الموسوعة الصغيرة

٢٧

النسبية بين نيوتن وانشتاين

د. طالب ناهي الخفاجي

الموسوعة الـ

رقم (٢٧) هذا الكتاب

النسبية

بين نيوتن و آينشتين

الدكتور طالب ناهي الخفاجي

منشورات وزارة الثقافة والفنون

١٩٧٨ الجمهورية العراقية

المقدمه

يسرني ان اقدم للقاريء العربي هذا الكتاب عن نظرية النسبيه . وقد آثرت ان اجعله في ثلاثة فصول ، يشرح الاول منها الميكانيك الكلاسيكي وظهور بدايات النسبيه لدى غاليلو . بينما يبحث الفصلان الثاني والثالث نظريتي آنيشتين الخاصه والعامه .

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

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

آملا ان يسد هذا الكتاب نقصا في الثقافة العلميه العامه لقرائناالاعزاء .

الدكتور طالب ناهي الخفاجي
قسم الفيزياء ـ كلية العلوم
جامعة بغداد

الفصل الاول

نسبيه نيوتن وغاليلو

١ – ١ الفضاء والزمن :

في اية نظرية علميه ، يجب ان نبدا بمفاهيم اوليه معينه وعدد من الفرضيات ، ومن اكثر 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 كياناً واضحاً .

ويعني نيوتن بالمكان المطلق هو ان يبقى المكان مستقلاً عما يحيط به غير قابل للحركه ويشبه دوماً ذاته .

فمثلا ، عند دراسة حركة القطار بين بغداد والبصره نعتبر مكان خط السكه الحديديه ساكناً

بالنسبة لسطح الارض ونجري قياساتنا وفقاً لذلك .. ولكن ، الحقيقه غير ذلك ، لان خط السكه الحديديه والقطار الذي يسير عليه قد تغير مكانهما في الفضاء مع دوران الارض حول نفسها وحول الشمس .

ولما كانت الاخيرة هي احدى نجوم مجرة درب التبانه والتي تدور حول نفسها بسرعه هائله، فنحنا تدور معها ومجرة درب التبانه كباقي المجرات الاخرى الكثيره المنتشره في الكون ، منطلقه في الفضاء تتباعد عن بقية المجرات سرعة كبيرة . وهذا يعني في الفترة الزمنيه التي يبدا فيها القطار رحلته من بغداد ووصوله البصرة ، تكون الارض 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 .اذن ،كيف نعين موقعاً ثابتاً مطلقاً ،والكون بهذه الحركه الدائبه .

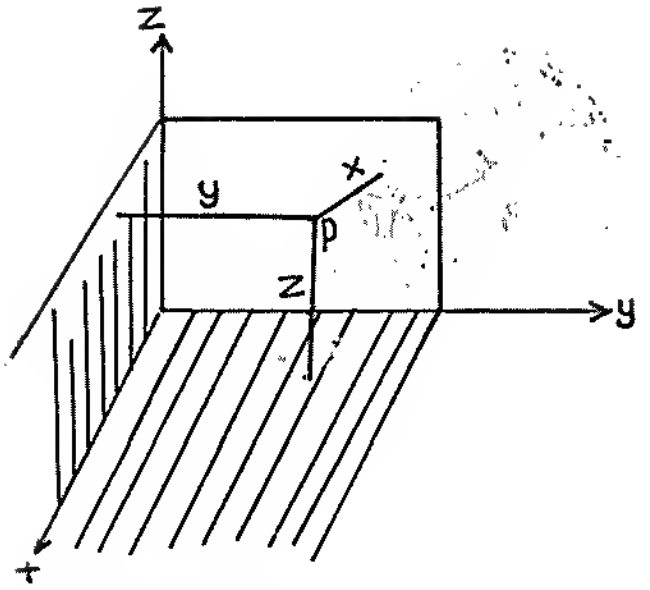
افترض نيوتن كذلك ، زمناً مطلقاً ، وقال ان الزمن يجري بالتساوي في جميع انحاء الكون . ويمكن ان يستخدم التوقيت المطلق ، بصنع ساعه قياسيه ، تقيس فترات زمنيه متصله بالحركه . وتعطي هذه الساعه اشارات معينه في فترات متساوية ثابته ، نوقت بموجبها جميع الساعات

الاخرى دون اخذ الابعاد المكانيه بنظر الاعتبار . قد تفي هذه الساعه بالغرض لوكانت سرعة الضوء غير محدوده . لان الاشارة التي ترسلها الساعه القياسيه لتوقيت ساعة في مكان ما ، تستغرق وقتا قبل وصولها وهذا يؤدي الى اختلاف التوقيت بين الساعتين .

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

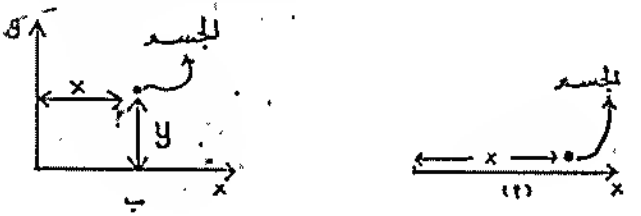
١ ــ ٢ الفضاء ذوالابعادالثلاث للهندسه الاقليديه:

لكي نعين موضع جسم في الفضاء ، يجب ان نختار محاور معينة ، وقد استخدمت المحاور الديكارتيه في الفيزياء الكلاسيكيه وهي عبارة عن ثلاثة مستقيمات (او محاور) متعامدة . ويعين موضع اي جسم مثل P في هذه المحاور بثلاثة اعداد او احداثيات مثل (x, y, z) . وعلى سبيل المثال ، لنفرض ان النقطة P تمثل مصباحا كهربائيا معلقا في سقف غرفه ؛ فاذا كان خط تقاطع جداري الغرفه المتعامدين يكوّن مع خطي تقاطعهما مع ارضيتها ثلاثة محاور متعامدة ، فستكوّن محاور ديكارتيه لتعين موضع المصباح كما هو مبين في الشكل (١ ــ ١) .



ولوصف موضع المصباح نحتاج الى ثلاثة اعداد او احداثيات ، اثنان منهما يعينان البعد عن الجدارين المتعامدين مثلا (x, y) بينما يحدد الثالث البعد عن الارض مثل z . اذن كل نقطة من نقاط الفضاء تعيين بثلاثة اعداد ولذلك نقول ان فضاءنا متصل ذو ثلاثه ابعاد او هو فضاء اقليدي.

هناك حالات خاصة كثيره لا نحتاج فيها الى استخدام ثلاثة محاور متعامده لتعيين موضع جسم ما ، فمثلا يكفي احداثي احد لتعيين موضع جسم على خط مستقيم ، لذلك يستخدم محور واحد نقط من المحاور الديكارتيه كالمحور بـ x . كما في الشكل (١ – ١٢) ويكفي احداثين لتعيين موضع جسم في مستوي لذلك يستخدم محوران متعامدان من المحاور الديكارتيه كما في الشكل (١ – ٢ ب) .



الشكل ١ – ٢

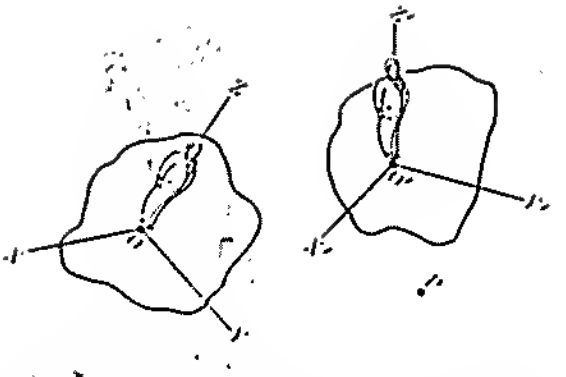
١ – ٣ الحركه والسكون :

عندما يغير الجسم موضعه بمرور الزمن بالنسبه لجسم ثان يقال بانه في حالة حركه بالنسبه للجسم الثاني . اما اذا كان الموضع النسبي

للجسمين لايتغير بمرور الزمن فان كلا منهما يكون في حالة سكون بالنسبة للآخر . فالسكون والحركة اذن ، مفهومان نسبيان ولامعنى للسكون المطلق بالمفهوم الفيزيائي . فالاشجار والبيوت تظهر وكانها ساكنه بالنسبه للارض ولكنها في حالة حركه مستمرة بالنسبه للشمس مثلا ، وحينما يمر قطار بمحطه ، نقول بان القطار في حالة حركه بالنسبه للمحطه بينما ركاب القطار يقولون ان المحطه في حالة حركه بالنسبه للقطار وتسير بعكس اتجاهه .

ولوصف الحركه ، يجب ان نثبت محاور ننسب اليها الحركه ونسميها بالمحاور المرجعيه ، ففي المختبر وعلى الورقه والسبورة مثلا نثبت محاورنا ونعتبرها مرجعا لدراستنا النظريه للحركه . ولدراسه حركة الاجسام التي لاتحتاج قياساتها الى دقه متناهيه ، وهي كثيرة ، نثبت محاورنا على سطح الكرة الارضيه ونعتبرها مرجعا لدراستنا .

لنفرض ان هناك مراقبان O , O' في المحاور x y z والمحاور – x' y' z' على التالي ، وكلا منهما يراقب حركه الجسم P كما في الشكل (١ – ٣) .

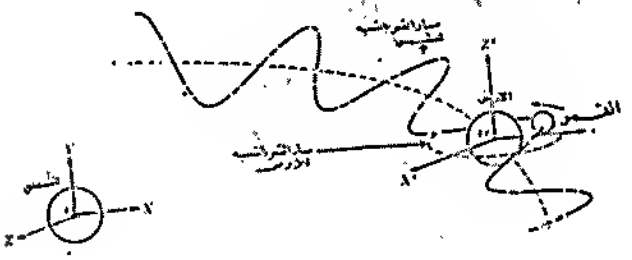


فاذا كان المراقبان O ، O' في حالة سكون بالنسبه لبعضهما البعض ، فإنهما سيلاحظان نفس الحركه للجسم P اما اذا كان المراقب O' في حالة حركه فملاحظاتهم لحركه P ستكون مختلفه .

وعلى سبيل المثال ، لنفرض انهناك 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 مسارا دائريا حول الارض بينما المراقب الذي يثبت محاوره — oxyz على

الشمس يرى القمر يصنع خطا متموجا ، كما في الشكل (١ — ٤) . على اية حال ، لو عرف المراقبان حركتهما النسبيه لتمكنا بسهوله التوفيق بين مشاهدتيهما للقمر .

