدد الظواهر التي يستخدم دائماً في تفسيرها بنجاح .



الشكل ١ - ٥

لقد جلب ادنكن انتباه العلماء حول نقطة مهمة واساسيه في الميكانيك الكلاسيكي عندما صاغ قانون التصور الذاتي بشكل آخر وهو « ان اي انحراف عن مسار الخط المستقيم يعني ان القوى

١ - ٥ الكتلة التصورية والزخم الخطي :

عند تليط قوة وباتجاه معين على اي جسم؛ مثل كرة ساكنة على سطح افقي راسي فإنها ستقوم في البداية بتغيير حالتها الحركية ، ثم تتحرك ، ولنغرض بسرعة منتظمة . ولو سلطت نفس القوة وبنفس الاتجاه على كرة اصغر من الاولى لاكتسبت الاخيرة سرعة اكبر من سرعة الاولى . وعند اعادة نفس التجربة على كرات كتلتها مختلفة نستنتج ان سرعة اي جسم لقوة ثابتة تتوقف على كتلته . فكلما كبرت كتلة الجسم قلت سرعته لنفس القوة المطلقة . وعلى هذا الاساس يمكننا التوصل الى ايجاد قياس عياري ، ولو نظرياً ، بواسطته نستطيع تعيين كتلة اي جسم . ان الكتلة التي نعنيها بهذه الطريقة تسمى بالكتلة التصورية وتعرف بخاصية مقاومة الجسم لتغيير حالته الحركية .

في حياتنا اليومية يستخدم الميزان ذو الكفتين لتعيين كتل الاجسام وذلك بمقارنة كتلة جسم معين بكتلة عيارية . فمثلاً عند تعادل كرة في احدى كفتي ميزان مع كيلوغرام في الكفة الاخرى ، فهذا يعني ان كتلة الكرة تساوي كيلوغراماً واحداً ، والكتلة المقية بهذه الطريقة والتي تعتمد على

تواجد قوة جذب الارض على الاجسام الدنيوية تسمى بالكتلة التثاقليه . هل هناك فرق بين الكتلة التصورية والكتلة التثاقليه ؟

في تجربة تدحرج الكرة على السطح تبقى قوة جذب الارض ثابتة وتأثيرها على الكرة ينحصر فقط في المحافظة على بقائها على السطح ولا تدخل ابداً في تعيين كتلتها . بينما في حالة استخدام الميزان ذي الكفتين اعتمد في اساس عمله على قوة جذب الارض . وهذا يعني لا توجد هناك علاقة بين الطريقتين لتعيين الكتلة لأن الطريقتين الاولى لاعلاقته لها بقوة جذب الارض بينما الثانية تعتمد على هذه القوة .

والغريب ، هو عند استخدام الطريقتين لتعيين كتلة اي جسم نحصل على نفس النتيجة . اي ان الكتلة التصورية تساوي الكتلة التثاقليه والآن نسأل : هل تساوي هاتين الكتلتين جاء بمجرد الصدفة ام ان هناك مغزى عميق لانعرفه ؟ يجيب الميكانيك الكلاسيكي بان تساوي هاتين الكتلتين جاء بمجرد الصدفة ولا يوجد اي مغزى له .

لكن آنشتين يقول في نسبيته العامة ان تساوي هاتين الكتلتين شيء اساسي له مغزاه

ومعناه في فهم اعمق للموضوع . كما سنرى ذلك في الفصل المخصص لبحث هذا الموضوع .

ننتقل الان الى احد المفاهيم الهسه جداً في الفيزياء وهو الزخم الخطي وسوف نرمزله بالحرف P ليدل عليه ، قلنا انه مهم ، وسبب ذلك هو انه يربط بين عنصرين يصفان الحالة الحركية للجسم ، هما الكتلة والسرعة ، ويعرف الزخم الخطي بحاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته . اي ان :

$$P = m v$$

حيث m تمثل كتلة الجسم و v سرعته .

كما ان الزخم كميته دابنيتيكية تعطي للشاهد معلومات اكثر مما تعطيها السرعة وحدها ، كما نثبت ذلك من ملاحظتنا اليومية . فمثلا ، سهولة ايقاف حركة عربة غير محملة او زيادة سرعتها فيما لو كانت محملة ، حتى لو كان للعربة نفس السرعة في الحالتين ، لان زخم العربة المحملة اكبر من غير المحملة لكبر كتلتها في الحالة الاولى . والان ، يمكننا صياغة قانون القصور الذاتي وفق تعريف الزخم الخطي على النحو التالي . « يتحرك الجسم الحر دائماً بزخم ثابت » .

عندما يرى مراقب قصوري ، جسماً تتغير سرعته او زخمه ، فإن هذا يعني ان الجسم يتحرك

بتعجيل ، وبعبارة اخرى ، انه غير حر بسبب التأثير المتبادل بينه وبين جسم آخر .

لتفرض الحالة التالية التالية : بدلا من مشاهدة جسم معزول واحد كما افترض قانون القصور الذاتي ، لنشاهد جسمن بينهما تأثير متبادل ، وهذا يعني ان كل منهما ستتغير سرعته مع الزمن ووفقاً لتجارنا نجد دائماً ان الزخم الكلي لمنظومة مكونة من جسمن معزولين بينهما تأثير متبادل فقط ، يبقى ثابتاً . هذه هي احدي الحقائق الهسه في الفيزياء وتسمى بقانون حفظ الزخم . كذلك تغير زخم احدهما في فترة زمنية معينة يساوي ويعاكس تغير زخم الاخر ويعاكسه في الاتجاه في نفس الفترة الزمنية . اي ان

$$\Delta P = - \Delta P' \dots\dots\dots (1-1)$$

حيث ΔP تمثل زخم احد الجسمين و $\Delta P'$ تغير زخم الجسم الآخر .

(١-٥) مفهوم القوة - قانون نيوتن الثاني والثالث :

لنعود مرة ثانية الى منظومتنا المتكونة من جسمن معزولين بينهما تأثير متبادل فقط . حيث رأينا في البند السابق ان تغير زخم احدهما في فترة زمنية معينة يساوي ويعاكس تغير زخم الاخر .

فعمدئذ الزخم P يكون ثابتا ونحصل على :

$$F = \frac{dP}{dt} = 0$$

وهذا يعني انه لا توجد قوة تؤثر على الجسم .

يمثل المعادله (١-٤) قانون نيوتن الثاني للحركة . ويمكننا القول بانها تعريف اكثر من ان يكون قانونا لانه نتيجة مباشرة لقاعدة حفظ الزخم .

عند استخدام مفهوم القوة ، يمكننا كتابة المعادله (٢-١) على النحو التالي :

$$F = - F' \dots\dots\dots (1-5)$$

حيث $F' = \frac{dP'}{dt}$ هي القوة التي يؤثر بها الجسم

الثاني على الاول و $F = \frac{dP}{dt}$ هي القوة التي

يؤثر بها الجسم الاول على الثاني . عندئذ نستنتج : عند تواجد تأثير متبادل بين جسمين ، فالقوة المؤثرة على احدهما تساوي وتعاكس القوة المؤثرة على الآخر .

هذا هو قانون نيوتن الثالث للحركة ، الذي يسمى في احيان كثيرة بقانون الفعل ورد الفعل .

ولو رمزنا للفترة الزمنية التي يحدث فيها هذا التغيير بالرمز Δt وقسمنا طرفي المعادلة (١-١) على هذه الكمية لحصلنا على :

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = - \frac{\Delta P'}{\Delta t} \dots\dots\dots (1-2)$$

وعندما تقترب Δt من الصفر تتحول المعادله (٢-١) الى تغير آني ، أي ان :

$$\frac{dP}{dt} = - \frac{dP'}{dt} \dots\dots\dots (1-3)$$

سوف نشير الى معدل تغير زخم جسم ما باسم « قوة » اي ان القوة التي تؤثر على جسم هي :

$$F = \frac{dP}{dt} \dots\dots\dots (1-4)$$

قد تظن كلمة « تؤثر » القاري ، لاننا نفترض تسليط قوة على جسم . القوة هي مفهوم رياضي ، ومن تعريفه يساوي معدل تغير زخم جسم معين ، الناتج عن التأثير المتبادل لجسم على اجسام اخرى . فمن الناحية الفيزيائية اذن ، يمكن اعتبار القوة كتعبير عن التأثير المتبادل . اذا كان الجسم حرا .

حيث a يمثل تغير السرعة في وحدة الزمن
أو التمجيل . والملاقيه (٦ - ١) تعني ان القوة
تساوي حاصل ضرب الكتله في التمجيل ، اذا كانت
الكتله ثابتة .

في هذه الحاله يكون للقوة نفس اتجاه التمجيل
ومن الملاقيه (٦ - ١) نرى ، عندما تكون القوة

ثابتة ، فالتمجيل $a = \frac{F}{m}$ يكون ثابت

ايضاً والحركه تصبح منتظمه التمجيل . وهذا ما
يحدث لجميع الاجسام التي تسقط بالقرب من
سطح الكرة الارضية . حيث تسقط جميع الاجسام
نحو الارض بنفس التمجيل . ولذلك تسمى قوة
جذب الارض بالوزن اي ان :

$$w = mg$$

(٦ - ١) بحث تحليلي لمفهوم القوة .

ذكرنا ان القوة مفهوم رياضي ملائم لوصف
معدل تغيير زخم جسم ينشأ من التاثير المتبادل
بينه وبين اجسام اخرى . ولكن في حياتنا اليومية
نلاحظ ان مفهوم القوة يختلف تماماً عن هذا المفهوم ،
نحن نشعر بالقوه كحقيقه واقعه وبالتاثير المتبادل
بين الجسمين ، فمثلا عندما نضرب كرة المشددة
بالمشرب وندخل السمار في الجدار او قطعة خشبية

في مسائل عديدة ، يعبر عن F و Fv كدوال
للزاحه بين الجسمين وقد تكون دوال لسرعتيهما
النسيه . وعندما تكون كتله احد الجسمين كبيره
جداً كالجسم الذي تؤثر عليه القوه F مقارنة بكتله
الجسم الاخر ، فعمدئذ نفرض ان الجسم الاول
يبقى في حاله سكون في محاور قصوره معينه .
ونتكلم عن حركه الجسم الاخر الذي تؤثر عليه
القوه F . وفي هذه الحايثه يمكن اعتبار القوه F
دالة للموضع وللسرعه والنسيه فقط . وفي هذه
الحالات تصبح الملاقيه

$$F = \frac{dP}{dt}$$

مفيدة من الناحيه العمليه .
إن خير مثال لهذه الحاله هي الاجسام
الدينيويه التي تتحرك تحت تاثير جاذبيه الارض ،
والالكترود الذي يتحرك بالنسبه للنواة في الدرء .

ولا كان $p = mv$ فعمدئذ

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{d}{dt} (mv)$$

فاذا اعتبرنا m ثابتة نحصل على :

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma \dots (1-6)$$

بالطرقه ، والملاكم عندما يوجه ضربه الى وجهه خصمه ، او الوزن الذي يسحب قباناً محظوناً . اننا نلاحظ ان هناك صعوبة كبيرة ، كما تصور ، لتوفيق بين هذه الصوره للقوة والقوة بين الارض والشمس ، مع العلم بان في كلا الحالتين هناك تأثير متبادل بين جسمين تنشأ عنه قوة . قد يعترض القاريء ويقول لكن هناك مسافة شاسعه بين الارض والشمس بينما المشرق يلامس كره المنضدة . هذه بالضبط ، الحالة التي يظهر فيها مفهوم القوة مخالفاً للواقع ولكننا سوف نرى بانها لا يوجد هناك خلاف وان مفهوم القوة هو نفسه في كلا الحالتين .

نعلم من دراستنا الاولى ، ان المادة ، مهما كانت صلدة ، تفصل بين ذراتها مسافات شاسعه ، وهذه الذرات باقيه في موقعها نتيجة التأثير المتبادل فيما بينها بنفس الطريقة التي تبقى فيها اجرام مجموعتنا الشمسيه في مواقعها نتيجة التأثيرات المتبادله بينها وبين الشمس . في الحقيقه ، المشرق لا يلامس الكره بالمفهوم المجبري ولو ان جزيئاته تقترب كثيراً من جزيئات الكره ، محدثاً اضطراباً وقتياً في ترتيب جزيئات الجسمين نتيجة التأثير المتبادل بينهما . اذن ، جميع القوى في الطبيعه تنتج بسبب تأثير متبادل بين اجسام تفصل بينها

مسافات معينه . في بعض الحالات تظهر هذه المسافات صغيرة بالمعيار البشري ولذلك نمثل تقريباً ونصورها تساوي صفراً وفي حالات اخرى ترى المسافات كبيرة جداً بمعيارنا فتأخذها بنظر الاعتبار . ولكن هذا غير صحيح من الناحيه الفيزيائية لاننا لا نفرق بين نوعي القوتين . لذلك يجب علينا تطبيق المفاهيم المرئيه والمحسوسه « كالتلامس » بحدود في العمليات التي مقاييسها ذرية .
(٧-١) نسبية نيوتن وغاليليو :

لتفرض ان هناك مراقبان الاول O في المحاور oxyz الثاني O' في المحاور o'x'y'z ويتحركان بالنسبه لبعضهما البعض حركة انتقالية منتظمه سرعتها v' . والان ، نود ان نقارن بين مشاهدتهما ، عندما يراقبان جسماً متحركاً مثل P ، فمثلاً ، لتفرض ان المراقب O واقف في محطة القطار والمراقب O' في القطار الذي يمر على خط مستقيم وكلاهما يراقبان حركة طائر مطلق في الجوه . وللسهولة لنختار المحور - x' والمحور - x على طول خط الحركة النسبية وان المحورين yz يوازيان المحورين - y'z' . كما في الشكل (٦-١)

العلاقة الاخيره تفترض ان الزمن مطلق ، اي ان المراقبين يستخدمان نفس الزمن وقياساته لا يعتمد على حركة المراقب . والعلاقات (1 - 7) تسمى بتحويلات غاليليو .

اذا كانت المحاور - oxyz قصورية فالمحاور - o'x'y'z' هي قصورية ايضاً . لان . اذا كانت سرعة جسم في المحاور - oxyz ثابتة هي u فسرعته بالنسبة للمحاور o'x'y'z' هي :

$$u' = u - v$$

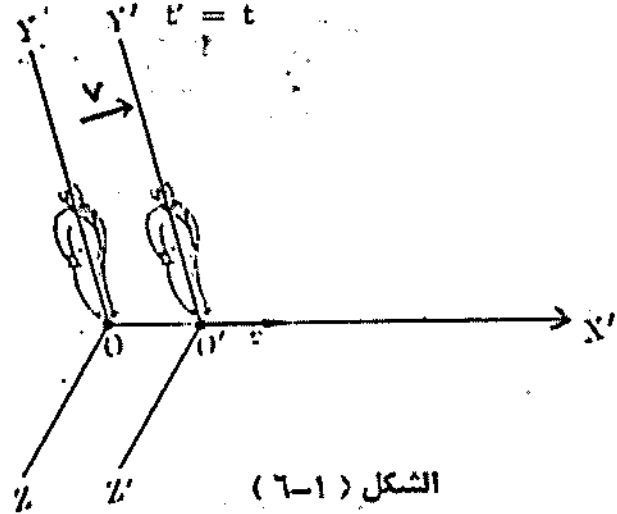
ولما كانت u و v ثابتين لذلك تكون u' ثابتة ايضاً وهذا يعني ان الجسم يخضع لقانون القصور الذاتي في المحاور - o'x'y'z' ايضاً اي انها قصورية .

اكدنا في شرحنا السابق على اهمية مشاهدة الحركة بالنسبة لمحاور قصورية مرجعية لتفسير الاسس التجريبيه لقوانين نيوتن . وكيف يتفسر المظهر الحقيقي لحركة معينة عند مشاهدتها في محاور مختلفه . مهمتنا الآن ، هي ان نثبت ان الحركة لانهتمد على محاور معينه والتي تعني ان قوانين نيوتن تتضمن مفهوم النسبيه .

اذا كانت O و O' متطابقان في الزمن t = 0 وان احداثيات P في هذه الخطه هي (x, y, z) ، فبعد مرور زمن t تكون المحاور o'x'y'z' قد قطعت مسافه vt . وعندئذ تكون احداثيات P بالنسبة للمحاور o'x'y'z' بدلالة احداثياتها

في المحاور - oxyz هي

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \quad (1-7)$$



الشكل (1-7)

بسرعة انتقالية منتظمة بالنسبة لبعضهم البعض .
 وهذا يعني ان التعجيل لا يعتمد على حركة المراقب ،
 بل يبقى ثابتاً عندما تنتقل من منظومة محاور الى
 اخرى ، اذا كانت السرعة الانتقالية النسبية بينهما
 منتظمة .

لنفرض ان هناك جسمن كتلة الاول m_1
 وكتلة الثاني m_2 . وقد قاس المراقب التصوري
 سرعتيهما فكانت u_{x1} و u_{x2} على التوالي . فان
 لم تكن هناك قوى خارجيه تؤثر على الجسمين
 فقاعدة حفظ الزخم تنص على ان :

$$m_1 u_{x1} + m_2 u_{x2} = \text{ثابت} \quad (1-10)$$

فاذا كان المراقب التصوري O' الذي يسير بسرعة
 ثابتة v بالنسبة الى O ، يقيس سرعتي نفس
 الجسمين وفي نفس اللحظة فانه سيحصل على :

$$u'_{x1} = u_{x1} - v \quad \text{و} \quad u'_{x2} = u_{x2} - v \quad \dots \quad (1-11)$$

وعند التعويض في المعادله (1-10) نحصل على :

$$m_1 (u'_{x1} + v) + m_2 (u'_{x2} + v) = \text{ثابت}$$

$$m_1 u'_{x1} + m_2 u'_{x2} =$$

$$(1-12) \quad \dots \quad \text{ثابت} = (m_1 + m_2) v - \text{ثابت}$$

وهذا يعني ان المعادله (1-12) مماثله تماماً الى
 المعادله (1-10) . اذن كلا المراقبين يحققان قاعدة
 حفظ الزخم .

عند تفاضل العلاقات (1-1) بالنسبة للزمن
 نحصل على

$$\begin{aligned} u'_x &= u_x - v \\ u'_y &= u_y \\ u'_z &= u_z \end{aligned} \quad (1-8)$$

حيث $u_x = \frac{dx}{dt}$ و $u'_x = \frac{dx'}{dt}$ وهلم

جوا . العلاقات (1-1) هي تحويلات غاليليو لمقارنة
 سرعة الجسم P كما يقيسها كل من المراقبين
 O و O' عندما يتحركان بسرعة انتقالية نسبية
 مقدارها u .

عند تفاضل العلاقات (1-1) مرة اخرى
 بالنسبة لنفس الزمن t نحصل على :

$$a' = a \quad (1-9)$$

حيث $\frac{du_x}{dt} = a$ و $\frac{du'_x}{dt} = a'$ اما

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

لان v ثابتة . العلاقة (1-9) تعني ان كلا المراقبين
 يقيسان نفس التعجيل للجسم P . اي ان تعجيل
 الجسم لا يتغير لجميع المراقبين عندما يتحركون

الفصل الثاني نسبية انيشتين الخاصة

٢ - ١. مقدمه :

بعد ان وثق علماء الفيزياء ، في نهاية القرن التاسع عشر من طريقه فيزو لقياس سرعة الضوء البالغة 3×10^{10} متر/ثانية والتي سُمّرت لها بالحرف c . واحوا يجرون التجارب على انتشار الضوء في وسط غامض اسمه الاثير ، افترضوا وجوده لانتشار الموجات الضوئية . في ذلك الحين دارت مناقشات كثيرة حول الطريقه التي يؤثر فيها الاثير على سرعة الضوء ، عند قياسها على سطح الكرة الارضية . وكان الاعتقاد حينئذ ، ان ذبذبات الاثير تتصرف بالنسبة للضوء بنفس الكيفية التي يتذبذب فيها الهواء عندما تسير الموجات الضوئية خلاله . لو كان الاثير ساكناً فسرعة الضوء بالنسبة له يجب ان تساوي c . اما اذا كانت الارض

رابنا من العلاقة (١-١) ، ان .

$$a = a'$$

اي ان كلا المراقبين O و O' يقيسان نفس التعميل للجسم P . والان لو اثرت قوة على الجسم P فالمراقب O يقيسها على النحو التالي .

$$F = \frac{dp}{dt} = m \frac{du}{dt} = ma$$

كذلك المراقب O' يقيسها بنفس الطريقه ، اي ان

$$F' = \frac{dp'}{dt} = m \frac{du'}{dt} = ma'$$

وهذا يعني ان

$$F = F'$$

فالمراقبان O و O' يقيسان نفس القوة المؤثرة على P . ولما كانت بقية قوانين الدابنيك مشتقة من تعريف القوة وقانون حفظ الزخم لذلك المراقبان سيحصلان على نتائج متماثلة عند ملاحظاتهم لنفس الظاهرة .

اذن ، القوانين الدابنيكية التي تتحقق في محاور قصوربه معينه فإنها ستتحقق ايضاً باستخدام تحويلات غاليليو في جميع المحاور القصورية الاخرى ، التي تتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض . هذه هي نظريه النسبيه الكلاسيكية او نسبيه نيوتن وغاليليو .

جميع قوانين الطبيعة « وليس فقط قوانين
الدايناميك » يجب ان تبقى نفسها لجميع المراقبين
الثوريين الذين يتحركون بالنسبة لبعضهما
البعض بسرعة ثابتة .

هذه القاعدة الجديدة ، لها مضمون عظيم لانه ،
عند تقبلها ، يجب التعبير عن جميع قوانين الفيزياء
بحيث لا تتغير عندما تنتقل من مراقب قصوري الى
آخر ، حقيقه سبق ثبوتها لقوانين الدايناميك وذلك
باستخدام تحويلات غاليلو كما بينا في الفصل
السابق .

ومن اهم القوانين غير الدايناميكه التي
استخدمت هذه النظرية لتفسير متناقضاتها هي
معادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسيه . والتي
تتغير تماما عند تطبيق تحويلات غاليلو عليها . اي
ان المراقبين المختلفين يحصلون على نتائج مختلفه
ومتباينه تماما . ولما كانت هذه المعادلات تحتوي
على سرعة الضوء c ، فهذا يعني ان عدم تغيرها
عند الانتقال من محاور قصوريه الى اخرى هو ان

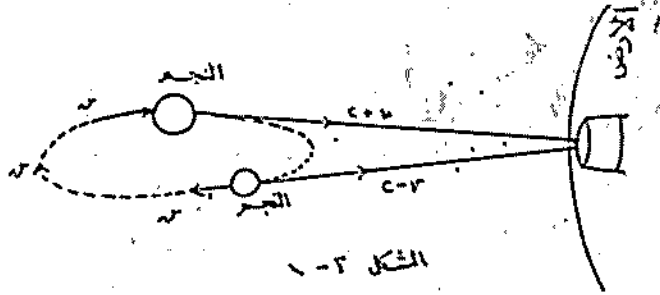
تتحرك خلال الاثير بسرعة v فعندئذ سرعة الضوء
بالنسبه للارض يجب ان تعتمد على اتجاه انتشار
الضوء فهي $c - v$ اذا كان الضوء يسير بنفس
اتجاه حركة الارض و $c + v$ عندما يسير بعكس
اتجاه حركتها .

في عام ١٨٨١ بدأ عالمان في الفيزياء هما مكلسن
ومورلي سلكة من التجارب لقياس سرعة انضوء
في اتجاهات مختلفه بالنسبه لسطح الكرة الارضية
بغية اكتشاف الريح الاثيريه . وكانت دهشتهم
عظيمه عندما وجدوا ان سرعة الضوء تبقى ثابته في
جميع الاتجاهات . خلافاً لما كان معتقداً وفق
تحويلات غاليلو وكما رأينا في الفصل السابق .
بعد النتائج السلبيه التي تمخضت عنها تجربتهم
هذه نفى آينشتين وجود وسط اسمه الاثير ووجود
الحركة « المطلقه » فيه كلياً ، ووضع فرضيتين
كوتنا بنية نظريته النسبيه الخاصه .

٢ - ٢ فرضيتا آينشتين .

في عام ١٩٠٥ اتخذ العالم الالماني اليرت
آينشتين (١٨٧٩ - ١٩٥٥) خطوة كبيرة عندما
وضع فرضيتين اساسيتين في النسبيه وهما :

يقتررب منا . وينعكس هذا الفرق كلما دار النجم
نصف دورة . وهذا يعني ان منظر النجمين



الثانئين يجب ان يبدو مشوشا ولكننا لا نرى أي
تشويش في منظر هذه النجوم وهذا دليل قاطع
على صحة فرضيته لثبوت سرعة الضوء .
٣-٢ تحويلات لورنتز :

وفق فرضيتي آينشتين المذكورتين اعلاه
تصبح تحويلات غاليليو غير صحيحة وخصوصاً
بالنسبة للمعادله الاخيرده ، اي ان :

$$t = t'$$

سرعة الضوء يجب ان تبقى ثابتة ، ومن هنا جاءت
فرضية آينشتين الثانيه وهي :

ان سرعة الضوء كميته ثابتة بالنسبه لجميع
المراقبين بغض النظر عن حالتهم الحركيه من مصدر
الضوء ، اي انها كميته غير نسبيه وانما مطلقه او
ثابته لا تعتمد علي حركة المراقب او المحساور
المرجعيه .

من الدلائل المهمه على ثبوت سرعة الضوء هو
مشاهده منظومه متكونة من نجمين يدوران حول
مركز مشترك في مدار واحد ويسميان بالنجوم
الثانئيه . ففي كل دورة يبتعد احدهما عندما يـ
نصف دورة ويقتررب منا في نصف الدورة الثانيه .
فاذا كانت سرعته المداريه هي v وسرعة الضوء
هي c فعندئذ سرعة الضوء الصادرة منه في ذهابه
هي $c - v$ وسرعته في اوابه هي $c + v$ كما هو مبين
في الشكل (١-٢) فالفرق اذن ، بين ذهابه واوابه
هو $2v$. ولو فرضنا ان النجم يبعد عنا مائة
سنة ضوئيه فالفرق $2v$ قد يكون في احيان كثيره
بحدود الاسبوع مابين وهو يبتعد ، وبينه وهو

وقد نفرض ان كلا المراقبين يبدءان في الزمن :

$$t = t' = 0$$

عندما يكونان متطابقين . اذا انبعث وميض ضوئي في الزمن $t = 0$ من موضعهما المشترك . فبعد مرور زمن t سيلاحظ المراقب O ان الضوء قد وصل النقطة P ويقول ان $r = ct$ حيث c هو سرعة الضوء . ولما كان :

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

والتي يمكن كتابتها الآن على النحو التالي :

$$c^2 t^2 = x^2 + y^2 + z^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

وبالتماثل سيلاحظ المراقب O' ان الضوء قد وصل الى نفس النقطة P في الزمن t' لكن بنفس السرعة c . اذن

$$r' = ct'$$

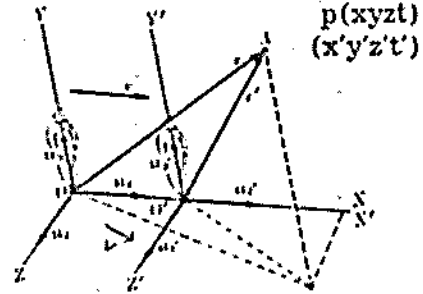
او

$$c^2 t'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

مهمتنا الآن هي ايجاد تحويل ينسب معادله (٢-٢) الى معادله (٢-١) او بالعكس . نرى من

والتي تعني ان المراقبين يستخدمان نفس الزمن ، او ان قياسات الزمن لا تعتمد على حركة المراقب . ولما كانت السرعة عبارة عن حاصل قسمة المسافة على الزمن ، فيمكننا تغيير الزمن والمسافة بحيث تبقى النسبة بينهما ثابتة لمراقبين في حالة حركة نسبية . وبعبارة اخرى . ليس من الضروري ان تكون الفترة الزمنية بين حدثين ثابتة لمراقبين في حالة حركة نسبية . وهذا يخالف ما جاء في تحويلات غاليليو .

لنفرض ان هناك مراقبين O و O' يتحركان بسرعة نسبية v بحيث محوريهما x و x' يتجهان باتجاه حركتهما النسبية وكذلك المحورين yz و $y'z'$ يكونان متوازيين على التوالي كما في الشكل (٢-٢) .

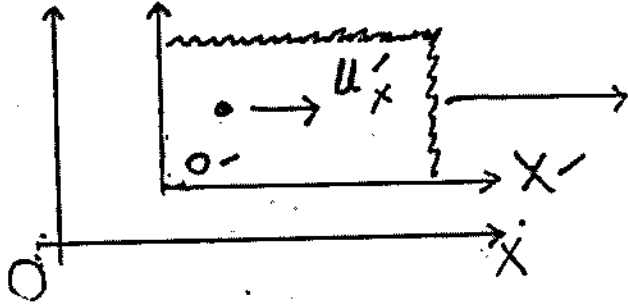


الشكل ٢ - ٢

$$1 - \frac{vux}{c^2}$$

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x v}{c^2}} \quad (2-4)$$

لنفرض ان هناك مصدراً ضوئياً ساكناً في المحاور - O ، يبعث وميضاً ضوئياً سرعته u'_x كما يقيسها المراقب O' . وان هذه المحاور تتحرك بسرعة منتظمة v النسبة للمحاور المرجعية O' كما هو مبين في الشكل (٢-٢)



الشكل (٢ - ٢)

التناظر ان $z' = z$ ، $y' = y$ وكذلك بالنسبة للمراقب O تكون $OO' = vt$ ، اي ان $x = vt$ عندما $x' = 0$ اي في النقطة O' . عند اعتبار هذه الشروط الاولى واجراء بعض الحسابات الجبرية البسيطة يمكننا التوصل الى :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y \quad \dots \dots \dots (2-3)$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

وهذه العلاقات تسمى تحويلات لورنتز . وعند اخذ مشتقة العلاقة (٢-٢) بالنسبة الى الزمن ، وقسمة الاولى على الرابعة فنحصل على .

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$$

والسؤال الآن : ماهي السرعة التي يقيسها المراقب O لوميض الضوء ؟ وفق نظرية آينشتين ، ان كلا المراقبين O و O' يقيسان نفس السرعة اي ان :

$$u_x = u'_x = c$$

بينما وفق تحويلات غاليليو يجب ان يكون :

$$u_x = u'_x + v \dots\dots\dots (2-5)$$

بالحقيقة ان القانون الاخير ثبت صحته لجميع الاجسام اللذيويه الكبره والتي تتحرك بسرعه واطنه جداً مقارنة بسرعه الضوء . وقد تعتبر تقريباً للمعادلة (٢-٤) التي المتخفا لورنتز وآينشتين . اي ان : عندما تقترب الكمية $\frac{u'_x v}{c^2}$

من الصفر تنحول (٢-٤) الى (٥-٢) .

والآن لنعوضنا $u'_x = c$ في المعادله (٢-٤) لحصلنا على

$$u_x = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c$$

وهذا يعني ان كلا المراقبين يقيسان نفس السرعه c . يظهر مما تقدم ، لكي نستوفي مبدأ النسبية الجديد علينا استخدام تحويلات لورنتز بدلا من تحويلات غاليليو . وكذلك علينا صياغة مفهوم النسبيه على النحو التالي :

يجب ان ترتبط مشاهدات المراقبين عن طريق تحويلات لورنتز . وان تتحول جميع الكميات الفيزيائية من محاور قصوره الى اخرى بحيث تبقى القوانين الفيزيائية نفسها لجميع المراقبين القصوريين .

(٢-٤) نتائج تحويلات لورنتز :

هناك استنتاجات مدهشة عديدة يمكن استنباطها عند استخدام تحويلات لورنتز وهي :

اولا : تقلص الطول :

لتفرض ان هناك قضيباً مثبتاً في محاور المراقب O' وعلى طول المحور - x' . فاذا كانت احدائيا نهايتي القضيب هما x' و x'_0 . فعندئذ طول القضيب كما يقيسه المراقب O' هو :

$$L_0 = x' - x'_0$$

ووفق تحويلات لورنتز يرتبط الطولان بالعلاقة .