ويتم ذلك بان تنسب الحركة الى محاور



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

سطح الباخرة ويجري قياساته بالنسبه لها . فاذا قام المراقب الموجود على الشاطيء بنفس القياسات على كرة البليارد لحصل على نتيجه مختلفه .

لانه يتمكن من معرفة سرعة الباخره ، ففي هذه الحاله يقيس سرعة الباخرة وسرعة الكرة ، بينما المراقب الذي على سطح الباخرة لايتمكن من قياس سرعة الباخره ، 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 ساكنا وينسبون اليه حركة الاجرام السماويه . وفي الفيزياء الذرية تحسب حركة الالكترونات بالنسبه للنواة . والفيزيائي التجريبي يختار المحاور التي يجري فيها قياساته ويحللها وفقاً لها وهكذا .

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

بسم الله الرحمن الرحيم

تكون ساكنة بالنسبة لفضاء خال من المادة ، ولكنهم لم يفلحوا في هذا المضمار لعدم تواجد عناصر في الفضاء الخالي يمكن اتخاذها كنقاط مرجعيه . خصوصا بعد ان اهملت فكرة الاثير ، والتي سيطرت على عقول العلماء سنين طويلة . حيث افترضوا وسطاً ماديا غامضا يملأ الفضاء الخالي اطلقوا عليه اسم الاثير وعرفوا المحاور المطلقه بتلك المحاور التي تكون ساكنة بالنسبه له .

١ ـ ٤ قانون القصور الذاتي :

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

لقد عمم نيوتن هذاالمفهوم بقانونهالاول وقال « كل جسم يستمر في حالة السكون ان كان ساكنا

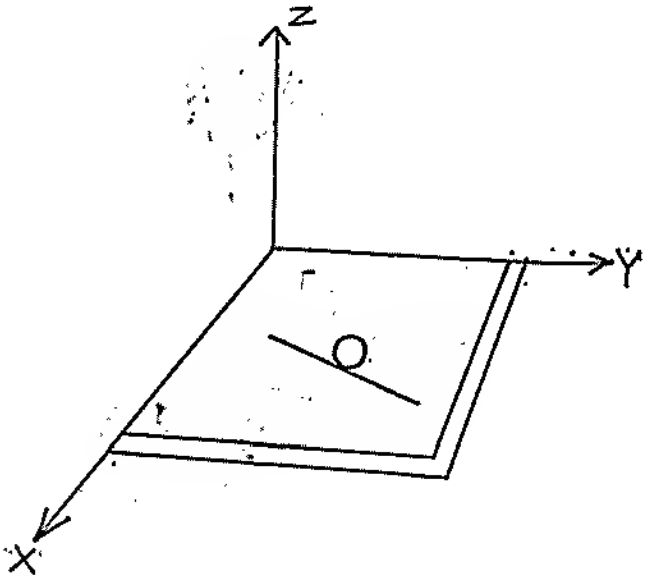
المتبادل بين الارض والشمس وبينهما وبين الاجرام السماويه الاخرى . ولكن هذه تهمل في اكثر الحالات دون خطأ يذكر .

فمثلا ، عند وضع كرة بلياردعلى سطح افقي املس كما في الشكل (١ ــ ٥) فانها ستبقى في حالة السكون ان كانت ساكنه بالنسبه لمحاور مثبته في المختبر وعلى سطح الكره الارضيه ، مالم تؤثر عليها قوة خارجيه . وعند اهمال تاثير الاجرام السماوية الاخرى ودوران الارض يمكن اعتبار الكرة حرة ، على فرض ان السطح المستوي الذي تستقر عليه سيعادل التاثير المتبادل بينها وبين الارض .

وعند ضرب الكرة ، تكتسب سرعه في تلك اللحظه بسبب التاثير المتبادل بينها وبين المضرب . بعدئذ تتحرك على خط مستقيم بالسرعه التي اكتسبتها فاذا كانت الكرة صلدة وتامة التكور فاننا قد نفترض بانها سوف تتحرك دون توقف . ولكن هذا غير ممكن من الناحيه العملية ، لان الكرة ستبطيء بالتدريج وتتوقف عن الحركة بسبب التاثير المتبادل بينها وبين السطح والذي يسمى بالاحتكاك . والتجربه الآنفة الذكر احدى التجارب المهمة التي تدعم قانون القصور الذاتي .

والحركه على خط مستقيم وبإنطلاق ثابت اذا كان متحركا ، مالم تؤثر عليه قوة خارجيه فتغير حالته الحركيه » . ولما كانت حركة اي جسم يجب ان تنسب الى محاور مرجعيه معينه ، فقانون القصور الذاتي ، اذن ، هو ليس فقط نص قطعي حول تصرف اجسام معينه ، وانما يذهب ابعد من ذلك . بالحقيقة يمكن وضع نصه على النمو التالي « توجد محاور مرجعية معينه ، حركة اي جسم ــ لاتؤثر عليه قوى خارجيه ــ بالنسبه لها ، هي حركة بخط مستقيم وبسرعة ثابته » .

المحاور المرجعيه التي يصح فيها قانون القصور الذاتي ، تسمى بالمحاور القصورية والمراقب فيها يسمى بالمراقب القصوري . ان اعتبار محاور مرجعيه معينه كمحاور قصوريه يعتمد ذلك على المشاهدة والتجربة . معظم المشاهدات التي تجري داخل المختبرات تعتبر المحاور المثبته في المختبر وعلى سطح الارض محاور قصوريه ، وعلى اية حال ، استخدم غاليلو نفسه محاور من هذا النوع عندما وضع مبدأ القصور الذاتي . ولو ان الارض لاتصلح تماما لتثبيت المحاور القصوريه عليها ، لان الارض تدور حول الشمس والدوران ينتج عنه كما هو معروف تعجيل بسبب اتجاه سرعة الدوران بالاضافة الى التاثير



الشكل ١ – ٥

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

موجودة فاذا لايوجد انحراف – فهذا يعني عدم وجود قوة والعكس بالعكس . ومن المسلم به الآن بفقد عدم امكانية « برهنة » قانون القصور الذاتي بالطرق التجريبية المعروفه . ولما كان تعريف الجسم الحر « هو الجسم الذي لايوجد بينه وبين اي جسم آخر تاثير متبادل » ، اذن ، فهو اما ان يكون معزولا تماماً ، او ان يكون الجسم الوحيد في الكون . وفي هذه الحالة لايمكن مشاهدته لان ذلك سيحدث تاثيراً متبادلا بينه وبين المراقب الذي يشاهده . اضف الى ذلك ، ان تعريف الخط المستقيم ليس بديهياً بالمفهوم الفيزيائي وفي الوقت ذاته فهو ليس مبهماً بالمفهوم الرياضي . ولا يمكن تعميم قانون القصور الذاتي لانه جاء من الخبرة . فعند تعميم اي قانون يجب ان تثبت صحته تجريبياً لجميع الحالات دون استثناء . وعلى اية حال ، لقد فسر هذا القانون جميع الحركات التي يمكن مشاهدتها وان اعتقادنا بصحته تنمو بإستمرار مع عدد الظواهر التي يستخدم دائماً في تفسيرها بنجاح .

١ ـ ٥ الكتله القصوريه والزخم الخطي :

عند تسليط قوة وباتجاه معين على اي جسم ، مثل كرة ساكنة على سطح افقي املس فانها ستقاوم في البداية تغيير حالتها الحركيه ، ثم تتحرك ، ولتفرض بسرعة منتظمه . ولو سلطت نفس القوة وبنفس الاتجاه على كرة اصغر من الاولى لاكتسبت الاخيرة سرعة اكبر من سرعة الاولى . وعند اعادة نفس التجربة على كرات كتلها مختلفة نستنتج ان سرعة اي جسم لقوة ثابته تتوقف على كتلته . فكلما كبرت كتلة الجسم قلت سرعته لنفس القوة المسلطة . وعلى هذا الاساس يمكننا التوصل الى ايجاد قياس عياري ، ولو نظرياً ، بواسطته نستطيع تعيين كتلة اي جسم . ان الكتله التي نعنيها بهذه الطريقه تسمى بالكتله القصوريه وتعرّف بخاصية مقاومة الجسم لتغيير حالته الحركيه .

في حياتنا اليوميه يستخدم الميزان ذو الكفتين لتعيين كتل الاجسام وذلك بمقارنة كتلة جسم معين بكتلة عياريه . فمثلا عند تعادل كرة في احدى كفتي ميزان مع كيلوغرام في الكفة الاخرى ، فهذا يعني ان كتلة الكرة تساوي كيلوغراماً واحداً ، والكتله المقيسه بهذه الطريقه والتي تعتمد على

تواجد قوة جذب الارض على الاجسام الدنيويه تسمى بالكتله الثقاليه . هل هناك فرق بين الكتله القصوريه والكتله الثقاليه ؟

في تجربة تدحرج الكرة على السطح تبقى قوة جذب الارض ثابته وتاثيرها على الكرة ينحصر فقط في المحافظه على بقائها على السطح ولاتدخل ابدا في تعيين كتلتها . بينما في حالة استخدام الميزان ذي الكفتين اعتمد في اساس عمله على قوة جذب الارض . وهذا يعني لاتوجد هناك علاقه بين الطريقتين لتعيين الكتله لان الطريقه الاولى لاعلاقه لها بقوة جذب الارض بينما الثانيه تعتمد على هذه القوه .

والغريب ، هو عند استخدام الطريقتين لتعيين كتلة اي جسم نحصل على نفس النتيجه . اي ان الكتله القصوريه تساوي الكتله الثقاليه والآن نتسأل : هل تساوي هاتين الكتلتين جاء بمجرد الصدفة ام ان هناك مغزى عميق لانعرفه ؟ يجيب الميكانيك الكلاسيكي بأن تساوي هاتين الكتلتين جاء بمجرد الصدفة ولا يوجد اي مغزى له .

لكن آنشتين يقول في نسبيته العامه 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 المهمه جداً في الفيزياء وهو الزخم الخطي وسوف نرمزله بالحرف P ليدل عليه ، قلنا انه ميم ، وسبب ذلك هو انه يربط بين عنصرين يصفان الحالة الحركية للجسم ، هما الكتله والسرعه v 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 كميه دايناميكيه تعطي للمشاهد معلومات اكثر مما تعطيها السرعه وحدها ، كما نتبين ذلك من ملاحظاتنا اليوميه . فمثلا ، سهولة ايقاف حركة عربة غير محمله او زيادة سرعتها فيما لو كانت محمله ، حتى لو كان للعربه نفس السرعة في الحالتين ، لان زخم العربه المحمله اكبر من غير المحمله 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 أن الجسم يتحرك

بتعجيل ، وبعباره اخرى، انه غير حر بسبب التاثير المتبادل بينه وبين جسم آخر .

لنفرض الحاله المثاليه التاليه : بدلا من مشاهدة جسم معزول واحد كما افترض قانون القصور الذاتي ، لنشاهد جسمين بينهما تاثير متبادل . وهذا يعني ان كل منهما ستتغير سرعته مع الزمن ووفقا لتجاربنا نجد دائما ان الزخم الكلي لمنظومة متكونة من جسمين معزولين بينهما تاثير متبادل فقط ، يبقى ثابتا . هذه هي احدى الحقائق المهمه في الفيزياء وتسمى بقانون حفظ الزخم . كذلك تغير زخم احدهما في فترة زمنيه معينه يساوي ويعاكس تغير زخم الاخر ويعاكسه في الاتجاه في نفس الفتره الزمنيه . اي ان

$$\Delta P = - \Delta P' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}1)$$

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

(١ـ٥) مفهوم القوة ـ قانون نيوتن الثاني والثالث :

لنعود مرة ثانية الى منظومتنا المتكونة من جسمين معزولين بينهما تاثير متبادل فقط . حيث رأينا في البند السابق ان تغير زخم احدهما في فترة زمنيه معينه يساوي ويعاكس تغير زخم الآخر .

ولو رمزنا للفترة الزمنيه التي يحدث فيها هـذا التغيير بالرمز Δt وقسمنا طرفي المعادلة (١ــ١) على هذه الكميه لحصلنا على :

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = -\frac{\Delta P'}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}2)$$

وعندما تقترب Δt من الصفر تتحول المعادله (١ــ٢) الى تغير آني ، اي ان :

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{dP'}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}3)$$

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

$$F = \frac{dP}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}4)$$

قدتضلل كلمة « تؤثر » القاريء لانها تفترض تسليط قوة على جسم . القوه هي مفهوم رياضي، ومن تعريفه يساوي معدل تغير زخم جسم معين ، الناتج عن التاثير المتبادل لجسم على اجسام اخرى. فمن الناحيه الفيزيائيه اذن ، يمكن اعتبار القوه كتعبير عن التاثير المتبادل . اذا كان الجسم حرا .

فعندئذ الزخم P يكون ثابتا ونحصل على :

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

وهذا يعني انه لانوجد قوة تؤثر على الجسم .

تمثل المعادله (١ــ٤) قانون نيوتن الثاني للحركه . ويمكننا القول بانه تعريف اكثر من ان يكون قانونا لأنه نتيجه مباشره لقاعدة حفظ الزخم.

عند استخدام مفهوم القوه ، يمكننا كتابة المعادله (١ــ٣) على النحو التالي :

$$F = -F' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}5)$$

حيث $F' = \frac{dP'}{dt}$ هي القوه التي يؤثر بها الجسم الثاني على الاول و $F = \frac{dP}{dt}$ هي القوه التي يؤثر بها الجسم الاول على الثاني . عندئذ نستنتج:

عند تواجد تاثير متبادل بين جسمين ، فالقوة المؤثره على احدهما تساوي وتعاكس القوه المؤثره على الآخر .

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

في مسائل عديدة ، يعبر عن F و F' كدوال للازاحه بين الجسمين وقد تكون دوال لسرعتيهما النسبيه . وعندما تكون كتلة احد الجسمين كبيره جداً كالجسم الذي تؤثر عليه القوة F' مقارنة بكتله الجسم الاخر ، فعندئذ نفرض ان الجسم ١ لاول يبقى في حالة سكون في محاور قصوربه معينه . ونتكلم عن حركة الجسم الاخر الذي تؤثر عليه القوه F . وفي هذه الحاله يمكن اعتبار القوه F دالة للموضع وللسرعه النسبيه فقط . وفي هذه الحالات تصبح العلاقه

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

مفيدة من الناحيه العمليه .

إن خير مثال لهذه الحالة هي الاجسام الديناميه التي تتحرك تحت تاثير جاذبية الارض ، والالكترون الذي يتحرك بالنسبة للنواة في الذرة.

ولما كان $p = mv$ فعندئذ

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

فإذا اعتبرنا m ثابته نحصل على :

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

حيث a يمثل تغير السرعه في وحدة الزمن او التعجيل . والعلاقه (١ــ ٦) تعني ان القوة تساوي حاصل ضرب الكتله في التعجيل ، اذا كانت الكتله ثابته .

في هذه الحاله يكون للقوه نفس اتجاه التعجيل . ومن العلاقه (١ــ٦) نرى ، عندما تكون القوه ثابته ، فالتعجيل $a = \frac{F}{m}$ يكون ثابت ايضا والحركه تصبح منتظمه التعجيل . وهذا ما يحدث لجميع الاجسام التي تسقط بالقرب من سطح الكرة الارضية . حيث تسقط جميع الاجسام نحو الارض بنفس التعجيل . ولذلك تسمى قوة جذب الارض بالوزن اي ان :

$$w = mg$$

(١ــ٦) بحث تحليلي لمفهوم القوة .

ذكرنا ان القوة مفهوم رياضي ملائم لوصف معدل تغير 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 المنضدة بالمضرب وندخل المسمار في الجدار او قطعة خشبية

بالمطرقه ، والملاكم عندما يوجه ضربه الى وجه خصمه ؛ او الوزن الذي يسحب قبانا محلزنا . اننا نلاحظ ان هناك صعوبة كبيرة ، كما نتصور ، للتوفيق بين هذه الصورة للقوة والقوة بين الارض والشمس ، مع العلم بأن في كلا الحالتين هناك تأثير متبادل بين جسمين تنشأ عنه قوة . قد يعترض القارىء ويقول لكن هناك مسافة شاسعة بين الارض والشمس بينما المضرب يلامس كرة المنضدة . هذه بالضبط ، الحالة التي يظهر فيها مفهوم القوة مخالفا للواقع ولكننا سوف نرى بانه لايوجد هناك خلاف وان مفهوم القوة هو نفسه في كلا الحالتين .

نعلم من دراستنا الاولية ، ان المادة ، مهما كانت صلدة ، تفصل بين ذراتها مسافات شاسعة ، وهذه الذرات باقيه في موقعها نتيجه التأثير المتبادل فيما بينها بنفس الطريقه التي تبقى فيها اجرام مجموعتنا الشمسيه في مواقعها نتيجه التأثيرات المتبادله بينها وبين الشمس . في الحقيقه ، المضرب لا يلامس الكرة بالمفهوم المجهري ولو ان جزيئاته تقترب كثيراً من جزيئات الكرة ، محدثا اضطرابا وقتيا في ترتيب جزيئات الجسمين نتيجه التأثير المتبادل بينهما . اذن ، جميع القوى في الطبيعه تنتج بسبب تأثير متبادل بين اجسام تفصل بينها

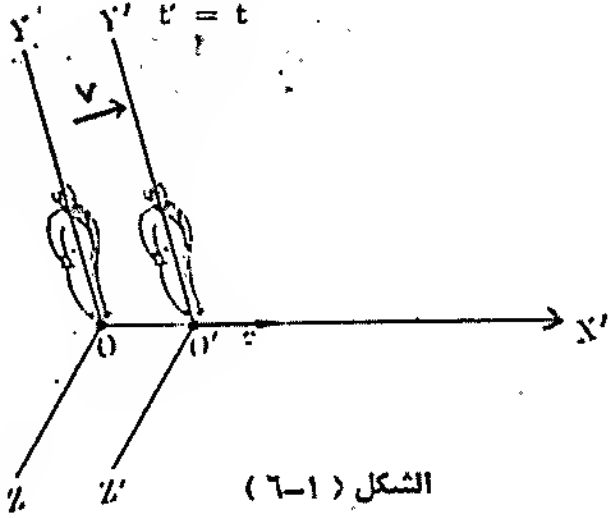
مسافات معينه . في بعض الحالات تظهر هذه المسافات صغيرة بالمعيار البشري ولذلك نعمل تقريبا ونتصورها تساوي صفراً وفي حالات اخرى نرى المسافات كبيرة جداً بمعيارنا فنأخذها بنظر الاعتبار . ولكن هذا غير صحيح من الناحيه الفيزيائية لانها لاتفرق بين نوعي القوتين . لذلك يجب علينا تطبيق المفاهيم المرئيه والمحسوسه « كالتلامس » بحذر في العمليات التي مقاييسها ذرية.

(١–٧) نسبية نيوتن وغاليلو :

لنفرض 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 . والآن ، نود ان نقارن بين مشاهدتيهما ، عندما يراقبان جسماً متحركاً مثل P ، فمثلا ، لنفرض ان المراقب O واقف في محطة القطار والمراقب O' في القطار الذي يمر على خط مستقيم وكلاهما يراقبان حركة طائر محلق في الجو. وللسهولة لنختار المحور — x والمحور — x' على طول خط الحركة النسبية وان المحورين yz يوازيان المحورين — y'z' . كما في الشكل (١–٦)

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

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



الشكل (١ــ٦)

العلاقة الاخيره تفترض ان الزمن مطلق ، اي ان المراقبين يستخدمان نفس الزمن وقياساته لا تعتمد على حركة المراقب . والعلاقات (١ ــ ٧) تسمى بتحويلات غاليلو .

اذا كانت المحاور — oxyz تصورية فالمحاور — $o'x'y'z'$ هي تصورية ايضا . لان . اذا كانت سرعة جسم في المحاور — oxyz ثابته هي u فسرعته بالنسبه للمحاور $o'x'y'z'$ هي :

$$u' = u - v$$

ولما كانت u ، v ثابتين لذلك تكون u' ثابته ايضا وهذا يعني أن الجسم يخضع لقانون القصور الذاتي في المحاور — $o'x'y'z'$ ايضا اي انها تصورية .

اكدنا في شرحنا السابق على اهمية مشاهدة الحركه بالنسبه لمحاور تصورية مرجعية لتفسير الاسس التجريبيه لقوانين نيوتن . وكيف يتغير المظهر الحقيقي لحركة معينة عند مشاهدتها في محاور مختلفه . مهمتنا الآن ، هي ان نثبت ان الحركه لاتعتمد على محاور معينه والتي تعني ان قوانين نيوتن تتضمن مفهوم النسبيه .