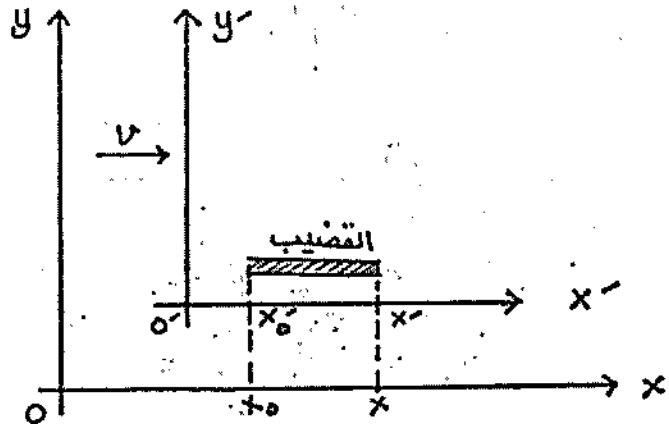
$$L = L_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (2-6)$$

على ان يجري المراقبان O و O' قياسيهما في نفس الوقت . وتعني المعادلة (2-6) ان المراقب O الذي يرى القضيب في حالة حركة ، يقيس طولاً اقصر من المراقب O' الذي يرى القضيب في حالة سكون . وبعبارة اخرى ، الاجسام التي في حالة حركة تظهر وكأنها اقصر من الساكنه .

ثانياً : تباطؤ الزمن :

تعرف الفترة الزمنية بالزمن الذي يقاسه مراقب بين حدثين . والحدث هو شيء ما يحدث في نقطة معينة في الفضاء وفي زمن معين . فمثلاً عندما تصل كرة البندول الى اعلى نقطة لها ، يقال بان هناك حدث . وعندما تعود الى نفس النقطة بعد مرور فترة زمنية معينة يقال بان هناك حدثاً ثانياً والزمن بين الحدثين يسمى بالفترة الزمنية . فهي اذن ، الزمن المستغرق لعمل شيء ما : البندول ليتذبذب ، الالكترون - ليدير حول

نستمر في افتراض تحرك المحاور O' بالنسبة للمحاور O بسرعة نسبية v كما في الشكل (2-٤)



الشكل (2-٤)

وعندما يقيس المراقب O نهايتي القضيب وفق محاوره سيلاحظ ان احداثياتهما هم x_0 و x وان طوله هو

$$L = x - x_0$$

بالنسبة له . بينما المراقب - O قاس الفترة الزمنية T لحدثين وقعا في نقطة في حالة حركة بالنسبة له ، اي انه رأى وقوع حدثين في موضعين مختلفين في الفضاء . ولما كان العامل

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

اكبر من واحد ، فهذا يعني ان الساعة التي تتحرك مع المراقب O' تظهر وكأنها تقصر في الزمن .
ثالثا : تقصر الكتلة مع السرعة :

عندما يقول المراقب O' ان كتلة جسم ما في محاوره هي m_0 فالمراقب - O يقول بأنها ليست كذلك وانما هي m وتربط تحويلات لورنتز بينهما بالعلاقة .

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots \dots \dots (2-8)$$

النواة ، الجسيم المشع - ليضمحل ، القلب - ليضرب وهكذا .

لتفرض ان هناك حدثين قد وقعا في نفس الموضع x' بالنسبة للمراقب O' الذي يتحرك سرعه منتظمة v بالنسبة للمراقب O . فعندما يقيس المراقب O' الفترة الزمنية T_0 بين زمنى الحدثين t'_0 و t' يحصل على
 $T_0 = t' - t'_0$

وعندما يقيس المراقب - O الفترة الزمنية بين نفس الحدثين يحصل على :
 $T = t - t_0$

وعند استخدام تحويلات لورنتز نجد ان القياسين يرتبطان بالعلامه

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots \dots \dots (2-7)$$

نلاحظ هنا ان المراقب O' قد قاس الفترة الزمنية T_0 لحدثين وقعا في نقطة تعتبر ساكنه

والآن ، طول راند السفينه الفضائيه عندما يقف
باتجاه الحركة هو

$$L = L_0 \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{L_0}{\zeta} = \frac{2}{2} = 1 \text{ meter}$$

وهذا يعني ان طوله اصبح متراً واحداً بدلا من
مترين . اما عرضه فيبقى ثابتا اي ٢. المتر لانه
عمودي على اتجاه السرعة . اما اذا نام الراند في
الصاروخ بحيث كان طوله عمودياً على اتجاه
الحركة وعرضه باتجاهها ، فعندئذ عرضه يصبح :

$$L = \frac{L_0}{\zeta} = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ meter}$$

اي يتقلص عرضه الى ١٥. متر اما طوله فيبقى
ثابتاً . اما كتلة الراند فتتغير في كلا الحالتين وفق
الملاقيه :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \zeta m_0$$

وهذا يعني ان كتلة الجسم تزداد مع السرعة
وتقترب قيمتها من اللانهاية عندما تقترب سرعتها
من سرعة الضوء .

مثال : لو تمكنا من صنع سفينه فضائيه ، تسير
بسرعة 2.6×10^8 متر/ثانيه . فكيف تتغير
ابعاد وكتلة رائدها : اذا كان طوله قبل اطلاقها
مترين وعرضه ٢. متر وكتلته ١٠٠ كغم ، وساعته
تقيس الزمن بدقه :

قبل كل شيء ، لنحسب العامل :

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

لا كانت

$$v = 2.6 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

$$v/c = 0.87$$

فعندئذ

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.75}} = 2$$

اذن

على النحو التالي :

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$= m_0 \left(1 + \frac{\frac{1}{2} v^2}{c^2} + \frac{\frac{3}{8} v^4}{c^4} + \dots \right)$$

وعند اخذ الحدين الاول والثاني واهمال الثالث وما بعده لصغرهما نحصل على

$$m = m_0 + \frac{\frac{1}{2} m_0 v^2}{c^2} \dots \dots \dots (2-9)$$

يمثل الحد الثاني الزيادة في الكتلة بسبب زيادة سرعة الجسم وهو عبارة عن طاقة حركيه مقسومه على مربع سرعة الضوء هذه تعني ، امكانية الحصول على الكتلة التي تكافئ هذه الطاقة بقسمة الاخير على c^2 . وفي الوقت ذاته ، يمكن الحصول على الطاقة التي تكافئ كتله معينه بضرب الاخير في c^2 . وعند ضرب العلاقة (٢-٩) في c^2 ، نحصل على .

$$mc^2 = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2$$

اي انها تصبح ٢٠٠ كغم بدلا من ١٠٠ كغم . اما ساعته فتبدأ بالشباطو وفق العلاقة :

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \zeta T_0 = 2 T_0$$

فاذا عاد الرائد بعد مرور ٤ سنة فانه سيلاحظ بان عمره قد ازداد بمقدار عشرين سنه بدلا من اربعين سنه لان :

$$T_0 = \frac{T}{2} = \frac{40}{2} = 20$$

وهذا يعني ، لوامكن صنع مثل هذه السفينه الفضائيه الخياليه ، وهذا محال ، لاستطاع الرائد السفر بين النجوم لزمان طويل وعند عودته يجد ان عمره قد ازداد ببعض السنوات فقط وذلك بسبب تقصير الزمن .

(٢-٥) تكافؤ الكتله والطاقة :

عند ترتيب العلاقه

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

والحد $m_0 c^2$ يمثل الطاقة المكافئة لجسم كتلته السكونية m_0 وبصوره عامه يمكننا كتابة الطاقة التي تكافئ كتلة m على النحو التالي .

$$E = mc^2 \quad (2-10)$$

وهذه علاقة آينشتين المشهورة والتي تسمى بعلاقة الطاقة - الكتلة .

فمثلاً غرام واحد من اية مادة يكافئ طاقه مقدارها 9×10^{10} جول او 9×10^{10} ارك .
واذا تحررت هذه الطاقة في ثانية واحدة فانها ستعطي 9×10^{10} واط . وهذا يعني ان كميته صغيره من الماده تحولت الى طاقه هائله . وهذا يوضح ضخامة الطاقة المنبعثه في الانفجار النووي حيث اعتمد اساس وضع القنبلة الذريه على هذه العلاقه .

مما تقدم نجد ضرورة تعديل قوانين حفظ الطاقة والكتله الكلاسيكيه . لاننا الان لانعتبر ان الكتله والطاقة شيئين منفصلين او مختلفين . وقد وضع قانون جديد لحفظ الطاقة - الكتله والذي ينص على ان الطاقة - الكتليه ان كانت على شكل مادة او

على شكل طاقه فهي محافظه . وبعبارة اخرى عندما تتحول طاقة من جسم الى آخر فكتله الاول تبقى وكتله الثاني تزداد .

(٢-٦) مفهوم التوافق او الآنيه :

لم يؤكد آينشتين على مراجعة مفاهيمنا حول الكتله والطول والزمن فقط وانما مراجعتها ايضاً حول فكرة التوافق المطلق لحدتين ، والتي كانت سائده قبل ظهور نظريته النسبيه الخاصه وابدى رايه بالمثال التالي :

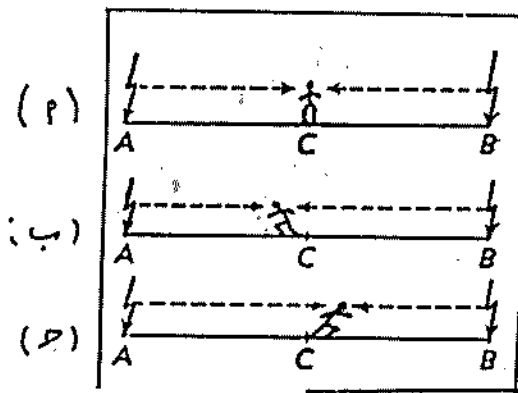
لنفرض ان هناك مراقباً كان واقفاً في محطة قطار في وقت حدوث صاعقه نتج عنها سقوط ضربتي برق في « وقت احد » في نقطتين A و B على رصيف المحطه والسؤال الان : هل الوميض الضوئي المنبعث من ضربة البرق في A يحدث في لحظه حدوث ضربة البرق في B مع الوميض المرافق لها ؟ ولنتبين الحقيقه علينا اتباع الطريقه القياسيه التاليه والتي اقترحها آينشتين .

لنتصور ان المراقب واقف في نقطه مثل C الواقعه منتصف المسافه AB وانه مجهز بعدد من

واحد . ولكن انيشتين يقول لا يمكن قبول هذه التجربة الا اذا كان الضوء ينتشر بين A و C بنفس السرعة التي ينتشر فيها من B الى C . وللتأكد من تساوي سرعة الضوء نحتاج الى ساعتين لتبيان ان الفترة الزمنية التي تستغرقها الموجة الضوئية المنتقلة من A الى C هي نفس الفترة الزمنية التي تستغرقها الموجة الضوئية المنتقلة من B الى C ولا يتم ذلك الا اذا كانت الساعتان متوافقتان وهذا يعني اننا بدأنا بتعريف التوافق وانتهينا بضرورة وجود ساعات متوافقة لتعريف التوافق :

ولنعبر الان ان سرعة الموجة الضوئية هي نفسها على طول المسارين AC و BC وانما تستغرق نفس الوقت كما في الشكل (١٥-٢) لذلك قد يظهر الحدثنان متوافقين . ولكن لو ان المراقب في C تحرك باتجاه A كما في الشكل (١٥-٢ ب) فانه سيستلم الوميض من A قبل B وعندئذ سيقول ان ضربة البرق قد حدثت في A قبل B واذا تحرك نحو B كما في الشكل (١٥-٢ ج) فانه

المرايا التي تمكنه من رؤية التفتين A و B في وقت واحد دون تحريك رأسه ، كما هو مبين في الشكل (١٥-٢) اذا لاحظ المراقب وميض البرق



شكل (١٥-٢)

المتبعين من A و B في نفس اللحظة بواسطة مراياها فهذا يعني ان الوميضين قد حدثا في وقت

سيقول بان الضربة قد حدثت في B قبل A .
وقد يتحرك المكان ABC باجمعه الى اليمين او
اليسار . فاذا تحرك الى اليسار استلم المراقب
الوميض من A قبل B واذا تحرك نحو اليمين
استلمه من B قبل A . اذن ، التواقت ليس
مطلقاً وعلينا ان نكون حذرين عند تعريفه .

عند تواجد مراقبين على مسافة معينة ، وكل
منهما يحمل ساعة وكانت الساعتان متواققتان فقد
يقرران ما اذا كانت هناك حادثتين متواققتين ام لا .
اذن ، قبل كل شيء علينا تعريف معنى تواقت
الساعات . لنفرض ان هناك ساعتين في موضعين
مثل A و B فاذا ارسل المراقب في A وميضاً
ضوئياً الى المراقب في B فالأخير قد يعكسه مره
ثانيه الى A ونقول عن الساعتين متواققتين عندما
يكون A و B في حالة سكون بالنسبه لبعضهما
البعض ، واذا بدأ B ساعته لاستلام وميض الضوء
واذا ضبط A ساعته بحيث تقرا صفراً في منتصف
الفترة الزمنيه بين ارسال واستلام وميض الضوء .
ولكن ، ولو ان A و B في حالة سكون بالنسبه

لبعضها البعض فكلاهما قد يتحركان على طول
الخط AB . وفي هذه الحالة قد يتحرك احد
المراقبين نحو مصدر الضوء فيستلم الوميض قبل
ان يستلمه الآخر الذي يعتمد عنه . وهذا يعني
بان لا يوجد هناك تواقت مطلق . ويعتمد تواقت
الحدثين على كيفية تعريف التواقت ، فاذا عرفنا
التواقت بالنسبه لمراقبين يتحركان بسرعه ثابتة
بالنسبه لبعضهما البعض فعندئذ علينا استخدام
تحويلات لورنتز .

ان سبب الحاجه الى التوصل لتعريف جلي
لمفهوم التواقت هو لاستخدامه في مفهوم كيفية قياس
طول جسم يتحرك ماراً بمراقب . لانه عندما يقوم
مراقبان بقياس طول جسم بلاحظان تطابق نهايتيه
مع تقطعتين على مسطرة مدرجة ، عند مروره بهما .
فاذا كانت القراءتان متواققتان نحصل على الطول
الحقيقي للجسم . لقد اثبت انيشتين ان القياسات
التي تكون متواقته لمراقب في حالة سكون بالنسبه
لجسم متحرك ، هي ليست كذلك بالنسبه لمراقب
يتحرك مع الجسم . الفرق بين نتيجتي المراقبين

ويكون لها معنى فقط بدلالة العمليات التي يجب
اجراؤها للحصول عليها .

(٧-٣) متصل المكان - الزماني :

قبل ظهور نسبية آينشتين الخاصة ، لم
يشك احد في الإستقلال التام بين الزمان والمكان ولم
تكن لتخطر على بال احد . فقد اعتقد نيوتن بأن
الزمان شيء مطلق ، صورته كمنبر عظيم يجري دون
توقف ، مستبد قاهر ، يسلط الموت على عنق
الانسان بساطوره وساعته ، واعتقد في الوقت ذاته
بالمكان المطلق ذلك الاطار المجرد الخالص من كل
ماديه تسبح الاجسام فيه ساكنه كانت ام متحركة .
ثم جاء لورنتز فابقى على جزء يسير من فكرة نيوتن
عن الزمان وقال عند قياس الزمان في محاور
مرجميه ساكنه نحصل على فترات زمنية حقيقيه
بينما عند قياسه في محاور متحركة فنحصل على
فترات زمنية ظاهريه .

ثم اقلت نسبية آينشتين الضوء على مفاهيم
لم يكن الانسان يرى فيها سوى المطلقه ، وقلبت
كثيراً منها جاعلة اياها نسبيه . واثبت انه لا يوجد

مساويه للفرق الذي نحصل عليه من تحويلات
لورنتز . اي ان كمية « تقلص » جسم يتحرك
بالنسبه الى مراقب هو

$$L = L_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

وهي العلاقة التي حصلنا عليها في الفصل السابق .
لقد اصبح تعريف التواقت الذي اعطاه
آينشتين جزءاً من نظرية النسبية . وتعتبر من
اعظم امثلة آينشتين التي توضح ان التعاريف تصح
وتكون دقيقه بدلالة العمليات التي يجب اجراءها .
وهذه تسمى بالطريقه الاجرائيه Operational
او وجهة نظر الاجرائيه . وعلى سبيل المثال : لو
سأل : ما طول الجسم الحقيقي عندما يمر بمراقب ؟
او طول الجسم اذا تحرك المراقب معه ؟ من وجهة
نظر النسبيه ان كلا الجوابين صحيح ولو ان
النتيجتين مختلفتين . لان لا يوجد طول حقيقي او
مطلق لجسم ، كما لا يوجد هناك زمن مطلق او
حقيقي او كتله مطلقة . وهذه الاشياء تعتمد على
حالة السكون او حركة المراقب بالنسبه للجسم .