عند تفاضل العلاقات (١ـ٧) بالنسبه للزمن نحصل على

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

حيث $u_x = \frac{dx}{dt}$ و $u'_x = \frac{dx'}{dt}$ وهلم جرا . العلاقات (١ـ٨) هي تحويلات غاليلو لمقارنة سرعة الجسم P كما يقيسها كل من المراقبين O و O' عندما يتحركان بسرعة انتقالية نسبية مقدارها u .

عند تفاضل العلاقات (١ـ٨) مرة اخرى بالنسبه لنفس الزمن t نحصل على :

$$a' = a \qquad (1\text{-}9)$$

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

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

لان v ثابته . العلاقه (١ـ٩) تعني ان كلا المراقبين يقيسان نفس التعجيل للجسم P . اي ان تعجيل الجسم لايتغير لجميع المراقبين عندما يتحركون

بسرعه انتقاليه منتظمه بالنسبه لبعضهم البعض . وهذا يعني ان التعجيل لايعتمد على حركة المراقب، بل يبقى ثابتا عندما تنتقل من منظومة محاور الى اخرى ، اذا كانت السرعة الانتقالية النسبيه بينهما منتظمه .

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

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

فاذا كان المراقب القصوري O' الذي يسير بسرعه ثابته v بالنسبه الى O ، يقيس سرعتي نفس الجسمين وفي نفس اللحظه فإنه سيحصل على :

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

وعند التعويض في المعادله (١ـ١٠) نحصل على :

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

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

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

وهذا يعني ان المعادله (١ـ١٠) مماثله تماما الى المعادله (١ـ١١) . اذن كلا المراقبين يحققان قاعدة حفظ الزخم .

راينا من العلاقه (١ــ٩) ، ان .

$$a = a'$$

اي ان كلا المراقبين O و O′ يقيسان نفس التعجيل للجسم P . والآن لو اثرت قوة على الجسم P فالمراقب O يقيسها على النحو التالي.

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

كذلك المراقب O′ يقيسها بنفس الطريقه ، اي ان

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

وهذا يعني ان

$$F = F'$$

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

اذن ، القوانين الدابنميكيه التي تتحقق في محاور فضوريه معينه فإنها ستتحقق ايضاً باستخدام تحويلات غاليلو في جميع المحاور القصورية الاخرى ، التي تتحرك بسرعه منتظمه بالنسبه لبعضها البعض . هذه هي نظريه النسبيه الكلاسيكيه او نسبيه نيوتن وغاليلو .

الفصل الثاني
نسبيه انيشتين الخاصة

٢ ــ ١ مقدمه :

بعد ان وثق علماء الفيزياء ، في نهاية القرن التاسع عشر من طريقه فيزو لقياس سرعة الضوء البالغة ٣×٨١٠ متر/ثانية والتي سنرمز لها بالحرف c . راحوا يجرون التجارب على انتشار الضوء في وسط غامض اسمه الاثير ، افترضوا وجوده لانتشار الموجات الضوئيه . في ذلك الحين دارت مناقشات كثيره حول الطريقه التي يؤثر فيها الاثير على سرعة الضوء ، عند قياسها على سطح الكرة الارضيه . وكان الاعتقاد حينئذ ، ان ذبذبات الاثير تتصرف بالنسبة للضوء بنفس الكيفية التي يتذبذب فيها الهواء عندما تسير الموجات الصوتيه خلاله . لو كان الاثير ساكناً فسرعة الضوء بالنسبه له يجب ان تساوي c . اما اذا كانت الارض

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

في عام ١٨٨١ بدأ عالمان في الفيزياء هما مكلسن ومورلي سلسلة من التجارب لقياس سرعة الضوء 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 انيشتين وجود وسط اسمه الاثير ووجود الحركه « المطلقه » فيه كلياً ، ووضع فرضيتين أكوّنا بنية نظريته النسبيه الخاصه .

٢ — ٢ فرضيتا آنيشتين .

في عام ١٩٠٥ اتخذ العالم الالماني البرت آنيشتين (١٨٧٩ — ١٩٥٥) خطوة كبيرة عندما وضع فرضيتين اساسيتين في النسبيه وهما :

جميع قوانين الطبيعه « وليس فقط قوانين الداينميك » يجب ان تبقى نفسها لجميع المراقبين القصوريين الذين يتحركون بالنسبه لبعضهما البعض بسرعه ثابته .

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

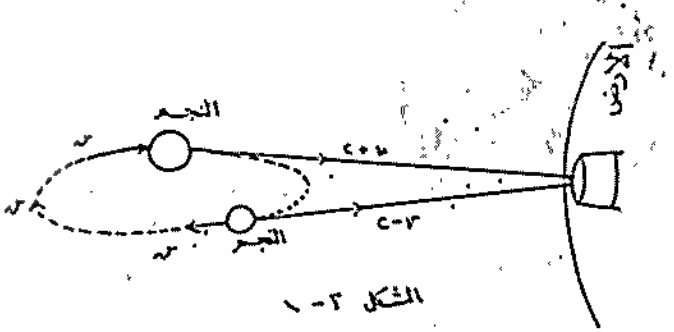
ومن اهم القوانين غير الداينميكيه التي استخدمت هذه النظريه لتفسير متناقضاتها هي معادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسيه . والتي تتغير تماما عند تطبيق تحويلات غاليلو عليها . اي ان المراقبين المختلفين يحصلون على نتائج مختلفه ومتباينه تماماً . ولما كانت هذه المعادلات تحتوي على سرعة الضوء c ، فهذا يعني ان عدم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

سرعة الضوء يجب ان تبقى ثابته ؛ ومن هنا جاءت **فرضية آنيشتين الثانيه وهي :**

ان سرعة الضوء كميه ثابته بالنسبه لجميع المراقبين بغض النظر عن حالتهم الحركيه من مصدر الضوء ، اي انها كميه غير نسبيه وانما مطلقه او ثابته لاتعتمد علي حركة المراقب او المحاور المرجعيه .

من الدلائل المهمه على ثبوت سرعة الضوء هو مشاهدة منظومة متكونة من نجمين يدوران حول مركز مشترك في مدار واحد ويسميان بالنجوم الثنائيه . ففي كل دورة يبتعد احدهما عندما يسير نصف دورة ويقترب 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 ايابه هي c + v كما هو مبين في الشكل (٢–١) فالفرق اذن ، بين ذهابه وايابه هو 2 v . ولو فرضنا ان النجم يبعد عنا مائة سنه ضوئيه فالفرق 2 v قد يكون في احيان كثيره بحدود الاسبوع مابين وهو يبتعد ، وبينه وهو

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



الشكل ٢ - ١

الثنائيين يجب ان يبدو مشوشا ولكننا لا نرى اي تشويش في منظر هذه النجوم وهذا دليل قاطع على صحة فرضيته لثبوت سرعة الضوء .

٢–٣ تحويلات لورنتز :

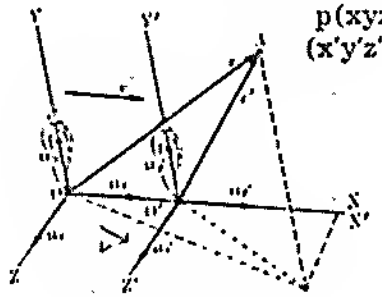
وفق فرضيتي آنيشتين المذكورتين اعلاه تصبح تحويلات غاليلو غير صحيحه وخصوصا بالنسبه للمعادله الاخيره ، اي ان :

$$t = t'$$

والتي تعني ان المراقبين يستخدمان نفس الزمن ، او ان قياسات الزمن لاتعتمد على حركة المراقب .

ولما كانت السرعة عبارة عن حاصل قسمة المسافه على الزمن : فيمكننا تغيير الزمن والمسافه بحيث تبقى النسبه بينهما ثابته لمراقبين في حالة حركه نسبية . وبعباره اخرى . ليس من الضروري ان تكون الفتره الزمنيه بين حدثين ثابته لمراقبين في حالة حركه نسبيه . وهذا يخالف ما جاء في تحويلات غاليلو .

لنفرض ان هناك مراقبين O و O' يتحركان بسرعه نسبيه v بحيث محوريهما x و x' يتجهان باتجاه حركتهما النسبيه وكذلك المحورين yz و y'z' يكونان متوازيين على التتالي كما في الشكل (٢–٢) .



الشكل ٢ – ٢

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 النقطه P ويقول ان $r = ct$ حيث $r = ct$ هو سرعة الضوء . ولما كان :

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

والتي يمكن كتابتها الآن على النحو التالي :

$$c^2t^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}1)$$

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

$$r' = ct'$$

او

$$c^2t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}2)$$

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

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

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

$$y' = y \qquad \text{..... (2-3)}$$

$$z' = z$$

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

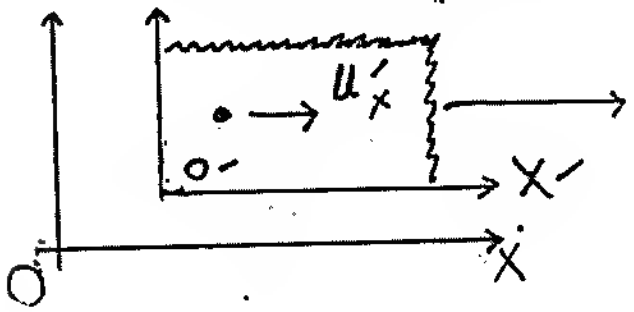
وهذه العلاقات تسمى تحويلات لورنتز .

وعند اخذ مشتقه العلاقه (٢-٣) بالنسبه الى الزمن ، وقسمة الاولى على الرابعه فنحصل على.

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

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

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 بالنسبه للمحاور المرجعيه O كما هو مبين في الشكل (٢-٣)



الشكل (٢ - ٣)

والسؤال الان : ماهي السرعه التي يقيسها المراقب O لوميض الضوء ؟ وفق نظرية آنشتين ، ان كلا المراقبين O و O' يقيسان نفس السرعه اي ان :

$$u_x = u'_x = c$$

بينما وفق تحويلات غاليلو يجب ان يكون :

$$u_x = u'_x + v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}5)$$

بالحقيقه ان القانون الاخير ثبتت صحته لجميع الاجسام الدنيويه الكبيره والتي تتحرك بسرع واطئه جداً مقارنة بسرعة الضوء، وقد تعتبر تقريباً للمعادلة (٢ـ٤) التي استنتجها لورنتز وآنشتين ، اي ان : عندما تقترب الكمية $\frac{u'_x v}{c^2}$ من الصفر تتحول (٢ـ٤) الى (٢ـ٥) .

والآن لوعوضنا $u'_x = c$ في المعادله (٢ـ٤) لحصلنا على

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

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

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

(٢ـ٤) نتائج تحويلات لورنتز :

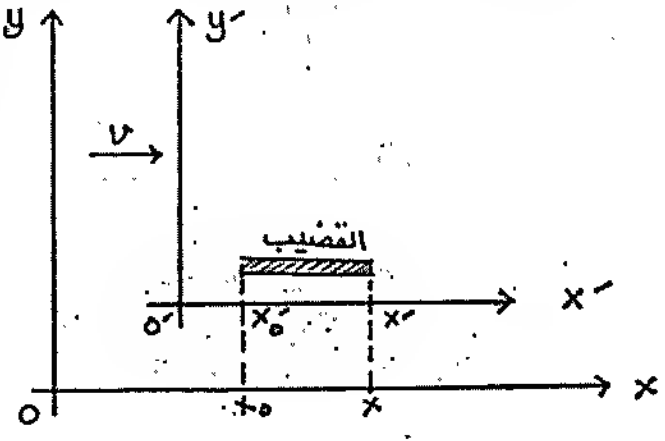
هناك استنتاجات مدهشة عديدة يمكن استنباطها عند استخدام تحويلات لورنتز وهي :

اولا : تقلص الطول :

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

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

نستمر في افتراض تحرك المحاور — O' بالنسبه للمحاور O بسرعه نسبية v كما في الشكل (٢-٤)



الشكل (٢-٤)

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

$$L = x - x_0$$

ووفق تحويلات لورنتز يرتبط الطولان بالعلاقه .

$$L = L_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots (2\text{-}6)$$

على ان يجري المراقبان O و O' قياسيهما في نفس الوقت . وتعني المعادلة (٢-٦) ان المراقب — O الذي يرى القضيب في حالة حركة ، يقيس طولا اقصر من المراقب O' الذي يرى القضيب في حالة سكون . وبعبارة اخرى ، الاجسام التي في حالة حركه تظهر وكانها اقصر من الساكنه .

ثانياً : تباطؤ الزمن :

تعرّف الفترة الزمنية بالزمن الذي يقيسه مراقب بين حدثين . والحدث هو شيء ما يحدث في نقطه معينه في الفضاء وفي زمن معين . فمثلا عندما تصل كرة البندول السيط اعلى نقطه لها ، يقال بان هناك حدث . وعندما تعود الى نفس النقطه بعد مرور فتره زمنيه معينه يقال بأن هناك حدثاً ثانياً والزمن بين الحدثين يسمى بالفتره الزمنيه . فهي اذن ، الزمن المستغرق لعمل شيء ما : البندول ليتذبذب ، الالكترون — ليدور حول

النواة ، الجسم المشع ـ ليشمحل ؛ القلب ـ ليضرب وهكذا .

لنفرض ان هناك حدثين قد وقعا في نفس الموضع x بالنسبه للمراقب O' الذي يتحرك سرعه منتظمة v بالنسبه للمراقب O . فعندما يقيس المراقب O' الفتره الزمنيه T_0 بين زمني الحدثين t'_0 و t' يحصل على

$$T_0 = t' - t'_0$$

وعندما يقيس المراقب ـ O الفتره الزمنيه بين نفس الحدثين يحصل على :

$$T = t - t_0$$

وعند استخدام تحويلات لورنتز نجد ان القياسين يرتبطان بالعلامه

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

نلاحظ هنا ان المراقب O' قد قاس الفتره الزمنيه T_0 لحدثين وقعا في نقطه تعتبر ساكنه

بالنسبه له . بينما المراقب ـ O قاس الفتره الزمنية T لحدثين وقعا في نقطه في حالة حركه بالنسبه له ؛ اي انه راى 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 وكانها تقصر في الزمن .

ثالثا : تغير الكتله مع السرعه :

عندما يقول المراقب O' ان كتلة جسم ما في محاوره هي m_0 فالمراقب ـ O يقول بانها ليست كذلك وانما هي m وتربط تحويلات لورنتز بينهما بالعلاقه .

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

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

مثال : لوتمكنا من صنع سفينه فضائيه ، تسير بسرعة ٢٫٦ × ٨١٠ متر/ثانيه . فكيف تتغير ابعاد وكتلة رائدها : اذا كان طوله قبل اقلاعها مترين وعرضه ٣٫٠ متر وكتلته ١٠٠ كغم ،وساعته تقيس الزمن بدقه :

قبل كل شيء لنحسب المعامل :

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

لما كانت

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

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

فعندئذ $v/c = 0.87$

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

والان ، طول رائد السفينه الفضائيه عندما يقف باتجاه الحركه 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 ٣٫٠ المتر لانه عمودي على اتجاه السرعه . اما اذا نام الرائد في الصاروخ بحيث كان طوله عموديا على اتجاه الحركه وعرضه باتجاهها ، فعندئذ عرضه يصبح :

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

اي يتقلص عرضه الى ١٥٫٠ متر اما طوله فيبقى ثابتا . اما كتلة الرائد فتتغير في كلا الحالتين وفق العلاقه :

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

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

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

فاذا عاد الرائد بعد مرور ٤٠ سنة فانه سيلاحظ بان عمره قد ازداد بمقدار عشرين سنه بدلا من اربعين سنه لان :

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

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

(٢ــ٥) تكافؤ الكتلةوالطاقه :

عند ترتيب العلاقه

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

على النحو التالي :

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

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

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

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

يمثل الحد الثاني الزياده في الكتله بسبب زياده سرعة الجسم وهو عباره عن طاقه حركيه مقسومه على مربع سرعة الضوء هذه تعني ، امكانية الحصول على الكتله التي تكافيء هذه الطاقه بقسمة الاخيره على c^2 . وفي الوقت ذاته ، يمكن الحصول على الطاقه التي تكافيء كتله معينه بضرب الاخيره في c^2 . وعند ضرب العلاقه (٢ــ٩) في c^2 ، نحصل على .

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

والحد $m_0 c^2$ يمثل الطاقه المكافئه لجسم كتلتـه السكونيه m_0 وبصوره عامه يمكننا كتابة الطاقه التي تكافيء كتلة m على النحو التالي .

$$E = mc^2 \qquad (2\text{-}10)$$

وهذه علاقة آنيشتين المشهوره والتي تسمى بعلاقة الطاقه ــ الكتله .

فمثلا غرام واحد من اية مادة يكافيء طاقـه مقدارها ٩ × ١٠^١٢ جـول او ٩ × ١٠^٢٠ ارك . واذا تحررت هذه الطاقة في ثانية واحدة فانهـا ستعطي ٩ × ١٠^١٢ واط . وهذا يعني ان كميـه صغيره من الماده تحولت الى طاقه هائله . وهـذا يوضح ضخامة الطاقه المنبعثه في الانفجار النووي حيث اعتمد اساس وضع القنبله الذريه على هذه العلاقه .

مما تقدم نجد ضرورة تعديل قوانين خفظ الطاقه والكتله الكلاسيكيه . لاننا الآن لانعتبر ان الكتله والطاقه شيئين منفصلين او مختلفين . وقد وضع قانون جديد لخفظ الطاقه ــ الكتله والذي ينص على ان الطاقة ــ الكلية ان كانت على شكل مادة او

على شـكل طاقه فهي محافظه . وبعباره اخـرى عندما تتحول طاقة من جسم الى آخر فكتلة الاول تنقص وكتلة الثاني تزداد .

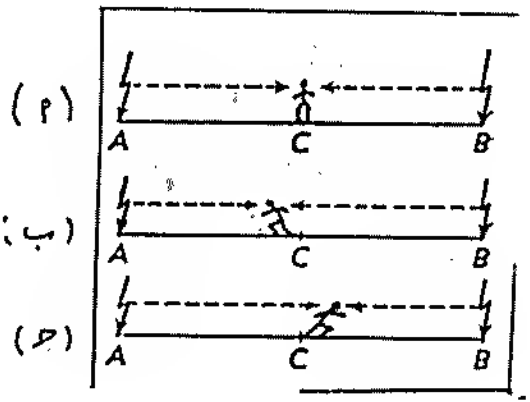
(٢ــ٦) مفهوم التواقت او الآنيه :

لم يؤكد انيشتين على مراجعة مفاهيمنا حول الكتله والطول والزمن فقط وانما مراجعتها ايضاً حول فكرة التواقت المطلق لحدثين ، 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 سـقوط 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 لحظـه حدوث ضـربة البرق في B مـع الوميض المرافق لها ؟ ولنتبين الحقيقه علينا اتباع الطريقه القياسيه التاليه والتي اقترحها انيشتين .

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

المرايا التي تمكنه من رؤيـة النقطتين A و B في وقت واحد دون تحريك راسه ، كما هو مبين في الشكل (٢ـه١) اذا لاحظ المراقب وميضي البرق



شكل (٢ـه)

المنبعثين من A و B في نفـس اللحظه بواسـطة مراياه فهذا يعني ان الوميضين قد حدثا في وقت

واحد . ولكن انيشتين يقول لايمكن قبول هـذه التجربه إلا اذا كان الضوء ينتشر بين A و C بنفس السرعه التي ينتشر فيها من B الى C . وللتاكد من تساوي سرعة الضوء نحتاج الى ساعتين لتبيان ان الفترة الزمنيه التي تستغرقهما الموجه الضوئيه المنتقله من A الى C هي نفس الفتره الزمنيه التي تستغرقها الموجه الضوئيه المنتقله من B الى C ولايتـم ذلك الا اذا كانت السـاعتان متواقتتان وهذا يعني اننا بدانا بتعريف التواقت وانتهينا بضرورة وجود ساعات متوافقه لتعريف التواقت :

ولنعتبر الان ان سرعة الموجة الضوئية هي نفسها على طول المسارين AC و BC وانهـا تستغرق نفس الوقت كما في الشكل (٢ـه١) لذلك قد يظهر الحدثان متواقتين . ولكن لو ان المراقب في C تحرك بانجاه A كما في الشكل (٢ـهب) فانه سيستلم الوميض من A قبل B وعندئـذ سيقول ان ضربة البرق قد حدثت في A قبل B واذا تحرك نحو B كما في الشكل (٢ـهج) فانه

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 معينه ، وكل منهما يحمل ساعة وكانت الساعتان متواقتتان فقد يقرران ما اذا كانت هناك حادثتين متواقتتين 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 فالاخير قد يعكسه مره ثانيه الى A ونقول عن الساعتين متواقتتين عندما يكون A و B في حالة سكون بالنسبه لبعضهما البعض ،واذا بدا B ساعته لاستلام وميض الضوء واذا ضبط A ساعته بحيث تقرا صفراً فيمنتصف الفتره 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 الحاله قد يتحرك احد المراقبين نحو مصدر الضوء فيستلم الوميض قبل ان يستلمه الاخر الذي يبتعد عنه . وهذا يعني بان لايوجد هناك تواقت مطلق . ويعتمد تواقت الحدثين على كيفية تعريف التواقت ، فاذا عرفنا التواقت بالنسبه لمراقبين يتحركان بسرعه ثابته بالنسبه لبعضهما البعض فعندئذ علينا استخدام تحويلات لورنتز .