هناك اسس منطقيه لافتراض محاور مرجعيه
مغشله على غيرها للقياسات الفضائيه والزمانيه ،
لان كل مراقب يعتقد بان محاوره هي الحقيقيه
والاخرى ظاهرية وبذلك يتلاشى التمييز بينها ولا
يمكن ان يكون هناك سكون مطلق او حركه مطلقة .
وعلى سبيل المثال لو فرضنا ان مراقباً كان ينظر
من شباك طائره كانت تسير بسرعه ثابتة الى طائره
اخرى فإنه سوف لا يرى سوى طائره تمر محاذية
لطائره . اي انه لا يستطيع التمييز ما اذا كانت
طائره ساكنه ام في حالة حركه ، لانه يشاهد فقط
الحركه النسبيه بين الطائرتين ولا توجد لديه وسيله
تمكنه من الكشف بطريقه مباشرة عن السرعه المطلقة
لاي من الطائرتين ، لان السرعه تقاس فقط بالنسبه
الى شيء ما .

وفقاً لتحويلات لورنتز لم تعد قياسات المكان
مستقلة عن الزمان ، كما كان في العالم النيوتوني
ذي الابعاد المكانية الثلاث والبعث الرابع المنفصل
الزمان .

لان الزمان ليس مطلقاً لتاثير قياسه بالحركه

النسبيه في المكان ، كما ان قياسات الابعاد تتاثر
بالزمن الخاص لكل مراقب . وتوصلت النسبيه
الى ان الزمان والمكان يمتزجان بصورة تامه بمتصل
تسمى بالمتصل المكان - الزماني يتكون من مكان
نسبي وزمان نسبي . وان اية نقطه فيه لها اربعة
احداثيات (x, y, z, t) ثلاثه منها مكانيه
والرابع زماني وتسمى بالحدث . وعند مرور جسم
في متصل مكان - زماني فإنه سيحتل تقاطع متعاقبه
تمثل احداث متعاقبه وهذه النقاط تعرف خطأ
يسمى بالخط الكوني .

لكي نتمقق قليلا في هذه المفاهيم ، دعني
اعود الى المعادلتين (1-2) و (2-2) والتي سبق
استنباطها وهما :

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

والتي يمكن كتابتهما على النحو التالي :

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad (2-11)$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0$$

ولما كانت الاشارة السالبة التي تسبق
احداثي الزمن تجعله خيالياً لا يمكن تمثيله على

احداثيات (x, y, z, t) تمتزج مع بعضها البعض لدراسة طبيعة الاحداث التي تقع فيه ويدخل الاحداثي الذي يمثل الزمن بطريقه نوعيه ولايتربك بجانباً او مستقلاً .

لقد لاحظ علماء الرياضيات سهولة التعامل بأربعة متغيرات للإستمرار بما كانوا يفعلون بثلاث متغيرات وعمموا اصطلاحات الهندسه الاقليديه الى هندسة ذات ابعاد اربعة سميت بهندسة مينكوفسكي . ولكن الضالعين في هذا العلم يعرفون حق المعرفة ان للمكان ثلاثة ابعاد هي الطول والعرض والارتفاع ، اما الاحداثي الرابع فهو بعد خيالي يمتزج مع الاحداثيات الاخرى على شكل ict والحرف i كما ذكرنا هو عدد خيالي اصف الى ذلك هناك فرق اساسي بين هذا الاحداثي والاحداثيات المكانية الثلاث الاخرى وهو ان الاخره تتغير في اي اتجاه او تعكس اتجاهها دون تغيير ، بينما الزمن لا يغير اتجاهه او يعكسه فهو دائماً في اتجاه واحد يجري فالنسبه اذن لم تغفل الزمان او تحذفه وفي الوقت ذاته لم تقترح ان يكون بعداً مكانياً رابعاً .

الورق او حتى في الطبيعة ، ولما كان يشترط في هذا البعد ان يكون الاحداثي الرابع ، لذلك وجب استخدام العدد الخيالي $i^2 = -1$ للتخلص من الاشارة السالبة وبذلك يمكننا كتابة المعادلتين (١١-٢) على النحو التالي :

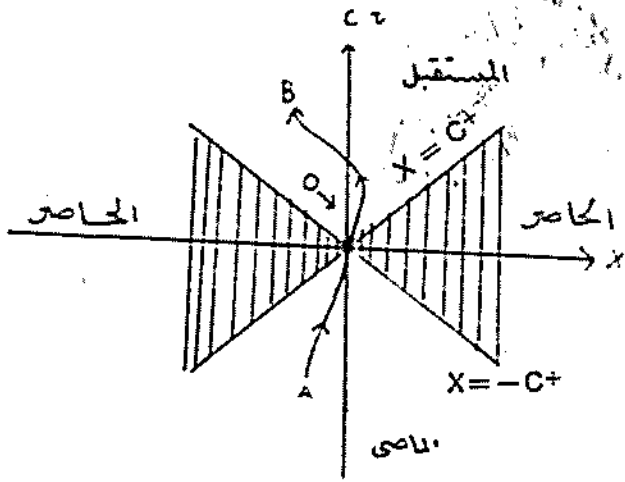
$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 + i^2 c^2 t^2 &= 0 \\ x'^2 + y'^2 + z'^2 + i^2 c'^2 t'^2 &= 0 \end{aligned} \quad (2-12)$$

ان كل من هاتين المعادلتين تمثل متصل مكان - زمني .

نرى في هاتين المعادلتين ان شكل الحد الذي يمثل الزمن "ict" يختلف عن اشكال الحدود الثلاثه الاخرى لانه دخل بصورة رمزية ، وقد يخطيء البعض بإعتقادهم ان النسبيه قد محت التمييز بين المكان والزمان واعتبرت الوقت بعداً مكانياً رابعاً . إن هذا الاعتقاد غير صحيح فالزمن يلعب دوراً متميزاً تماماً عن دور المكان . فليس للمكان في النسبية اكثر من ثلاثة ابعاد ولا توجد هناك عقليه متميزه تنجح في اضافة بعد رابع له . يتميز المتصل المكان - الزمني بأربعة

درجه مع الافق او الشاقول كما هو مبين في الشكل

(٦-٢)



الشكل (٦-٢)

عند انبعاث وميض ضوئي في الزمن $t = 0$ من نقطة الاصل O والتي تمثل نقطه في متصل المكان - الزماني فإنها ستترك المخروط ولكن عندما

(٨-٢) الماضي والحاضر والمستقبل :

يمكن تقسيم المنطقه المحيطه بنقطه في متصل مكان - زماني الى ثلاثة مناطق بواسطة مخروط سطحه يستوفي المعادله (٨-٢) وهي

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

ولان سرعة الضوء هي اكبر سرعة يمكن ان نتواجد في الكون لذلك نسمي بالمخروط الضوئي . في احدى هذه المناطق تكون الفترات شبيهه بالمكان وفي المنطقتين الاخرتين تكون الفترات شبيهه بالزمان .

ولما كنا لانستطيع رسم شكل توفيجسي بارمة ابعاد لذلك سنكتفي ببعدين فقط هما : البعد الزماني والبعد المكاني - . في هذه الحالة تختصر المعادله للمخروط بالصيغه التاليه :

$$\begin{aligned} x^2 &= c^2 t^2 \\ x &= \pm ct \dots\dots\dots (2-18) \\ y &= z = 0 \end{aligned}$$

المعادله (١٣-٢) تمثل مستقيمين متقاطعين في نقطة اصل المحورين ويصنع كل منهما زاوية $\{0$

يتحرك منها جسم سرعته محدوده اصغر من سرعة الضوء فإنه سيرسم خطه الكوني OB في المخروط العلوي وقد سمي بالحاضر لأنه العالم الذي يتأثر مستقبله بفعلنا ابتداءً من النقطة O . فيه الزمن أكبر من صفر .

اما اذا بدأ جسم حركته من النقطة A بسرعة اقل من سرعة الضوء فإنه قد يصل الى النقطة O متخذاً المسار AO الواقع داخل المخروط السفلي ان الاحداث التي تقع في هذه المنطقه والتي تؤثر في O تكون قادمه من الماضي لأنه عندما بدأ الجسم حركته من A كان في الماضي بالنسبه الى O ولذلك سميت هذه المنطقه بالماضي .

تحتل المنطقه المنطلقة ما تبقى من المكان والزمان وعند حدوث شيء فيها سوف لاتتأثر به آتياً او في نفس وقت حدوثه لأنه لا يوجد في الطبيعه شيء يتحرك اسرع من الضوء . فمثلاً عند حدوث انفجار في الشمس فإننا سوف نتأثر به بعد مرور ثمان دقائق من وقت حدوثه ولا نعرف عنه شيئاً قبل مرور هذه الفتره الزمنيه . وفي الوقت ذاته اذا

حدث شيء في منطقه ابتداءً من O فلاتتأثر به هذه المنطقه . لذلك سميت هذه المنطقه باللحظه الحاضره ، او الحاضر فهو غامض لا نعرف عنه شيئاً ، قد نستطيع ان نغير منه شيئاً اولاً نستطيع ، ولكنه يؤثر فيما بعد . وعلى سبيل المثال ، عندما ننظر الى نجم بعيد فإننا نراه كما كان قبل عدة سنوات ، قد نتساءل كيف هو الآن أي في هذه اللحظه بالذات ، وفي الوقت الحاضر يستحيل معرفة ذلك قبل مرور الفتره الزمنيه لكي يصل إلينا الضوء الذي سيخبرنا ما كان عليه النجم في هذه اللحظه . اصف الى ذلك ، فان مانسميه الآن يعتمد على المحاور المثبتة على النجم فإذا كان متحركاً فالمراقب سوف لايتفق معنا على تعريفنا « للآن » لأنه قد تكون محاوره قد دارت بزوايه عن محاورنا فيكون ذلك الوقت مختلفاً عن الوقت الذي نفكر فيه وواقعاً في زمان آخر .

الفصل الثالث

نسبية آينشتين العامة

(١-٣) مقدمه :

فرت نظرية النسبية الخاصة حالة معينة ومحدودة بصورة كاملة وهي ان قوانين الطبيعة لا تتغير في منظومات المحاور القصورية التي تتحرك النسبة لبعضها البعض بسرعة منتظمة . فجميع قوانين الفيزياء سواء كانت دانيميكية عادية او كهرومغناطيسية تبقى نفسها في مثل هذه المنظومات والسؤال الآن : ما هو الحل اذا كانت حركة الجسمين غير منتظمة اي معجله ؟ فمثلا عند سقوط حجر تتزايد سرعته بانتظام حتى يرتطم بسطح الارض . ووفقا لنظرية آينشتين الخاصة لا يمكننا القول ان قوانين الفيزياء بالنسبة لمراقب يتحرك مع الحجر هي نفسها لمراقب آخر على سطح الارض . اذ ان ذلك ، ان الارض هي نفسها

حولها وليست الارض . ثم تبعه اكتشاف كبلر
الذي توصل بطريقه التجربه الى ان دوران الكواكب
حول الشمس يخضع الى ثلاثة قوانين سميت
باسمه وهي :

١ - كل كوكب يتحرك في مسار بيضوي
تكون الشمس في احدى بؤرتيه .

٢ - يقطع الخط الواصل بين الكوكب
والشمس مساحات متساويه في ازمته
متساويه .

٣ - يتناسب مربع زمن الدوره حول
الشمس مع مكعب طول المحور
الرئيسي للمدار .

لقد تمت الخطوة التاليه في تاريخ علم الفلك
عند وضع العالم الانكليزي نيوتن قانونه في الجاذبيه
في سنة ١٦٦٦ م . وكان هذا القانون نتيجته
للمحاولات الكثيره التي قام بها العلماء في ذلك
الوقت لفهم سر القوى التي تسبب حركة الكواكب
والذي يقول فيه : ان التاثير المتبادل بين اي
جسمين ينتج عنه حركة يمكن وصفها بقوانين كبلر

جسم ساقط نحو الشمس بسرعه تجعلها تدور
حولها بدلا من ان تتحرك بخط مستقيم . اي ان
هذه النظرية لم تدخل في حساباتها حركة منظومات
المحاور المعجله او تاثير الجاذبيه .

اما نظريه النسبيه العامه فقد ازاله قيد
حركه منظومات المحاور بسرعه منتظمه وسمحت
للمراقبان يتحرك باي طريق يشاء في خط مستقيم
او ملتو ، منتظمه او معجله ، اي انها تحاول صياغة
قوانين الفيزياء وبضمنها قانون الجاذبيه بحيث
تتحقق في جميع منظومات المحاور . ولما كان قانون
الجاذبيه من مواضعها الاساسيه لذلك سنتناوله
اولا .

(٢-٣) قانون الجاذبيه العام لنيوتن :

تعتبر حركه الكواكب السياره من المسائل
الديناميكيه الاساسيه التي اثارت فضول الانسان
ردحا طويلا من الزمن . وفي مطلع القرن السادس
عشر غير العالم البولندي كوبرنيكس الاراء السائده
في ذلك الوقت عندما اعلن ان الشمس هي مركز
الكون والكواكب السياره وبضمنها الارض تدور

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

ولكن القوة F نثل وزن الجسم اي تساوي mg حيث g هو التمجيل الارضي وعند التعويض نحصل على :

$$mg = G \frac{m M}{R^2}$$

$$g = G \frac{M}{R^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

وهذه النتيجة تعطي التمجيل الارضي بدلالة نصف قطر الكره الارضية وكتلتها ولم تظهر كتلة الجسم فيها وهذا يفسر سبب سقوط جميع الاجسام بمختلف اشكالها وكتلتها بنفس التمجيل .
(٣-٢) مجال الجاذبية :

لتفرض ان هناك جسماً كتلته m وقد وضع حوله وفي مواضع مختلفة جسم آخر كتلته m' كما في الشكل (١-٢) ففي كل موضع من هذه المواضع ستاثر الكتلتين m' و m بقوتين متساويتين في

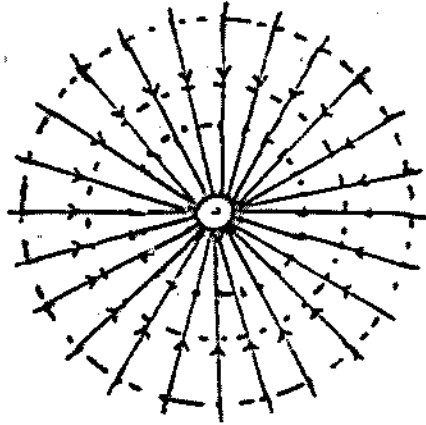
الثلاث . فقانون المساحات يبين ان التأثير المتبادل هو مركزي ، اي ان القوة تعمل على طول الخط الواصل بين الجسمين . كالخط الواصل بين الشمس والارض او بين الارض والقمر وهكذا .
واذا فرضنا ان التأثير المتبادل هو خاصة كونية لجميع المواد ، فالقوة F المرافقه له يجب ان تناسب مع « كمية » المادة الموجوده في كل من الجسمين اللذين بينهما التأثير المتبادل ، اي الى كتليهما m و m' . كذلك اثبت التجارب ان التأثير المتبادل هو خاصيه جاذبيه تتغير عكياً مع مربع المسافة بين الجسمين . عندئذ يمكننا كتابة قانون الجاذبيه العام على النحو التالي :

$$F = G \frac{mm'}{r^2} \dots\dots\dots (3-1)$$

تعتمد قيمه ثابت التناسب G على الوحدات المستخدمه وتساوي 6.67×10^{-11} نيوتن متر^٢ / كغم في الوحدات العالميه .

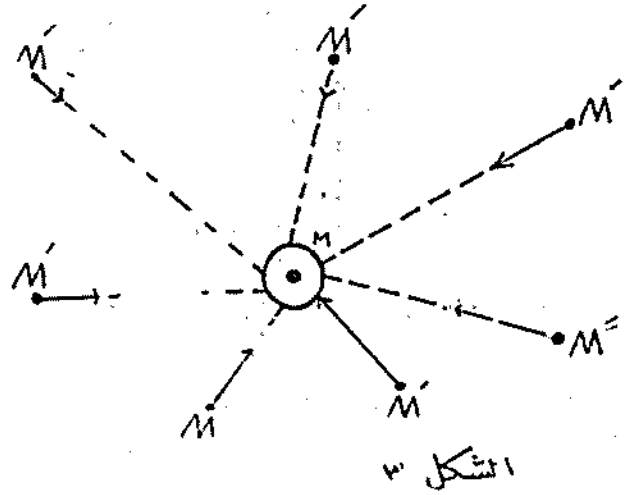
لتفرض ان نصف قطر الكرة الارضيه هو R وكتلتها M وان كتلة جسم ما على سطحها هي m فمن المعادله (١-٢) نحصل على

كتلة اخرى مثل m' عندما تكون في منطقتها m .
 وقد يسأل القاريء : هل يمكننا معرفة ما اذا كان
 هناك مجال حول m دون وضع كتلة اخرى في
 محيطها . وفي هذه الحالة لا يمكن الاجابه على
 السؤال لاننا نكتشف وجود مجال جاذبيه فقط عند
 استخدام كتلة ثانية .



الشكل ٣ - ٢

المقدار ومتماكستين في الاتجاه بسبب التأثير الجذبي
 المتبادل بينهما . ولكن لا يمتد في الوقت الحاضر ما
 يحدث للكتلة m' ولكن نهمنا الان فقط الكتلة m



الشكل ٣

يمكننا القول ان الكتلة m تولد في المكان الذي
 يحيطها حالة فيزيائيه تسمى بمجال الجاذبية .
 ويتميز هذا المجال بالقوة التي تؤثر بها m على اية

في هذا الشكل ان خطوط المجال غير شعاعية في المنطقة المحيطة بالنقطة A لان المجال هنا يكون ضعيفاً جداً . اما في النقطة A نفسها فياوي صفر . اي ان الجاذبية بين الارض والقمر تنعدم في هذه النقطة .

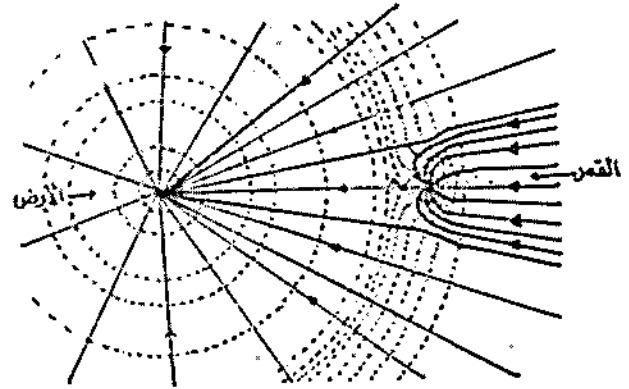
تتألف مجموعتنا الشمسية من سبع كواكب تدور بمدارات بيضوية تكون الشمس في احدى بؤرتيها . وهي على التوالي عطارد ، الزهرة ، الارض ويدور حولها قمر واحد ، المريخ ويدور حولها قمران ، المشتري وحوله اربعة قمرات ، زحل وحوله تسعة اقمار ، اورانوس وحوله خمسة اقمار ، نبتون وحوله قمران ، ولوتو .

لقد نجح قانون الجاذبية العام وقوانين كبلر في تفسير حركة جميع هذه الكواكب والاقمار بدقة متناهية ولا يزال علماء الفلك يستخدمون هذه القوانين بثقة سوى بعض الحالات الخاصة والتي فسرتها النسبية العامة كما سنوضح ذلك مع بنود قادمة .

اعتقد نيوتن ان سر تواجد قوى التجاذب

يتجه مجال الجاذبية دائماً نحو الكتلة التي التي تسببه ويمثل بخطوط تتناسب كثافتها مع قوة المجال . ويبين الشكل (٢-٣) خطوط المجال حول كتلة معينة وهي تتجه شعاعياً نحوها . ونلاحظ ان كثافتها تزداد لازدياد المجال كلما اقتربنا نحو الكتلة .

اما الشكل (٢-٣) فيمثل خطوط المجال بين كتلتين غير متاويتين هما الارض والقمر . ونرى



الشكل ٢ - ٣

سقوط الحجر نحو الارض وقد كان جواب نيوتن ومدرسته هو بسبب تأثير قوة جاذبية الارض اللحظي. ولكن تفسير الفيزياء الحديثه يخالف هذا الرأي تماماً . وتفسر هذه الظاهرة على اساس ان الارض تولد في الفضاء المحيط بها مجالاً جدياً يؤثر على الحجر وتجعله يسقط نحوها وان هذا المجال يتضائل كلما ابتعدنا عن الارض وهو يكسب الجسم الذي يؤثر عليه تعجيلاً منتظماً لا يعتمد على نوع او شكل الجسم .

لقد عرف نيوتن الكتله التصويريه بثابت يخص الجسم ويدل على مدى مقاومته للحركه . ومن قانونه الثاني نعلم ان القوه المحركه = الكتله التصويريه \times التعجيل

ويمكن كتابة هذا القانون لجسم يتحرك في الفضاء بسبب مجال جاذبية الارض على النحو التالي :

القوة المحركة (الجاذبه) = الكتله الثقاليه \times شدة مجال الجاذبيه .

حيث الكتله الثقاليه تمثل خاصيه

بين الكواكب يكمن في طبيعة تركيبها المادي . ولكن ما هو التفسير المنطقي او العلمي لسر هذه القوى العجيبه الكامنه في مادة الاجسام ؟ لم يعر نيوتن اهميه تذكر لاعطاء تفسير مقبول لهذه القوى وانما اكتفى بنجاح قانون الجاذبيه العام بالاشترك مع قوانين كبلر في بناء نظام منسق دقيق لحركه كواكب المجموعه الشمسيه وجاءت الحسابات الرياضيه مطابقه تماماً لقياسات مرصد الفلكيين لمعظم الحالا .

(٤-٣) مبدأ التكافؤ :

شك آينشتين باعتقاد نيوتن من ان تساوي الكتلتين الثقاليه والتصويريه قد جاء مجرد صدفه من مصادفات الطبيعة . واعتقد ان هاتين الكتلتين رغم اختلافهما في الميكانيك الكلاسيكي ؛ لا بد وان تكون لهما جذور واحده . كما رفض تأثير قوة الجاذبيه لحظياً عن بعد . لانه ليس من المعقول ان تصل قوة جاذبية الارض لحظياً الى الكواكب والتي تبعد بمسافات شاسعه عنها .

سال آينشتين في كتابه « النسبيه » عن سبب

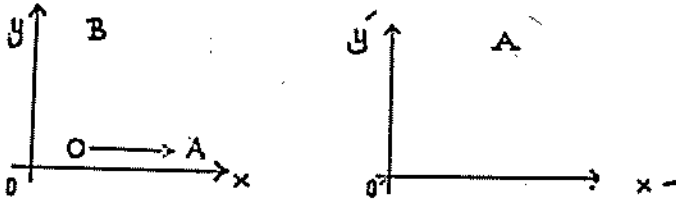
ولبرهنة هذه العبارة ، القوة (F) التي يؤثر بها مجال الجاذبية G في موضع معين على جسم كتلته m هي :

$$F = m G$$

اذن تعجيل الجسم يكون :

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

وهذا يعني ان تعجيل الجسم الواقع تحت تأثير مجال الجاذبية لا يعتمد على كتلته .



الشكل ٣-٤

الآن لنفرض ان هناك مراقباً في المحاور A

من خواص الجسم المتأثر بمجال جاذبية الارض . وعند مساواة القوة المحركة في العلاقتين المذكورتين اعلاه نحصل على :

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{الكتلة التثاقليه} \times \text{شدة مجال الكتلة التصوريه}}{\text{الكتلة التصوريه}}$$

الجاذبية .

لما كان مجال الجاذبية يعطي الاجسام المتأثرة به وعلى اختلاف انواعها واشكالها تعجيلات تتناسب مع شدته ، لذلك يجب ان تكون النسبة :

$$\frac{\text{الكتلة التثاقليه}}{\text{الكتلة التصوريه}}$$

ثابتة ، والتي يمكن جعلها « واحد صحيح » عند استخدام وحدات قياسه مناسبة . وهذا يعني ان الكتلة التصوريه مساويه الى الكتلة التثاقليه . ومن هذه الحقيقة نحصل على نتيجة مهمة وهي ان لجميع الاجسام التي تكون في موضع معين في مجال الجاذبية نفس التعجيل الارضي . وكان لاكتشاف غاليليو : حول سقوط الاجسام نحو الارض بنفس التعجيل برهاناً غير مباشر على تساوي هاتين الكتلتين .

التي تتحرك بتعجيل a_0 بالنسبة للمحاور التصوريه B كما في الشكل (٣-٤) فإذا كان تعجيل جسم ما كما يقيسه مراقب في المحاور التصوريه هو (a) فعندئذ تعجيل نفس الجسم كما يقيسه مراقب في المحاور A هو :

$$a' = a - a_0$$

وعندما يكون الجسم حراً فتعجيله كما يقيسه مراقب في المحاور التصوريه يساوي صفراً، إذن تعجيل الجسم الذي يقيسه المراقب في المحاور المعجله هو :

$$a' = - a_0$$

وهذا يعني ، ان جميع الاجسام الحرة تظهر للمراقب في المحاور المعجله وكان لها تعجيل مشترك هو a_0 .

وهذه الحالة مطابقه تماماً لمجال جاذبية شدته

$$G = - a_0$$

فكما تقدم نستنتج ان :

ليس باستطاعة اي مراقب التمييز بين حالة وجوده في مجال جاذبية منتظم او في محاور معجله وإجلاً هو نص مبدأ التكافؤ .

ومن مبدأ التكافؤ نستنتج ان الجاذبيه والتصور الذاتي هما ليسا خاصتين مختلفتين للمادة وإنما مظهرين مختلفين لخاصة كونية اساسيه لجميع المواد .

لنفرض ان هناك مراقباً في عربة قطار يسير على خط مستقيم وبسرعه منتظمه . وكانت جميع نوافذ العربه مغلقة بحيث لا يستطيع المراقب الرؤية خارج العربة . وعند قيام المراقب بتجربة بسيطة وهي ترك عدد من كرات البليارد تسقط شاقولياً نحو الاسفل فإنه سيلاحظ ان لجميعها نفس التعجيل . عندئذ يمكن القول انها محاطه بمجال جاذبيه يتجه شاقولياً نحو الاسفل . او قد يفترض على حد سواء ان عربة القطار قد ارتفعت شاقولياً نحو الاعلى بتعجيل يساوي ويعاكس تعجيل سقوط الكرات بذلك تصبح الكرات حرة اي انها غير متأثره بمجال جاذبيه . واذا وضع المراقب

كراته على طاولة في العربيه ولاحظ بانها تندفع
متدحرجه نحو مؤخرة العربيه فهذا يعني : اما ان
تكون هناك قوة مجال جديديه جديده قد سلطت
افقياً باتجاه مؤخرة العربيه ، او ان العربيه قد
عجلت افقياً الى الامام : والتعليل الثاني هو المقبول
من الناحيه المنطقيه . مما تقدم يمكننا صياغة
مبدأ التكاثر على النحو التالي :

يجب ان تكتب قوانين الطبيعه بطريقة بحيث
يستحيل التمييز بين مجال الجاذبيه المنتظم
ومنظومه المحاور المعجله .

يكون هذا النص اساس نظريه النسبيه العامه
والتي اعلنها آينشتين في سنه ١٩١٥ .

ويتطلب هذا المبدأ كتابة قوانين الفيزياء بشكل
بحيث لا تعتمد على حالة منظومه المحاور الحركيه ،
وكما رأينا ان فكرة هذه النظرية الاساسيه بسيطه
ولكن صياغتها الرياضيه معقده جداً بحيث لا يمكن
الدخول فيها بهذا الكتيب الثقافى البسيط لكنني
سأحاول تقريب هذه الافكار الجديده الى ذهن
القاريء باستخدام الامثله التوضيحيه .

المثال التوضيحي الاول :

تخيل آينشتين غرفه زجاجيه كبيره ساكنه
على ارتفاع عدة كيلومترات عن سطح الكره
الأرضيه ، وكان في داخلها المراقب - O ، كما ان
هناك المراقب الاخر - O الذي اعتبر نفسه ساكناً
على سطح الارض وبدأ يراقب الغرفه بواسطه
تلسكوب كبير . وعند ترك الغرفه تسقط كجسم
حر شاقولياً نحو الاسفل ، سيلاحظ المراقب - O
انها تتحرك بتعجيل منتظم هو التعجيل الارضى
٩.٨ متر في الثانيه وان جميع حاجيات O/ تتصرف
بنفس الطريقه ، كالتصاوير على جدران الغرفه
والسيكاره في قم - O/ وكرة المضده في احدى
يديه وقبان الوزن في اليد الاخرى . والان ، عندما
يرمي O/ الكره عبر الغرفه بخط مستقيم يرى O
ان مسارها منحني . وعندما يحاول O/ تعليق
صورة على جدار الغرفه يجد أنها لا تحتاج الى
مسار لتعليقها وانما بمجرد وضعها على الحائط
تبقى في وضعها . بينما يقول O ان الجدار
والصوره يستقطبان بنفس السرعة المعجله . وعندما

ان الجسم الذي لا تؤثر عليه قوى فرض انه يتحرك بسرعة منتظمة الى الابد في المحاور القصورية وان هذه المحاور لا تتقيد بمكان او زمان . ولكن حالة المراقب - O/ مختلفة لان خاصية التصور الذاتي في محاوره مقصورة على المكان والزمان . فالجسم المتحرك ، سيأتي الوقت طال ام قصر ، الذي يصطدم فيه بجسم آخر او جدران الغرفة وعندئذ تتغير سرعته المنتظمة . وسياتي الوقت كذلك الذي ترتطم فيه الغرفة مع سطح الكرة الارضية فيتحطم كل شيء . فمحاور O/ اذن عبارة عن صورة مصغرة لمحاور قصورية حقيقية .

المثال التوضيحي الثاني :

لنتخيل الآن ان غرفتنا قد نقلت الى منطقة في الكون معزولة وخالية من جميع مؤثرات القوى الخارجية كقوى مجالات الجاذبية للكواكب ، وان هذه الغرفة قد تحركت - بطريقة ما - بتعجيل منتظم . فعندئذ سيشعر المراقب - O/ ان اقدامه تضغط بشبات على ارضية الغرفة ، وعندما يرمى سيكارتته ستسقط متسارعة نحو ارضية الغرفة .

يرمي O/ سيكارتته من فمه مع قطعه نقود سيرى بانها يبتحيان دائما في مكانيهما تماما كما تركبهما ، بالطبع ، افترضنا ان المراقب - O/ لا يعرف شيئا عن مجال جاذبيه الارض الذي يؤثر على غرفته . كما انه لا يلاحظ اية قوى داخل الغرفة تؤثر على الجسمين لذلك بقيا في حالة سكون تماما كما لو كانا في محاور قصورية . ولكن المراقب - O/ يقول ان السيكرة وقطعة النقود يسقطان جنباً الى جنب بنفس التعجيل ولما كانت الغرفة بجدرانها ، ارضيتها وسقفها تسقط ايضاً بنفس التعجيل لذلك سيظل بعد الجسمين عن ارضية الغرفة ثابتين لا يتغيران . وعندما يعلق O/ شيئاً ثقيلًا يقبانه يلاحظ ان زنه صفراً ، وكذلك عندما يقف على قبان وزن يرى ان وزنه صفراً .

ان جميع هذه التجارب تمنع المراقب - O/ بان قوانين الميكانيك الكلاسيكي تتحقق داخل غرفته وتتحرك جميع حاجياته وفقاً لقانون التصور الذاتي ولكن هناك نقطة واحدة تختلف فيها محاور المراقب O/ المثبتة في الغرفة عن المحاور القصورية وهي

يجد ان الاتجاه الافقي عند رمي الكره والموازي للأرضيه يأخذ شكلا منحنياً . وعندما يقوم المراقب - O/ بإجراء تجارب فيزيائيه معينه يلاحظ ان قانون الجاذبيه العام يتحقق في غرفته وان الكنتلين القصوريه والتثاقليه متساويتان والى آخره . واخير يقتنع بأنه يعيش في غرفته في ظروف اعتياديه وانها ساكنه تؤثر عليها الأرض بجاذبيتها . وفي الحقيقه ان المراقب وحاجياته يتحركون مع الغرفه بتعجيل منتظم . فمثلا بمجرد ترك السيكاره يد المراقب تزول عنها القوى ، وحينئذ تخضع لقانون القصور الدائني فتتحرك بسرعه منتظمه على خط مستقيم تساوي سرعه المنظومه . في الوقت نفسه تقترب ارضية الغرفه نحو السيكاره سرعتها المعجله حتى تصلها بعد فتره زمنيه معينه ، بسبب السرعه النسبيه بين السيكاره وارضية الغرفه .