ان سبب الحاجه الى التوصل لتعريف جلي لمفهوم التواقت هولاستخدامه فيمفهوم كيفيةقياس طول جسم يتحرك ماراً بمراقب . لانه عندما يقوم مراقبان بقياس طول جسم يلاحظان تطابق نهايتيه مع نقطتين على مسطرة مدرجة ، عند مروره بهما . فاذا كانت القراءتان متواقتتان 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

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 انيشتين جزءاً من نظرية النسبية . وتعتبر من اعظم امثلة انيشتين 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 . لأن لايوجد طول حقيقي او مطلق لجسم ، كما لايوجد هناك زمن مطلق او حقيقي او كتله مطلقة . وهذه الاشياء تعتمد على حالة السكون او حركة المراقب بالنسبه للجسم .

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

(٢-٧) متصل المكان ـ الزماني :

قبل ظهور نسبية آنيشتين الخاصه ، لم يشك احد في الإستقلال التام بين الزمان والمكان ولم تكن لتخطر على بال احد . فقد اعتقد نيوتن بان الزمان شيء مطلق ، صوره كنهر 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 مادبه تسبح الاجسام فيه ساكنه كانت ام متحركه. ثم جاء لورنتز فابقى على جزء يسير من فكرة نيوتن عن الزمان وقال عند قياس الزمان في محاور مرجعيه ساكنه نحصل على فترات زمنيه حقيقيه بينما عند قياسه في محاور متحركه فنحصل على فترات زمنيه ظاهريه .

ثم القت نسبية آنيشتين الضوء على مفاهيم لم يكن الانسان يرى فيها سوى المطلقه ، وقلبت كثيراً منها جاعلة اياها نسبيه . وابنت انه لاتوجد

هناك اسس منطقيه لافتراض محاور مرجعيه مفضله 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 مطلقه . وعلى سبيل المثال لوفرضنا ان مراقباً كان ينظر من شباك طائره كانت تسير بسرعه ثابته الى طائره اخرى فإنه سوف لايرى سوى طائره تمر محاذية لطائرته . اي انه لايستطيع التمييز ما اذا كانت طائرته ساكنه ام في حالة حركه ، لانه يشاهد فقط الحركه النسبيه بين الطائرتين ولاتوجد لديه وسيله تمكنه من الكشف بطريقه مباشرة عن السرعه المطلقه 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 المكانيه الثلاث والبعد الرابع المنفصل الزمان .

لان الزمان ليس مطلقاً لتاثر قياسه بالحركه

النسبيه في المكان ، كما ان قياسات الابعاد تتاثر بالزمن الخاص لكل مراقب . وتوصلت النسبيه الى ان الزمان والمكان يمتزجان بصوره تامه بمتصل يسمى بالمتصل المكان ــ 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 ــ زماني فإنه سيحتل نقاط متعاقبه تمثل احداث متعاقبه وهذه النقاط تعرّف خطاً يسمى بالخط الكوني .

لكي نتعمق قليلا في هذه المفاهيم ، دعنى اعود الى المعادلتين (٢ــ١) و (٢ــ٢) 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 :

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \qquad (2\text{-}11)$$
$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0$$

ولما كانت الاشاره السالبه التي تسبق احداثي الزمن تجعله خيالياً لايمكن تمثيله على

الورق او حتى في الطبيعه ، ولما كان يشترط في هذا البعد ان يكون الاحداثي الرابع ، لذلك وجب استخدام العدد الخيالي $i = \sqrt{-1}$ للتخلص من الاشاره السالبه وبذلك يمكننا كتابة المعادلتين (٢-١١) على النحو التالي :

$$x^2 + y^2 + z^2 + i^2 c^2 t^2 = 0$$
$$x'^2 + y'^2 + z'^2 + i^2 c^2 t'^2 = 0 \qquad (2\text{-}12)$$

ان كل من هاتين المعادلتين تمثل متصل مكان ـ زماني .

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 ـ الزماني اربعة

احداثيات (x, y, z, t) تمتزج مع بعضها البعض لدراسة طبيعة الاحداث التي تقع فيه ويدخل الإحداثي الذي يمثل الزمن بطريقه نوعيه ولايترك جانباً او مستقلا .

لقد لاحظ علماء الرياضيات سهولة التعامل باربعة متغيرات للاستمرار بما كانوا يفعلون بثلاث متغيرات وعمموا اصطلاحات الهندسه الاقليديه الى هندسة ذات ابعاد اربعة سميت بهندسة مينكوفسكي . ولكن الضالعين في هذا العلم يعرفون حق المعرفه 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 اضف الى ذلك هناك فرق اساسي بين هذا الاحداثي والاحداثيات المكانيه الثلاث الاخرى وهو ان الاخيره تتغير في اي اتجاه او تعكس اتجاهها دون تغيير ، بينما الزمن لا يغير اتجاهه او بعكسه فهو دائما في اتجاه واحد يجري فالنسبيه اذن لم تغتل الزمان او تحذفه وفي الوقت ذاته لم تقترح ان يكون بعداً مكانياً رابعاً .

(٢ــ٨) الماضي والحاضر والمستقبل :

يمكن تقسيم المنطقه المحيطه بنقطه في متصل مكان ــ زماني الى ثلاثة مناطق بواسطة مخروط سطحه يستوفي المعادله (٢ــ١) وهي

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

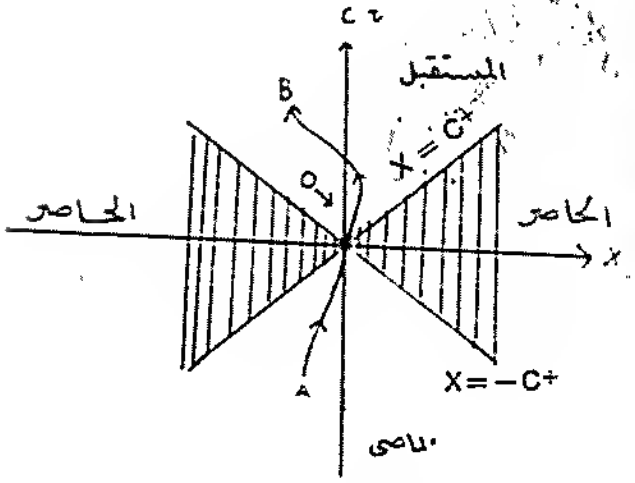
ولان سرعة الضوء هي اكبر سرعة يمكن ان تتواجد في الكون لذلك تسمي بالمخروط الضوئي . في احدى هذه المناطق تكون الفترات شبيهه بالمكان وفي المنطقتين الاخرتين تكون الفترات شبيهه بالزمان .

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

$$x^2 = c^2 t^2$$
$$x = \pm ct \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}13)$$
$$y = z = 0$$

المعادله (٢ــ١٣) تمثل مستقيمين متقاطعين في نقطة اصل المحورين ويصنع كل منهما زاوية ٤٥

درجه مع الافق او الشاقول كما هو مبين في الشكل (٢ــ٦) :



الشكل (٢ - ٦)

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

يتحرك منها جسم سرعته محدوده اصغر من سرعة الضوء فإنه سيرسم خطه الكوني OB في المخروط العلوي وقد سمي بالحاضر لانه العالم الذي يتاثر مستقبله بفعلنا ابتداءاً من النقطه O . فيه الزمن اكبر من صفر .

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

تحتل المنطقه المظلله مابقى من المكان والزمان. وعند حدوث شيء فيها سوف لاتتاثر به آنيا او في نفس وقت حدوثه لانه لايوجد في الطبيعه شيء يتحرك اسرع من الضوء . فمثلا عند حدوث انفجار في الشمس فإننا سوف نتاثر به بعد مرور ثمان دقائق من وقت حدوثه ولا نعرف عنه شيئا قبل مرور هذه الفتره الزمنيه . وفي الوقت ذاته اذا

حدث شيء في منطقة ابتداءاً من O فلاتتاثر به هذه المنطقه . لذلك سميت هذه المنطقه باللحظه الحاضره ، او الحاضر فهو غامض لا نعرف عنه شيئاً ، قد نستطيع ان نغير منه شيئا اولانستطيع، ولكنه يؤثر فيما بعد . وعلى سبيل المثال ، عندما ننظر الى نجم بعيد فإننا نراه كما كان قبل عدة سنوات ، قد نتساءل كيف هو الآن اي 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 . اضف الى ذلك ، فان مانسميه الآن يعتمد على المحاور المثبته على النجم فاذا كان متحركا فالمراقب سوف لايتفق معنا على تعريفنا « للآن » لانه قد تكون محاوره قد دارت بزاويه عن محاورنا فيكون ذلك الوقت مختلفا عن الوقت الذي نفكر فيه وواقعاً في زمان آخر .

الفصل الثالث

نسبيه آينشتين العامة

(٣–١) مقدمه :

فسرت نظرية النسبية الخاصة حاله معينه ومحدودة بصورة كاملة وهي ان قوانين الطبيعه لا تتغير فيمنظومات المحاور القصوريه التي تتحرك النسبه لبعضها البعض بسرعه منتظمه . فجميع قوانين الفيزياء سواء كانت دانيميكيه عاديه او كهرومغناطيسيه تبقى نفسها في مثل هذه المنظومات والسؤال الآن : ما هو الحل اذا كانت حركة الجسمين غير منتظمه اي معجله ؟ فمثلا عند سقوط حجر تتزايد سرعته بانتظام حتى يرتطم بسطح الارض . ووفقا لنظرية آينشتين الخاصة لايمكننا القول ان قوانين الفيزياء بالنسبه لمراقب يتحرك مع الحجر هي نفسها لمراقب آخر على سطح الارض . اضف الى ذلك ، ان الارض هي نفسها

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

اما نظريه النسبيه العامه فقد ازالت 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 الجاذبية بحيث تتحقق في جميع منظومات المحاور . ولما كان قانون الجاذبيه من مواضيعها الاساسيه لذلك سنتناوله اولا .