وهنا قد يعتقد المراقب - O/ ان السيكاره هي المتحركه وارضية الغرفه ساكنه اوان السيكاره تتحرك الى الاعلى بسرعه منتظمه وعلى خط مستقيم وارضية الغرفه تتحرك بسرعه معجله منتظمه سرعتها الابتدائيه تساوي سرعه السيكاره

ان كلا الرايين صحيح لان الحركه النسبيه واحده لكلا الحالتين فبالنسبه للراي الاول عللها وفق الجاذبيه الارضيه اي اعتبر الكتله التثاقليه للسيكاره ، والراي الآخر عللها بالحركه المعجله واعتبر الكتله القصوريه للسيكاره . بالحقيقه لا يمكننا تفضيل راي على آخر فكلاهما صحيح . هنا يظهر مره اخرى تكافؤ الكتله القصوريه والكتله التثاقليه من الناحيه الفيزيائيه .

المثال التوضيحي الثالث :

لنتخيل ان هناك غرفه مكعبه الشكل تدور حول محور كوني بسرعه منتظمه في فضاء معزول عن جميع تأثيرات مجالات الجاذبيه . وان الغرفه متشابهه تماما بحيث مراقبنا - O/ الذي يعيش فيها لا يستطيع التمييز بين جدرانها الستة ، الا عن طريق نشوء قوة جاذبه تسحب نحوها . اما مراقبنا - O فإنه يرى دوران الغرفه حول المحور الكوني ويعرف ان هناك قوة نابذة نحو الخارج تدفع O/ نحو سطوح الغرفه الداخليه .

المراقب - O/ لا يعرف بأنه في غرفه تدور حول

النابذه التي تتولد بسبب هذه الحركة الدورانية تسقط على كل جسم في الغرفة متناسبة مع كتلته التثاقليه وتدفعه بعيداً عن محور دورانها . كما ان الاتجاه فوق وتحت هو شيء اعتيادي فما نسميه على سطح الأرض « تحت » هو اتجاه الجاذبيه وفي الغرفة التي تدور حول المحور الكوني هو اتجاه القوة النابذه . اخيراً يمكننا القول انه لا يوجد اعتراض على رأي المراقب - O او المراقب - O' لان كل منهما صادق فيما يقول .

مما تقدم يمكننا اعتبار المحاور المرجعيه المثبتة على سطح الكره الارضيه والتي تدور حول نفسها وحول الشمس محاور قصوريه وفي هذه الحالة يؤثر على الاجسام المتواجده عليها مجال جاذب .

ومن ناحيه اخرى يمكننا اعتبار المحاور المثبتة بالكره الارضيه تتحرك بحركة متغيرة بسبب حركة الارض بالنسبه لمحاور قصوريه في موضع ما في الكون وعندئذ يمكننا القول ، لا يؤثر على هذه المنظومه الجديده اي مجال جاذب .

محور كوني وانما يشعر بضغط جسمه على احد سطوح الغرفة ويسميه الارضيه . واذا ترك سيكارته لاحظ انها تسقط بتعجيل نحو ارضيته ، واذا قفز في الفضاء لا يطفو وانما يعود الى موضعه مرة اخرى تماماً كما لو كان على سطح الكره الارضيه . واذا رمى سيكارته بمسار مواز لارضية الغرفة فإنها تصنع مساراً منحنياً . اذا ربط طرف جبل في سقفه وربط الطرف الثاني بجسم ثقيل لاحظ ان الجبل يشد شاقولياً نحو الاسفل بسبب مجال الجاذبيه المسلط عليه وفي الوقت ذاته يؤثر الجبل بقوة مساويه ومعاكسة بقوة تسمى بالشد في الجبل لتوازن الجسم . وهذا الشد يتناسب مع الكتله التثاقليه للجسم .

ولكن المراقب - O يقول ان المراقب - O' ليس في غرفه ساكنه تحت تأثير مجال جاذبيه منتظم لانه في منطقته خاليه من جميع تأثيرات مجالات الجاذبيه . والحقيقه هي دوران الغرفة حول محورها الكوني بسرعة منتظمه خلقت هذه الظروف المشابهه لظروف سطح الكره الارضيه . والقوة

واينا ان الجسم الموزول عن اي تأثير خارجي يتحرك بسرعه منتظمه وعلى خط مستقيم في المحاور القصوريه . اما اذا نسبت هذه الحركة الى محاور تتحرك بسرعه متغيره كان مسار الجسم منحنياً وعند تسليط مجال جاذبيه معين عليه يمكن تحويله مره ثانيه الى الحركة المنتظمه على الخط المستقيم ويمكن كذلك عكس العمليه ، اي تحويل الحركة المتغيرة على منحنى التي يصنعها جسم تحت تأثير مجال الجاذبيه والنسوبه الى محاور قصوريه ، الى حركة منتظمه على خط مستقيم في محاور حركتها متغيره .

سمي آنيشتين حركه الجسم الموزول عن تأثير جميع القوى ماعدا قوى مجالات الجاذبيه بالحركه القصوريه . وفي حاله انعدام قوى الجاذبيه نعود الى تعريف الحركة القصوريه القديم وفق الميكانيك النيوتوني ونظرية النسبيه الخاصه .

المثال التوضيحي الرابع :

لنتخيل ان المراقب - O في صاروخ يسير في الفضاء بحركه منتظمه وعلى خط مستقيم وهو غير

دارر بهذه الحركة ويظن إنه ساكن في الفضاء . واذا شعر المراقب فجأة بقوة تدفعه الى الخلف ضاعطه جسمه على المقعد . فهو قد يعمل هذه الحادثه بقوله لقد عجلت حركه الصاروخ فجأة فاندفعت الى الخلف بسبب القصور اللدائي او الاستمراريه او قد يقول ان جرماً سماوياً هائلا قد مر من خلفنا فتأثر الصاروخ بمجال جاذبيته فاصبحت مؤخرته ارضاً ومقدمته سقفاً ولذلك سقطت نحو ارضه ولكن منعني ظهر المقعد من السقوط فانضغطت عليه .

في الحقيقه لايمكننا تفضيل تعليل على آخر ولا توجد نظريه تؤيد احدهما على الآخر .

لانه استناداً الى مبدأ التكافؤ كلا التعليلين صحيح وهذا المبدأ - كما ذكرنا سابقاً - هو اساس نظرية النسبيه العامه ، لان غاية هذه النظرية هو تحقيق التكافؤ التام بين مختلف المحاور المرجعية مهما كانت حركتها .

وساعد مبدأ التكافؤ آنيشتين لايجاد حلول لمفهومي الجاذبيه والحركه المطلقه ، لانه بين ان

الحركة المتغيرة لا يمكن أن تكون مطلقة كما اعتقد نيوتن لأنه لا يمكن التمييز بين الحركة المتغيرة ومجال الجاذبية .

المثال التوضيحي الخامس :

لنتصور أن هناك قرصاً دائرياً كبيراً حسر الدوران حول محور عمودي على سطحه وماراً في مركزه ، وأن هذا القرص متواجد في بقعه كونية بعيدة عن تأثير أي مجال جذبى ، وقد ثبتت محاور مرجعية قصورية - O في البقعة الكونية وأخرى O' في القرص . ووفقاً لذلك تصح نتائج نظرية النسبية الخاصة في المحاور - O' لعدم تواجد تأثير جذبى وفي المحاور - O عندما تكون ساكنة . عندما يتحرك القرص حركة دورانية منتظمة حول المحور المار من مركزه يشعر المشاهد الواقف في مركز القرص بقوة تدفعه نحو محيط القرص . فيفسر المشاهد الساكن في البقعة الكونية بالنسبة للمحاور - O هذه القوة بأنها القوة التبادلية التي تنشأ عن حركة القرص الدائرية ، بينما المشاهد الذي على القرص والذي لا يعرف شيئاً عن حركة

القرص يفسر هذه القوة على أنها ناتجة عن تأثير مجال جاذب يختلف طبيعته عن طبيعة المجال الجيوتونى . والان ، لو ثبت المشاهد الذي على القرص ساعتين متماثلتين واحدة منهما في مركز القرص والأخرى على حافته وفي حالة سكون بالنسبة له . يرى المشاهد في المحاور - O أن الساعة في مركز القرص ساكنة بينما التي على حافته في حالة حركة بالنسبة للمحاور - O بسبب الحركة الدورانية وعليه يلاحظ أن الساعة التي على حافة القرص تسير أبطأ من التي في مركزه وهذا يتفق تماماً مع مفهوم تباطؤ الزمن في النسبية الخاصة . ومن البديهي أن المشاهد الذي يقف في مركز القرص الدائر يرى نفس الظاهره . وعندما يضع المشاهد الأخير عدداً من الساعات المتماثلة في مواضع مختلفة وبإبعاد نسبية ثابتة عن مركز القرص سيلاحظ أن تباطؤ الساعات يزداد كلما ابتعدت مواضعها عن مركز القرص لازدياد سرعة هذه النقاط بإزدياد إبعادها عن المركز . أو بكلام آخر لازدياد مقدار المجال الجاذب . إذن لكل نقطة من نقاط القرص

(٥٢-٥) النسبية العامة وتحقيقتها :

بالرغم من الانتصارات الكبيرة التي احرزها قانون الجاذبية العام لبناء علم الحسابات الفلكية ، إلا أنه أظهرت اعتراضات كثيرة عليه بسبب فشله في اعطاء تفسير دقيق لبعض الظواهر الكونية ، وظهور الأفكار الحديثه في نسبية آينشتين ، بالاضافه الى الجهود المكثفه التي بذلت لجعل هذا القانون يتماشى مع نظرية النسبية الخاصه التي باءت جميعها بالفشل .

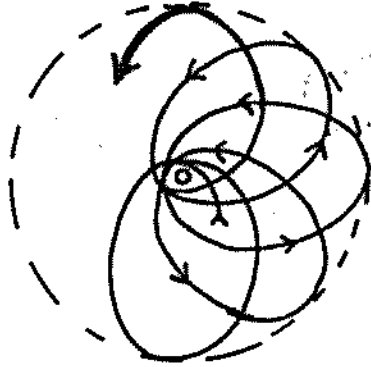
اذا كان قانون الجاذبيه لنيوتن مستنبطاً من نظرية آينشتين الحديثه لمجال جاذبيه ضعيف فالتوقع ان ينحرف هذا القانون عن النظرية الحديثه في مجالات الجاذبيه القويه . فمثلا نعلم ان الكواكب السيارة وبضمنها الارض تدور حول الشمس بمدارات بيضويه (قطع ناقص) واقرب هذه الكواكب اليها هو عطارد . اذن قوة التجاذب بين هذا الكوكب وبين الشمس هي اقوى من التجاذب بينها وبين اي كوكب اخر من الكواكب السيارة . لذلك اذا وجد انحراف في قانون

الدائرة زمن خاص بها ومجال جاذب معين والزمن يتباطأ بإزدياد المجال الجاذب .

والآن لو قام المشاهد على القرص الدائر بقياس محيطه باستخدام وحدة قياس مساويه في الطول لوحدة قياس المشاهد في البقعة الكونية قبل بدا القرص بالحركه . سلاحظ المشاهد الاخير بالرغم من تساوي عدد وحدات محيط القرص عنده وعند زميله ، ولكن وحدة قياس مشاهد القرص اقصر من وحدته ، فيستنتج ان طول محيط القرص قد قصر مع وحدة القياس وبنفس النسبه لان طوليهما كان باتجاه حركة القرص بالنسبه لمركزه . وعندما يقيس المشاهد الاول قطر القرص لايعترض عليه مشاهد البقعه الكونية لان النتيجتين متطابقتين ووحدة القياس بقياس متساويتين وتعليل ذلك هو ان طول وحدة قياس مشاهد القرص كانت عموديه على اتجاه حركته . وعندئذ تكون النسبه بين محيط القرصين ونصف القطر غير متساويه عند المشاهدين .

وهكذا نرى ان سير الساعات يتغير بتغير المجال الجاذب وكذلك اطوال المسافات .

فيه آنيشتين نسيته العامه وذلك سنة ١٩١٦ ان
الاشعه الضوئيه تنتشر في الفضاء بخطوط مستقيمه
ان هذه الفكره لايمكن ان تكون صحيحه لان



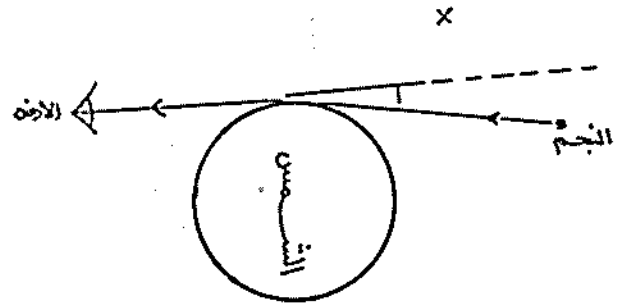
الشكل (٣ - ٥)

الاشعه الضوئيه تنتشر في فضاء يحتوي على كتل
مادية جاذبة . إذن لابد وان ينحني الشعاع الضوئي
عند مروره بالقرب منها . فمثلا عند انبعاث شعاع

الجاذبية العام عن نظرية آنيشتين فستجده في حركة
عطارد .

ينص قانون نيوتن على ان مسار اي كوكب
حول الشمس لا يختلف عن غيره بعدا عنها ام قريبا
ولكن شاهد الفلكيون ان مدار عطارد البيضوي
لا يبقى ثابتا وانما يدور محوره في مستواه حول
الشمس فترسم نهايته دائرة تقع الشمس في
مركزها كما هو مبين في الشكل (٢-٥) وان هذه
الدوره تستغرق (٥٧٢) ثانيه قوسيه كل مئة
سنة . ان هذا الانحراف كان معروفا قبل ظهور
نظرية النسبيه العامه لكن لم ينجح العلماء في وضع
تفسير دقيق له وفق قانون نيوتن ، واخيرا شرحت
نظرية آنيشتين في الجاذبيه هذه الحركه . فمند
استخدام معادلات الجاذبيه الجديده في استنباط
قانون الجاذبيه العام من جديد ظهر ان هناك شيئا
مفقودا في صياغته القديمه وعند اجراء التعديل
اعطى نتيجه متناهيه في الدقة لانحراف هذه الحركه
وكان النجاح دعما كبيرا للنظريه النسبيه العامه .
كان الاعتقاد السائد في الوقت الذي وضع

ضوئي من نجم بعيد يجب ان ينحني عند مروره في مجال جاذبية الشمس كماتنبات ربابيات النسبيه العامه عن حدوث هذا الانحناء . ولما كانت اشعة الشمس الساطعه تحول دون رؤية نجم بعيد تمر اشعته محاذيه للشمس لذا انتظر العلماء حدوث كسوف كلي للتحقق من صحة نظرية آينشتين وتم



اشكل ٦-٣

لهم ذلك عند حدوث الكسوف الكلي سنة ١٩١٩ وجاءت نتائج قياساتهم مطابقة تماما لتنبوءات النسبيه العامه . ويمثل الشكل (٦-٣) انحناء اشعة الضوء الصادره من نجم بعيد عند مرورها

في مجال جاذبية الشمس ومن القياسات التي اجراها العلماء هي زاوية الانحناء (α) كانت متطابقه للقيمه التي حصل عليها آينشتين من نظريته الجديده .

تنبات النسبيه العامه كذلك بتاثير سيم الساعات عند اختلاف مجال الجاذبيه الذي تتواجد فيه ، فمثلا قال آينشتين ان الساعه المتواجده في مجال جاذبية الكرة الارضيه تتباطا عند نقلها الى مجال جاذبية الشمس ، اي ان مجال الجاذبية الحقيقي او الظاهري يؤثر على الفتره بين حدثين فيقصرها عند زيادته .

ومعروف في الفيزياء الحديثه ، ان الصوديوم المتوهج يبعث اشعه ضوئيه ذات طول موجي معين ، لذا امكن استخدام ذرته كساعه ، يستخدم طول الموجه المنبعثه منها كوحده لتغيير الزمن . ووفقا لنظريه النسبيه العامه يجب ان يكون طول الموجه المنبعثه من ذرة الصوديوم على سطح الشمس اكبر قليلا من طول موجه ذرة الصوديوم المتواجده على

سطح الكرة الارضية ، لان مجال جاذبية الشمس اكبر من مجال جاذبية الكرة الارضية .

وفي عام ١٩٢٧ تمكن العالم آدم من اثبات صحة هذه النظرية عندما اجري تجاربه على الطيف المنبعث من نجم رقيق الشعري اليمانيه ، وقد اختير هذا النجم لصغر حجمه ، فهو مساو لحجم الكرة الارضية ، وكبر كتلته فهي مساوية لكتلة الشمس وهذا يعني انه محاط بمجال جاذبية اكبر من مجال جاذبية الشمس . وقد سمي الطيف المنبعث من هذا النجم بظاهرة آنيشتين واعتبرت هذه الظاهرة دعامة جديدة للنظرية النسبية العامة .

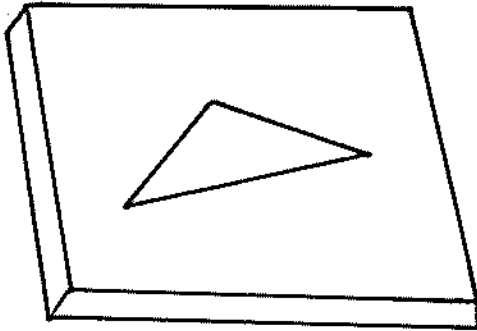
(٦-٣) الجاذبيه وانحناء الفضاء :

لما كنا نعيش داخل الفضاء ولا نستطيع الخروج منه لمشاهدته ، فلنفهم فضاءنا ذي الابعاد المكانيه الثلاث والزمن بعده الرابع ، نحتاج الى استخدام شيء من الخيال والتصور .

لتفرض ان هناك مخلوقات تتمكن من رؤية بعدين فقط ، اي انها تعيش على سطح ولا يمكنها

رؤية البعد الثالث . والسؤال الآن : كيف تستطيع هذه المخلوقات ، معرفة شكل السطح الذي تعيش عليه ؟ هل هو مستو ام منحنى دون الخروج منه وبمشاهدته عن بعد ؟ والجواب على هذا السؤال هو : عليها رسم اشكال هندسية متنوعه على السطح الذي تعيش فيه واجراء بعض القياسات عليها .

فاذا رسمت هذه المخلوقات مثلثا وقاست زواياه وكان مجموعها ١٨٠ درجة استدلّت ان سطحها مستويا وفق قوانين الهندسه الاقليديه كما في الشكل (٧-٣) . اما اذا كان مجموع زوايا المثلث اكبر من ١٨٠ درجة فان سطحها كروي الشكل كما في الشكل (٨-٣) وان خير مثال على هذا



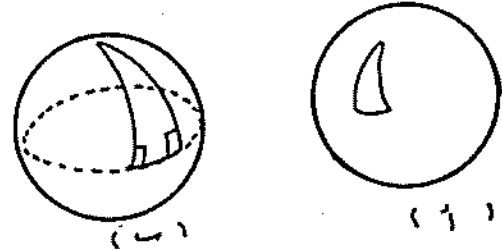
الشكل ٧ - ٣

مجموعها ١٨٠. درجة ابدأ ولا بد ان يكون هناك فرقاً
 مهماً صغراً . وفي حالة رسم : مثلث وكان مجموع
 زواياه اقل من ١٨٠. درجة كان السطح ركابياً كما
 في الشكل (٢ - ١) .

ويصطلح عادة على السطح الكروي بتحدب
 موجب بينما على السطح الركابي بتحدب سالب .
 يمكننا اجراء بعض الدراسات على فضائنا
 الذي نعيش فيه بنفس الطريقة اي باستخدام
 فكرة رسم المثلثات لمعرفة شكله هل هو مستو ،
 موجب ام سالب التحدب . ويكون ذلك عن طريق
 رصد مثلث كبير في الفضاء وقياس زواياه ، فاذا
 كان مجموعها يساوي ١٨٠. درجة فالفضاء مستو ،
 واذا كان مجموعها اكبر من ١٨٠. درجة فهو كروي
 اي موجب التحدب ، اما اذا كان مجموع زواياه
 اقل من ١٨٠. درجة فهو ركابي اي سالب التحدب .

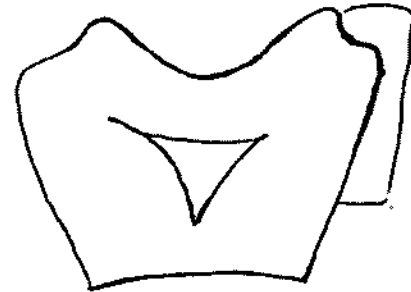
لنفرض ان هناك ثلاثة فلكيين احدهم على
 الارض والثاني على الزهرة والثالث على المريخ
 ومهمتهم هي قياس زوايا المثلث الكبير الذي تكونه
 هذه الكواكب الثلاثة والذي تتوسطه الشمس .

النوع من هذه المثلثات هما اللذان يكونان نصفي
 خطي زوال كرة عندما يقطعها خط الاستواء بزواويتين
 قائمتين كما في الشكل (٢ - ٨) لان عند اضافة



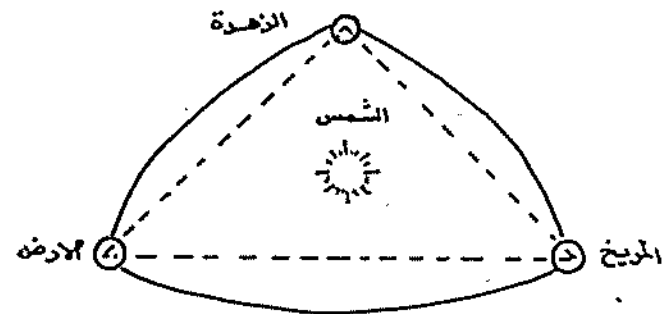
الشكل ٢ - ٨

الزاوية القطبية لهما يكون الناتج حتماً اكبر من
 ١٨٠. درجة وكلما صغر المثلث الكروي قارب
 مجموع زواياه من ١٨٠. درجة ولكن لا يساوي



الشكل ٢ - ٩

ولما كانت الاشعة تنحني بسبب تأثير مجال جاذبية الشمس مبتعدة عنها كما في الشكل (١٠-٣) .
لذلك مجموع زوايا المثلث هو اكبر من ١٨٠ درجة كما يرصدها الفلكيون وعندئذ يستنتجون ان الفضاء المحيط هو فضاء منحن موجب التحذب .
وعند اعادة تجربته باستخدام المشتري وزحل واورنيوس ، والتي ابعادها اكبر من ابعاد المجموعه الاولى بالنسبه للشمس وعليه يجب ان يكون إنحناء الاشعه الضوئيه تحت تأثير مجال جاذبية الشمس



الشكل ٣ - ١٠

اسفر من الحالة الاولى ولذا يكون مجموع زوايا المثلث مقارباً الى ١٨٠ درجة وهذا يعني ان تحذب الفضاء حول الشمس يقل بازدياد البعد عنها .

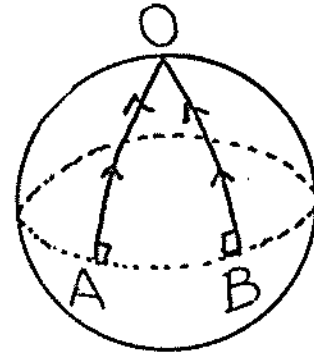
وقد يعترض القاريء فيقول ان هؤلاء الفلكيون لم يقيسوا مثلثاً منتظماً لان اضلاعه غير مستقيمه ؟ ولكن ما هو الخط المستقيم ؟ ان تعريف الخط المستقيم المعقول هو « خط النظر » ولكن هذا هو خط انتشار الضوء في الفضاء الخالي .
قد نعرف الخط المستقيم باقصر مسافه بين نقطتين وعلم البصريات قائم على فرض ان الضوء يسلك دائماً اقصر الطرق . نستنتج مما تقدم ان الخطوط المتصله في الشكل (١٠-٣) يجب ان تعتبر بمثابة خطوط مستقيمه في الفضاء المحدث وان الخطوط المنقطه ليس لها معنى . ولكن نتجنب الخلط بين التعاريف ، فلنفظ « خط مستقيم » لا يستخدم لإللالدلاله على اقصر المسافات في الهندسه المستويه اما في السطوح المنحنيه فيجب استخدام لفظ « الخطوط الفضائيه » وعليه يقابل الخط المستقيم اقواس ودوائر عظمى على السطوح الكرويه . وفي هذه الهندسه لاتصح نظريه الخطوط المستقيمه المتوازيه لاتتقاطع ابداً ، لانه يجب ان تتقاطع اي دائرتين عظيمتين في اية كرة بنقطتين .
فمثلا لو بدأت طائرتان من نقطتين مثل A و B

شرح مفاهيم آينشتين بصورة مبسطة
حول الجاذبية نبدأ بالمثال التالي :

لنفرض اننا نراقب كرة بليارد صغيره تتدحرج على سطح افقي وتسير بخط مستقيم ، فاذا صادف وجود منطقة منخفضة في المستوي وصادفت الكرة بروزاً في طريقها فإنها سوف تتجه بطبيعة الحال نحو المنخفض . ولكننا لو رصدنا حركة الكرة من مسافة بعيدة فإننا سوف لانرى المنخفض او البروز ولكن فقط حركة الكرة وهي تسير بمسارات مستقيمة ومنحنيه وعندئذ نستنتج ان هناك قوة جاذبه او نافرته تؤثر من نقطه معينه في المستوي على الكرة فتحيدها عن طريقها . ولهذا السبب نجد ان نيوتن عندما رصد من بعيد حركة الكواكب والنجوم ، قال لا بد من وجود قوة تسبب هذه الحركات .

اما وجهة نظر آينشتين فهي تشير الى حد ما ملاحظات المشاهد الذي ينظر الى حركة كرة البليارد عن مسافة قريبه ، ولذلك قال : لاداعي لافتراض قوة لتسبب حركة الاجسام الماديه في الفضاء ، والجاذبيه ليست قوة ، ولا توجد هناك قوة تجاذب متبادله بين جسمين ماديين .

على خط استواء الكرة الارضيه ، وسارتا في اتجاهين متوازيين فإنهما حتماً ستتصادمان في قطب الكرة الارضيه كما في الشكل (١١-٣) ويقول آينشتين ان الضوء ينتشر في المناطق الكونيه الخاليه من اية ماديه جاذبه بخطوط كونيه مستقيمه وهي متصلات اقليديه ذات اربعة ابعاد ، تصح فيها نتائج نظريه النسبيه الخاصه . بينما عند تواجد كتل ماديه جاذبه يتخذ اتجاه انتشار الاشعه الضوئيه مسارات كونيه منحنيه تسمى بالخطوط الفضائيه وهي متصلات غير اقليديه ذات اربعة ابعاد .



الشكل ١١ - ٣

الكواكب في حركتها الدورانية أسهل المدارات
والمالك التي تحددها كتلتها المادية في متصل المكان -
الزمني ذي الأبعاد الأربعة .

يمثل الشكل (٢-١٢) الخط الكوني abcd
لحركة الأرض وهو أقصر مسافة بين نقطتي
الحدتين a و d . وينحني الخط بالقرب من
الشمس بسبب تأثير مجال جاذبيتها ، ويمثل
مسقطه على المستوي - xy مسار الأرض حول
الشمس بمداراتها البيضوية . أما بعد الزمن فيمثل
المحور الشاقولي ic t والذي يتغير مع الحركة .

وهكذا نرى أن أية بقعة في الكون يمثلها متصل
المكان - الزمني ذو الأبعاد الأربعة . وعند تواجد
مجال جاذبية فيها ، حقيقاً كان أم ظاهرياً فإنه
يكافيء التعجيل الذي تحدده حالة المشاهد الحركية
وكما رأينا في مثال سابق أن سير الساعات وأطوال
المسافات يتغيران وفق مواضعها في مجالات
الجاذبية المختلفة .

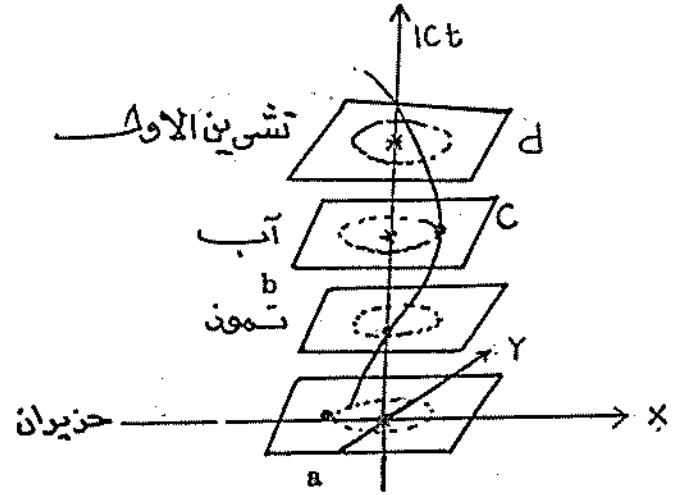
هذه المفاهيم الجديدة والتي تتعارض مع
مفاهيم النسبية الخاصة دقمت آينشتين إلى تعميم

توصل آينشتين إلى اكتشاف مفاهيم جديدة
حول الجاذبية تعتمد على فكرة انحناء الفضاء حول
الأجسام المادية المتواجدة فيه واستعان برياضيات
ريمان الذي سبقه بمشترات السنين في وضع نظريته
العامه عن الفضاء المنحني ذي الأبعاد الأربعة ، وكانت
حصيلة أبحاثه التوصل إلى علاقات تربط انحناء
المتصل المكان - الزمني وتوزيع الكتلة المادية
وحركتها في الفضاء . واثبتت أن قوانين نيوتن ماهي
إلا تقريب لنظريته ولما كانت الفوارق طفيفة جداً
في شكلها أعطت هذه النتائج المذهلة عندما
استخدمها العلماء طيلة القرون الماضية .

تري نظرية النسبية العامه ان الفضاء ، غير
متشابه أو متجانس وهو غير مادي . يتحدث
بأبعاده الأربعة حول الكتلة المادية مكوناً مجالاً
جاذباً ، ويزداد هذا التحدب كلما كبرت كتلة
الجسم المادية . وعلى سبيل المثال ، التحدب حول
الأرض أكبر منه حول القمر . ويتناقص التحدب
وبالتالي مجال الجاذبية بالتدرج شيئاً فشيئاً كلما
ابتعدنا عن مراكز الأجسام المادية بحيث تتلاشى
الفواصل بينه وبين بقية الفضاء . ولما كان التحدب
يساوي صفراً في مراكز هذه الأجسام ، لذلك مجال
الجاذبية فيها يساوي صفراً أيضاً . وتختار

المواضيع الصعبة التي اتعبت العلماء منذ قديم الزمان ؛ ليس لاننا لانراه ولا نلمح في يوم من الايام برؤيته ، ولكن لاننا لانستطيع تحديد مواقعنا منه أيضاً وبالرغم من نجاح الفلكيون المتقطع النظير في تقدير ابعاد مجرات بلغت البلايين من السنين الضوئية ولكنهم عجزوا عن معرفة ما وراء الحد الذي تصل اليه تلسكوباتهم فتركوا ذلك مرغمين للتكهنات .

لقد وضع علماء كثيرون قبل آينشتين نماذج كثيرة لوصف شكل الكون وحدوده ولكنها لم تلق نجاحاً يذكر ؛ إما لعدم تمكن المرصد الفلكي من تحقيقها ، او لانها اهملت لعدم استنادها على اساس علمي قوي . ومن اهمها نموذج نيوتن الذي اعتمد قانونه في الجاذبيه اساساً للدراسة طبيعة الكون الذي نعيش فيه ، وقال ان الكون يتكون من جميع النجوم والمجرات مجتمعة في مركزه وتبجح في فضاء يملؤه الاثير كجزيرة عائمة في وسط فضاء خال من كل شيء وكان الاعتراض على هذا النموذج هو ان النجوم تشع الضوء والحرارة باستمرار



الشكل ١٤-٢

الاخيرة الى نظريته العامة والتي تعتمد الهندسة اساساً ليا بدلا من المفاهيم الفيزيائية البحتة .

(٧-٢) النسبية وطبيعة الكون :

ان البحث في شكل الكون وحدوده : هل هو منته محدود ، ام لانهاية له ليست له حدود ، من

اما اذا سارت على خط دائري فعالها يكون « منته غير محدود » فهو منته لأن محيط الدائرة طول معين وغير محدود لأنها تستطيع السير الى الامام والخلف الى مالانهايه . وعندما يكون طول الخط المستقيم أو طول محيط الدائرة غير متناه في الطول فعالها يكون « لانهاياً وغير محدود » . والان لنضع هذه المخلوقات لتعيش على سطح ذي بعدين وهذا يعني انها لا تستطيع رؤية البعد الثالث العمودي على سطحها او الحركة فيه . فتقتصر حركتها على بعدين فقط . فاذا كان السطح مستويًا مربع الشكل ومحدوداً يمكن قياسه فيكون عالمها منتهياً ولما كانت لا تستطيع مواصلة السير فهو محدود . اما اذا كان السطح المستوي غير متناه في الكبر فعالها يكون لانهاياً وغير محدود . وفي حالة وضع هذه المخلوقات على سطح كروي شريطة ان لا يكون بمقدورها مغادرة السطح فإن عالمها سيكون منتهياً وغير محدود . والان لنستعين بالخيال مرة اخرى لتصور العوالم ذات الثلاثة ابعاد ولو ان هذه العوالم لانتهت عالمنا الذي نعيش فيه لانه كما ذكرنا يتكون من اربعة ابعاد .