(٢-٢) قانون الجاذبيه العام لنيوتن :

تعتبر حركه الكواكب السياره من المسائل الداينيمكيه الاساسيه التي اثارت فضول الانسان ردحاً 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 السيارة وبضمنها الارض تدور

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 ـ كل كوكب يتحرك في مسار بيضوي تكون الشمس في احدى بؤرتيه .

٢ ـ يقطع الخط الواصل بين الكوكب والشمس مساحات متساويه في ازمنه متساويه .

٣ ـ يتناسب مربع زمن الدوره حول الشمس مع مكعب طول المحور الرئيسي للمسار .

لقد تمت الخطوة التاليه في تاريخ علم الفلك عند وضع العالم الانكليزي نيوتن قانونه في الجاذبيه في سنة ١٦٦٦م . وكان هذا القانون نتيجه 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

الثلاث . فقانون المساحات يبين ان التاثير 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 التاثير المتبادل هو خاصة كونية لجميع المواد ، فالقوة F المرافقه له يجب ان تتناسب مع « كمية » الماده الموجوده في كل من الجسمين اللذين بينهما التاثير المتبادل ، اي الى كتلتيهما m و m/ . كذلك اثبتت التجارب ان التاثير المتبادل هو خاصيه جذبيه تتغير عكسياً مع مربع المسافة بين الجسمين . عندئذ يمكننا كتابة قانون الجاذبيه العام على النحو التالي :

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

تعتمد قيمه ثابت التناسب G على الوحدات المستخدمه وتساوي ٦٫٦٧ × ١٠^-١١ نيوتن متر٢ / كغم في الوحدات العالميه .

لنفرض ان نصف قطر الكرة الارضيه هو R وكتلتها M وان كتلة جسم ما على سطحها هي m فمن المعادله (٣ــ١) نحصل على

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

ولكن القوه F تمثل وزن الجسم اي تساوي mg حيث g هو التعجيل الارضي وعند التعويض نحصل على :

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

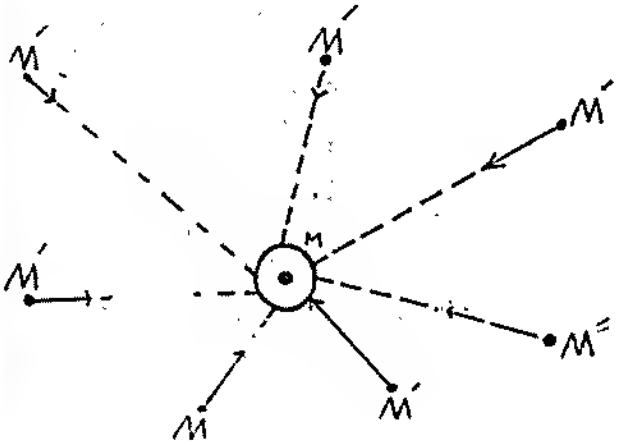
$$g = G \frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}2)$$

وهذه النتيجه تعطي التعجيل الارضي بدلالة نصف قطر الكره الارضيه وكتلتها ولم تظهر كتلة الجسم فيها وهذا يفسر سبب سقوط جميع الاجسام بمختلف اشكالها وكتلها بنفس التعجيل .

(٣ــ٢) مجال الجاذبية :

لنفرض ان هناك جسماً كتلته m وقد وضع حوله وفي مواضع مختلفه جسم آخر كتلته m/ كما في الشكل (٣ــ١) ففي كل موضع من هذه المواضع ستتاثر الكتلتين m/ و m بقوتين متساويتين في

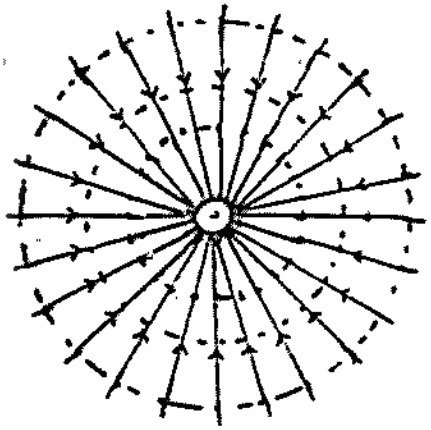
المقدار ومتعاكستين في الاتجاه بسبب التأثير الجذبي المتبادل بينهما . ولكن لا يهمنا في الوقت الحاضر ما يحدث للكتله m/ ولكن تهمنا الان فقط الكتله m



الشكل ٣

يمكننا القول ان الكتله m تولد في المكان الذي يحيطها حاله فيزيائيه تسمى بمجال الجاذبية . ويتميز هذا المجال بالقوه التي تؤثر بها m على اية

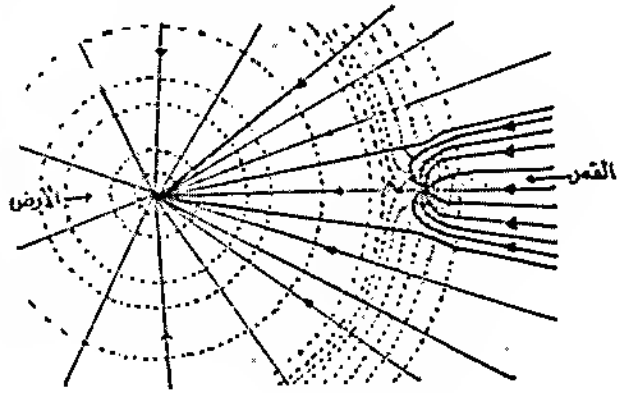
كتله اخرى مثل m/ عندما تكون في منطقه m . وقد يسأل القاريء : هل يمكننا معرفة ما اذا كان هناك مجال حول m دون وضع كتلة اخرى في محيطها . وفي هذه الحاله لايمكن الاجابه على السؤال لاننا نكتشف وجود مجال جاذبيه فقط عند استخدام كتلة ثانيه .



الشكل ٣ - ٢

يتجه مجال الجاذبيه دائماً نحو الكتله التي التي تسببه ويمثل بخطوط تتناسب كثافتها مع قوة المجال . ويبين الشكل (٣ـ٢) خطوط المجال حول كتله معينه وهي تتجه شعاعياً نحوها . ونلاحظ ان كثافتها تزداد لازدياد المجال كلما اقتربنا نحو الكتله .

اما الشكل (٣ـ٣) فيمثل خطوط المجال بين كتلتين غير متساويتين هما الارض والقمر . ونرى



الشكل ٣ـ ٣

في هذا الشكل ان خطوط المجال غير شعاعيه في المنطقه المحيطه بالنقطه A لان المجال هنا يكون ضعيفاً جداً . اما في النقطه A نفسها فيساوي صفراً . اي ان الجاذبيه بين الارض والقمر تنعدم في هذه النقطه .

تتالف مجموعتنا الشمسيه من تسع كواكب تدور بمدارات بيضويه تكون الشمس في احدى بؤرتيها . وهي على التتالي عطارد ، الزهره ، الارض ويدور حولها قمر واحد ، المريخ ويدور حولها قمران ، المشتري وحوله اربعة عشر قمراً ، زحل وحوله تسعة اقمار ،اورانوس وحوله خمسة اقمار ، نبتون وحوله قمران ، ولوتو .

لقد نجح قانون الجاذبيه العام وقوانين كبلر في تفسير حركة جميع هذه الكواكب والاقمار بدقه متناهيه ولايزال علماء الفلك يستخدمون هذه القوانين بثقه سوى بعض الحالات الخاصه والتي فسرتها النسبيه العامه كما سنوضح ذلك مع بنود قادمه .

اعتقد نيوتن ان سر تواجد قوى التجاذب

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 الجاذبه العام بالاشتراك مع قوانين كبلر في بناء نظام منسق دقيق لحركه كواكب المجموعه الشمسيه وجاءت الحسابات الرياضيه مطابقه تماماً لقياسات مراصد الفلكيين لمعظم الحالا .

(٣ـ٤) مبدأ التكافؤ :

شك آينشتين باعتقاد نيوتن من ان تساوي الكتلتين الثقاليه والقصوريه قد جاء مجرد صدفه من مصادفات الطبيعة . واعتقد ان هاتين الكتلتين رغم اختلافهما في الميكانيك الكلاسيكي ؛ لابد 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 .

سأل آينشتين في كتابه « النسبيه » عن سبب

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 مجالا جذبياً يؤثر على الحجر وتجعله يسقط نحوها وان هذا المجال يتضائل كلما ابتعدنا عن الارض وهو يكسب الجسم الذي يؤثر عليه تعجيلا منتظماً لايعتمد على نوع او شكل الجسم .

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

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

القوة المحركة (الجاذبه) = الكتله الثقالية × شدة مجال الجاذبيه .

حيث الكتله الثقاليه تمثل خاصيه

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

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{الكتله الثقالية}}{\text{الكتله القصوريه}} \times \text{شدة مجال الجاذبيه .}$$

لما كان مجال الجاذبيه يعطي الاجسام المتاثره به وعلى اختلاف انواعها واشكالها تعجيلات تتناسب مع شدته ، لذلك يجب ان تكون النسبه :

$$\frac{\text{الكتله الثقاليه}}{\text{الكتله القصوريه}}$$

ثابته ، والتي يمكن جعلها « واحد صحيح » عند استخدام وحدات قياسيه مناسبه . وهذا يعني ان الكتله القصوريه مساويه الى الكتله الثقاليه . ومن هذه الحقيقه نحصل على نتيجه مهمة وهي ان لجميع الاجسام التي تكون في موضع معين في مجال الجاذبية نفس التعجيل الارضي . وكان لاكتشاف غاليلو : حول سقوط الاجسام نحو الارض بنفس التعجيل برهانا غير مباشر على تساوي هاتين الكتلتين .

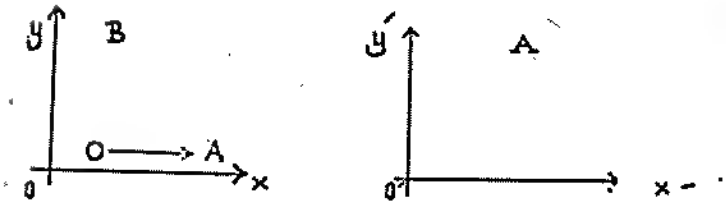
ولبرهنة هذه العبارة ، القوة (F) التي يؤثر بها مجال الجاذبيه G في موضع معين على جسم كتلته m هي :

$$F = m\,G$$

اذن تعجيل الجسم يكون :

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

وهذا يعني ان تعجيل الجسم الواقع تحت تاثير مجال الجاذبيه لايعتمد على كتلته .