الى الفضاء الخالي دون رجعة وهذا يعني ان الكون سيفقد طاقته بمرور الزمن وهو في طريقه الى الفناء وهذا غير صحيح . اضع الى ذلك ان نيوتن لم يوضح ماهية الفضاء الواسع الخالي والواقع ما وراء جزيرته وما هو موجود خلفه .

رفض آينشتين نموذج نيوتن كلياً واثبت ان معدل الكثافة في مثل هذا النموذج للكون يساوي صفراً . وهذا يتنافى وواقع الحال .

بني آينشتين نموذجه في دراسته لشكل الكون وطبيعته على مفاهيم النسبية العامة ، ولإعطاء فكرة مبسطة لنتائج معادلاته المعقدة علينا استخدام شيء من التصور والخيال .

لنفرض ان هناك مخلوقات تعيش في عالم ذي بعد واحد ، مثلاً تتحرك على خط مستقيم الى الامام والخلف فقط . فاذا كان لهذا الخط طول معين فعالم هذه المخلوقات سيكون منتهياً ، واذا كانت لا تستطيع الاستمرار في السير باتجاه واحد الى مالانهايه فإن عالمها يكون محدوداً . اذن عالم هذه المخلوقات في هذه الحالة « محدود ومنته »

لنفرض اننا وضعنا مخلوقة واحده فقط من مخلوقاتنا داخل كرة مجوفه وخاليه من اية مادة ، فعالمها سيكون « منتهياً ومحدوداً » لان حجم الكره محدود والمخلوقه لاستطيع مواصلة السير في خط مستقيم الى ما لانهايه لان جدار الكره الداخلي سيمنها من ذلك . ولما كانت تعيش في عالم ذي ابعاد ثلاثة فيإمكانها الحركه الى الاعلى والاسفل ايضاً . ولنفرض الآن ان مجموعه من هذه المخلوقات تعيش متقاربة من بعضها البعض في عالم ليست له حدود طبيعيه وان كثافة اجسامها عاليه جداً بحيث قوة التجاذب بينها لاتسمح لاية منها ترك المجموعه وفي الوقت ذاته تمنع الاشعه الضوئيه من ترك مجموعه هذه المخلوقات . وفقاً لذلك لو نظرت احدى هذه المخلوقات بإتجاه معين في الفضاء بعيداً عن رفيقاتها فإن خط نظرها سوف ينحني عائداً مرة اخرى نحو رفيقاتها فتراها دائماً امام عينها ولن يكون بمقدورها رؤية ما وراء المجموعه . ان هذه المخلوقات لاتشعر بوجود اي حاجز طبيعي ، او تحس به . ولكننا نعرف جيداً انها تعيش في

عالم غير محدود . ولما كان حجم المجموعه ككل محدود لذلك عالمها منتهياً وهي تكون لها عالماً خاصاً

بها

كانت نتيجة معادلات آينشتين في النسبيه العامه هي ان الكون منته وغير محدود ، معلق على نفسه ، ثابت الحجم ، الماده فيه موزعة توزيعاً عادلاً ، ينحني على الكتل الكونية فيه بإبعاده المكانيه الثلاثة ، والزمن بعده الرابع يسير باتجاه خط مستقيم لايشترك الابعاد المكانيه انحناءها .

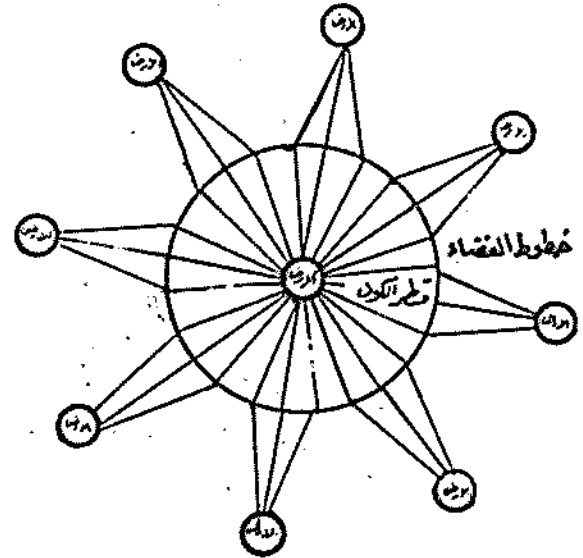
عندما ينبعث شعاع ضوئي من جسم في الكون يتكرر انحرافه عند مروره بالقرب من الكتل الماديه الاخرى لعدد كاف من المرات فإنه قد يدور وبعكس اتجاهه بحيث يعود الى نفس النقطة التي بدأ منها . وهذا يعني لو تصورنا ان رائد فضاء بدأ رحلته من الارض وسار باستمرار باتجاه احدى الخطوط الفضائيه وهي الخطوط التي يتخذها شعاع الضوء مساراً له ، كما هو مبين في الشكل (٢-١٣) والذي تظهر الارض في وسطه - ولو ان هذا لايعني ان الارض هي فعلاً مركزاً للكون - . سيلاحظ

في وسط الشكل وتظهر للرائد وكأنها صور مكررة لها . وعندما ينزل الرائد على الارض بعد ان مرت سفرة دون ان يصادف حواجز طبيعيه يجد انها فعلاً نفس كرتنا الارضيه التي بدأ منها سفرة . ووفقاً لذلك تقول ان الكون الذي نعيش فيه غير محدود ولما كانت رحلة الرائد قد انتهت بعد مضي فترة زمنية معينه فالكون منته ، والكون مقفل على نفسه لان الرائد عاد الى نفس النقطة التي بدأ منها سفرة .

استنبط آينشتين علاقه لتصف قطر الكون حيث وجد انه يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لمعدل كثافة المادة في الفضاء . وكان تقديره لنصف قطر الكون وفق هذه النظرية هو 2×2310 ميل .

بعد سلسلة التجارب التي قام بها الراصد الفلكي هايبيل لتحقيق نظرية اينشتين ، اثبت في البدايه ان الفضاء يتحنى بتحدب موجب وانه منته ومقفل على نفسه ولكن بعد مرور بضعة سنوات من الرصد والدراسة اكتشف في سنة ١٩٢٩ انه كان على خطأ فنقض رايه السابق وقال ان جميع

الرائد خلال سفرة انه يعتمد شيئاً فشيئاً عن الارض حتى يصل الى اعظم بعد ، والذي يمكن اعتباره نصف قطر الكون وهو يمثل نصف قطر الدائرة الكبيرة في الشكل . وتمثل اجزاء خطوط الفضاء خارج هذه الدائرة مسارات العودة والتي تنتهي بعدد الكرات المشابهة لكرتنا الارضيه التي



اولا : قانون الجذب العام لنيوتن :

$$F = G \frac{mm'}{r^2} \quad (3-1)$$

والذي سبق شرحه في البند (٢-٢) .

ثانياً : قانون كولوم : والذي ينص على ان الشحنات الكهربائية تتجاذب أو تتنافر بقوة يعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$F = G' \frac{q q'}{r^2}$$

حيث q و q' يمثلان شحنتين كهربائيتين مختلفتين أو متماثلتين ، r المسافة بينهما و G' ثابت التناسب .

ثالثاً : قوة التجاذب أو التنافر بين قطبين مغناطيسيين هي

$$F = G'' \frac{MM'}{r^2} \quad (3-3)$$

حيث يمثل M شدة القطب الشمالي و M' شدة القطب الجنوبي ، r المسافة بين القطبين و G'' ثابت التناسب .

المجرات في هذا الكون تهرب من بعضها البعض بسرعة عالية جداً وصورها بنقاط على سطح كرة مطاطية يكبر حجمها باستمرار ، اي ان الكون الذي نعيش فيه في حالة تمدد سريع . لقد وضعت نماذج عديدة في السنوات الاخير عن شكل الكون وكلها تتضمن فكرة تمده ، ولكن لحد الان لا يوجد نموذج مبني على اساس علمي متين . وقد يأتي المستقبل باكتشافات جديدة حول شكل الكون وحدوده لان قافلة العلم تسير دون توقف ولا تأبه بأي نوع من العقبات .

(٨-٣) نظرية المجال الموحد :

بعد النجاحات العظيمة التي حققها آينشتين في جعل الزمان رقيقاً لاحداثيات المكان وفي تفسير قوى مجال الجاذبية على انها نتيجة لانحناء الفضاء ومكانة الكتلة والطاقة بقيت قوى الكهربائية والمغناطيسية خارج اطار الفكرة الهندسية . وعليه بدا يبحث عن قانون عام ليكون اساساً لجميع قوانين القوى الفيزيائية المعروفة وهي :

فشل في جعل الفيزياء علماً هندسياً ، واخيراً ازداد اهتمامه وانشغاله بمسألة السلام العالمي ، وقد بقي حتى آخر أيام حياته حاد الالتهن كما كان ، وكانت وفاته سنة ١٩٥٥ ، بعد ان اثبت للعالم اجمع قدرته وقابليته العملية الفائقة ونظرته الشاملة لحل ومعالجة مشاكل الفيزياء الستمصيه دون التقيد بما هو مالوف من مفاهيم وبما اعتادت عليه البشرية في ذلك الوقت .

اخيراً آمل ، ان يكون القاريء قد امضى وقتاً ممتعاً بعد قراءة هذا الكتاب ، وايقن ان مفاهيم النسبيه ليست بتلك الصعوبه والتعقيد ولا مستحيله الفهم كما صورها غير الضالعين في هذا العلم . رغم ان افكار اينشتين ومفاهيمه مازالت غير مالوفه لعدد كبير من الناس ، إلا اننا نامل ان تحل هذه المفاهيم الجديده محل التديبه لدى الناس ، ونخص المتعلمين منهم . لان تغيير عاداتنا الفكرية الكلاسيكيه له اهمية كبيرة في بناء مستقبلنا العلمي .

عند مقارنة المعادلات الثلاث الانفة الذكر نجد بالرغم من انها تعبر رياضياً عن ثلاث ظواهر مختلفه إلا انها متشابهه في صورها . ان قوى الكهربائيه والمغناطيسيه جديبه وتنافريه في الوقت ذاته ، اي ان الشحنات والاقطاب المتماثله تتنافر بينما الشحنات والاقطاب المختلفه تتجاذب وهذا خلاف بين هذه القوى والقوة بين كتلتين مادتين والتي هي جديبه فقط .

ان التشابه بين القوانين الثلاثة والتي استنبطت تجريبياً في اوقات متفاوته ومن قبل علماء مختلفين ، دفعت اينشتين الى الاعتقاد ان استنباطها من نظرية موحده سماها بنظرية المجال الموحد شيء يسير ويمكن التوصل إليه بسهولة .

حاول اينشتين وعلماء غيره كثيرون توحيد مجالي الجاذبيه الكهربائيه والمغناطيسيه على اساس هندسي واحد ولكن جميع محاولاتهم باءت بالفشل ، إلا ان اينشتين لم يياس حيث استمر بالعمل في هذا الموضوع اكثر من عشرين سنه قضاها من عمره لتحقيق حلم نظرية المجال الموحد ولكنه مع الاسف

المحتويات

الصفحة

١-١	نسبية نيوتن وغاليليو .	٤
١-٢	الفضاء والزمن ٢-١ . الفضاء والابعاد	
١-٣	الثلاث للهندسه الاقليديه ٣-١ . الحركه والسكون	
١-٤	قانون القصور الذاتي ٥-١ . الكتلته	
١-٥	القصوريه والزخم الخطي ١-٦ . بحث تحليلي	
١-٦	لمفهوم القوه ٧-١ . نسبية نيوتن وغاليليو	
٢	نسبية آينشتين الخاصه	٢٢
١-٢	مقدمه ٢-٢ . فرضيتا آينشتين	
٢-٢	تحويلات لورنتز ٢-٤ . نتائج تحويلات	
٢-٥	لورنتز ٥-٢ . تكافؤ الكتله والطاقه ٦-٢ . مفهوم	
٢-٦	التواقت او الانيه ٢-٧ . متصل المكان - الزماني	
٢-٨	الماضي والحاضر والمستقبل .	
٣	نسبية آينشتين العامه	٦٩
١-٣	مقدمه ٢-٣ . قانون الجاذبيه العام لنيوتن	
٢-٣	مجال الجاذبيه ٣-٤ . مبدا التكافؤ	
٢-٥	النسبيه العامه وتحقيقتها ٣-٦ . الجاذبيه	
٢-٧	وانحناء الفضاء ٢-٧ . النسبيه وطبيعه الكون	
٢-٨	نظريه المجال .	

1. A. P. French, Newtonian Mechanics William Clowes and Sons. Ltd.
2. Alonso-Fin, Fundamental University Physics, Vol., L. Mechanics. Addison-Wesly.
3. Hollidy and Resnick, Physics for Student of Science and Engineering.
4. Grant R. Fowles. Analytical Mechanics Rinehart and Winston. Inc.
5. R. H. Good, Basic concepts of Relativity Reinhold Book Corporation.
6. Albert Einstein - Leopold Infeld Die Evolution der Physik.
7. Dingles H. Nature, 17, 982 (1956).
8. Mc Crea, Nature, 179, 909 (1957).
9. George Gamow, Biography of Physics. Harper and Brothers (1961).
10. Space, time and Gravitation, Eddinston, Harper and Brothers.
11. Relativity for the Layman James A. Coleman. The Macmillan Company (1960).

صدر من الموسوعة الصغيرة

- ١ - العرب والحضارة الأوربية .
د . فيصل السامر
- ٢ - فلسفة الفيزياء
د . محمد عبداللطيف مطلب
- ٣ - الحقيقة الاشتراكية لحزب البعث العربي الاشتراكي
ال فكر والتطبيق
عزيز السيد جاسم
- ٤ - قضايا المسرح المعاصر .
سامي خشبة
- ٥ - الصناعات البتروكيميائية ومستقبل النفط العربي
د . محمد أزهري السمان
- ٦ - الثورة والديمقراطية
صباح سلمان
- ٧ - دانتى ومصادر العربية والإسلامية
عبدالطلب صالح
- ٨ - الطب عند العرب
د . عبدالنذير البديري
- ٩ - انغولا ... الثورة وإبعادها الإفريقية
حلمي شعراوي
- ١٠ - معالجات تخطيطية للظاهرة التحول الحضري
د . حيدر كهونة

١١ - مصادر الثقافة

- د . سلمان رشيد سلمان
- ١٢ - التراث العربي كمصدر في نظرية المعرفة والإبداع في
الشعر العربي الحديث
طارق الكبيسي
- ١٣ - التقدم العلمي والتكنولوجي ومنساقه الاجتماعية
والتربوية .
د . نوري جعفر
- ١٤ - الثقافة والتنظيمات الشعبية
عبدالفتي عبدالغفور
- ١٥ - العوامل المحفزة لنمو الدخل القومي
د . كاظم حبيب
- ١٦ - فن كتابة الاصوصة
ترجمة : كاظم سعدالدين
- ١٧ - الاعلام والاعلام المضاد
صاحب حسين
- ١٨ - استثمار المواد الكيماوية والعضوية الملوثة للبيئة
د . طارق شكر محمود
- ١٩ - مساهمة العرب في دراسة اللغات السامية
د . هشام الطعان
- ٢٠ - الانسان - آخر المعلومات العلمية عنه
ترجمة واعداد : كامران قره داغلي



- ٢١ - كتابه الشعر في المدارس
ترجمة : طه ياسين حافظ
- ٢٢ - من عصر البخار الى عصر الليزر
د . اسامة نعمان
- ٢٣ - الاتصال والتخريب الثقافي
هادي نعمان الهيتي
- ٢٤ - المدخل الى الفكر الفلسفي عند العرب
د . جعفر آل ياسين
- ٢٥ - الصهيونية ليست حركة قومية
بديمة امين
- ٢٦ - الدفاع المدني الشعبي
صالح مهدي عمّاش

رقم الإيداع في المكتبة الوطنية ببغداد

١٣١٢ لسنة ١٩٧٨

دار الحرية للطباعة - بغداد - ١٣٩٨ هـ - ١٩٧٨ م