الشكل ٣-٤

الآن لنفرض ان هناك مراقبا في المحاور A

التي تتحرك بتعجيل a_0 بالنسبه للمحاورالقصوريه B كما في الشكل (٣ـ٤) فاذا كان تعجيل جسم ما كما يقيسه مراقب في المحاور القصوريه 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 القصوريه يساوي صفراً، اذن تعجيل الجسم الذي يقيسه المراقب في المحاور المعجله هو :

$$a' = - a_0$$

وهذا يعني ، ان جميع الاجسام الحره تظهر للمراقب فيالمحاور المعجله وكان لها تعجيل مشتركا هو a_0 .

وهذه الحاله مطابقه تماماً لمجال جاذبيةشدته

$$G = - a_0$$

فمما تقدم نستنتج ان :

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

ومن مبدا التكافؤ نستنتج ان الجاذبيه والقصور الذاتي هما ليسا خاصتين مختلفتين للمادة وانما مظهرين مختلفين لخاصة كونية اساسيه لجميع المواد .

لنفرض ان هناك مراقباً في عربة قطار يسير على خط مستقيم وبسرعه منتظمه . وكانت جميع نوافذ العربه مغلقه بحيث لايستطيع 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 متاثره بمجال جاذبيه . واذا وضع المراقب

كراته على طاولة في العربه ولاحظ بانها تندفع متدحرجه نحو مؤخرة العربه فهذا يعني : اما ان تكون هناك قوة مجال جذبية جديدة قد سلطت افقياً بإتجاه مؤخرة العربه ، او ان العربه قد عجلت افقيا الى الامام : والتعليل الثاني هو المقبول من الناحيه المنطقيه . مما تقدم يمكننا صياغة مبدأ التكافؤ على النحو التالي :

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

يكوّن هذا النص اساس نظرية النسبيه العامه والتي اعلنها آينشتين في سنه ١٩١٥ .

ويتطلب هذا المبدأ كتابة قوانين الفيزياء بشكل بحيث لاتعتمد على حالة منظومة المحاور الحركية ، وكما رأينا ان فكرة هذه النظريه الاساسيه بسيطه ولكن صياغتها الرياضيه معقده جداً بحيث لايمكن الدخول فيها بهذا الكتيب الثقافي البسيط لكنني ساحاول تقريب هذه الافكار الجديدة الى ذهن القارىء باستخدام الامثله التوضيحيه .

المثال التوضيحي الاول :

يتخيل آينشتين غرفه زجاجيه كبيرة ساكنه على ارتفاع عدة كيلومترات عن سطح الكره الارضيه ، وكان في داخلها المراقب ـ O′ ؛ كما ان هناك المراقب الاخر ـ O الذي اعتبر نفسه ساكناً على سطح الارض وبدأ يراقب الغرفه بواسطة تلسكوب كبير . وعند ترك الغرفه تسقط كجسم حر شاقولياً نحو الاسفل ، سيلاحظ المراقب ـ O انها تتحرك بتعجيل منتظم هو التعجيل الارضي ٩٫٨ متر في الثانيه وان جميع حاجيات O′ تتصرف بنفس الطريقه ، كالتصاوير على جدران الغرفه والسيكاره في فم ـ O′ وكرة المنضده 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 انها لاتحتاج الى مسمار لتعليقها وانما بمجرد وضعها على الحائط تبقى في وضعها . بينما يقول O ان الجدار والصوره يسقطان بنفس السرعه المعجله . وعندما

يرمي /O سيكارته من فمه مع قطعه نقود سيرى بانهما يبقيان دائما في مكانيهما تماما كما تركهما ، بالطبع ، افترضنا ان المراقب ـ /O لايعرف شيئا عن مجال جاذبيه الارض الذي يؤثر على غرفته . كما انه لايلاحظ اية قوى داخل الغرفه تؤثر على الجسمين لذلك بقيا في حالة سكون تماما كما لو كانا في محاور قصوريه . ولكن المراقب ـ O يقول ان السيكارة وقطعة النقود يسقطان جنبا الى جنب بنفس التعجيل ولما كانت الغرفه بجدرانها ، ، ارضيتها وسقفها تسقط ايضا بنفس التعجيل لذلك سيظل بعد الجسمين عن ارضية الغرفة ثابتين لايتغيران . وعندما يعلق /O شيئا ثقيلا بقبانه يلاحظ ان زنه صفراً ، وكذلك عندما يقف على قبان وزن يرى ان وزنه صفراً .

ان جميع هذه التجارب تقنع المراقب ـ /O بأن قوانين الميكانيك الكلاسيكي تتحقق داخل غرفته وتتحرك جميع حاجياته وفقاً لقانون القصورالذاتي ولكن هناك نقطه واحدة تختلف فيها محاور المراقب /O المثبته في الغرفة عن المحاور القصوريه وهي

ان الجسم الذي لاتؤثر عليه قوى فرض انه يتحرك بسرعه منتظمه الى الابد في المحاور القصوريه وان هذه المحاور لاتتقيد بمكان او زمان .ولكن حالة المراقب ـ /O مختلفه لان خاصية القصور الذاتي في محاوره مقصورة على المكان والزمان . فالجسم المتحرك ، سياتي الوقت طال ام قصر ، الذي يصطدم فيه بجسم آخر او جدران الغرفه وعندئذ تتغير سرعته المنتظمه . وسياتي الوقت كذلك الذي ترتطم فيه الغرفه مع سطح الكرة الارضية فيتحطم كل شيء . فمحاور /O اذن عبارة عن صورة مصغرة لمحاور قصورية حقيقيه .

المثال التوضيحي الثاني :

لنتخيل الان ان غرفتنا قد نقلت الى منطقه في الكون معزوله وخاليه من جميع مؤثرات القوى الخارجيه كقوى مجالات الجاذبيه للكواكب ، وان هذه الغرفه قد تحركت ـ بطريقه ما ـ بتعجيل منتظم . فعندئذ سيشعر المراقب ـ /O ان اقدامه تضغط بثبات على ارضية الغرفه ، وعندما يرمي سيكارته ستسقط متسارعه نحو ارضية الغرفه .

يجد ان الاتجاه الافقي عند رمي الكره والموازي للأرضيه باخذ شكلا منحنيا . وعندما يقوم المراقب ـ O/ بإجراء تجارب فيزيائيه معينه يلاحظ ان قانون الجاذبيه العام يتحقق في غرفته وان الكتلتين القصوريه والتثاقليه متساويتان والى آخره . واخير يقتنع بانه يعيش فيغرفته في ظروف اعتياديه وانها ساكنه تؤثر عليها الارض بجاذبيتها . وفي الحقيقه ان المراقب وحاجياته يتحركون مع الغرفه بتعجيل منتظم . فمثلا بمجرد ترك السيكارة يد المراقب تزول عنها القوى ، وحينئذ تخضع لقانون القصور الذاتي فتتحرك بسرعه منتظمه على خط مستقيم تساوي سرعة المنظومة . في الوقت نفسه تقترب ارضية الغرفه نحو السيكارة سرعتها المعجله حتى تصلها بعد فتره زمنيه معينه ، بسبب السرعة النسبية بين السيكارة وارضية الغرفه .

وهنا قد يعتقد المراقب ـ O/ ان السيكاره هي المتحركه وارضية الغرفه ساكنه اوان السيكاره تتحرك الى الاعلى بسرعة منتظمه وعلى خط مستقيم وارضية الغرفة تتحرك بسرعه معجله منتظمه سرعتها الابتدائيه تساوي سرعة 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 لايمكننا تفضيل راي على آخر فكلاهما صحيح .

هنا يظهر مزه اخرى تكافؤ الكتله القصوريه والكتله التثاقليه من الناحيه الفيزيائيه .

المثال التوضيحي الثالث :

لنتخيل ان هناك غرفه مكعبة الشكل تدور حول محور كوني بسرعة منتظمه في فضاء معزول عن جميع تاثيرات مجالات الجاذبية . وان الغرفة متشابهه تماماً بحيث مراقبنا ـ O/ الذي يعيش فيها لايستطيع التمييز بين جدرانها السته ، الا عن طريق نشوء قوة جاذبه تسحبه نحوها . اما مراقبنا ـ O فإنه يرى دوران الغرفه حول المحور الكوني ويعرف ان هناك قوة نابذة نحو الخارج تدفع O/ نحو سطوح الغرفه الداخليه .

المراقب ـ O/ لايعرف بانه في غرفه تدور حول

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

ولكن المراقب ـ O يقول ان المراقب ـ O' ليس في غرفه ساكنه تحت تاثير مجال جاذبيه منتظم لانه في منطقه خاليه من جميع تاثيرات مجالات الجاذبيه . والحقيقه هي دوران الغرفه حول محورها الكوني بسرعة منتظمه خلقت هذه الظروف المشابهه لظروف سطح الكره الارضيه . والقوة

النابذه التي تتولد بسبب هذه الحركه الدورانيه تسلط على كل جسم في الغرفه متناسبة مع كتلته الثقاليه وتدفعه بعيداً عن محور دورانها . كما ان الاتجاه فوق وتحت هو شيء اعتيادي فما نسميه على سطح الارض « تحت » هو اتجاه الجاذبيه وفي الغرفه التي تدور حول المحور الكوني هو اتجاه القوه النابذه . اخيراً يمكننا القول انه لايوجد اعتراض على راي المراقب ـ O او المراقب ـ O' لان كل منهما صادق فيما يقول .

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

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

راينا ان الجسم المعزول عن اي تاثير خارجي يتحرك بسرعه منتظمه وعلى خط مستقيم فيالمحاور القصوريه . اما اذا نسبت هذه الحركه الى محاور تتحرك بسرعه متغيره كان مسار الجسم منحنيا وعند تسليط مجال جاذبيه معين عليه يمكنتحويله مره ثانيه الى الحركه المنتظمه على الخط المستقيم

ويمكن كذلك عكس العمليه ، اي تحويل الحركة المتغيرة على منحني التي يصنعها جسم تحت تاثير مجال الجاذبيه والمنسوبه الىمحاور قصوريه، الى حركه منتظمه على خط مستقيم في محاور حركتها متغيره .

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

المثال التوضيحي الرابع :

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

دار بهذه الحركة ويظن إنه ساكن في الفضاء . واذا شعر المراقب فجاة بقوة تدفعه الى الخلف تاغطه جسمه على المقعد . فهو قد يعلل هذه الحادثه بقوله لقد عجلت حركه الصاروخ فجاة فاندفعت الى الخلف بسبب القصور الذاتي او الاستمراريه او قد يقول ان جرماً سماوياً هائلا قد مر من خلفنا فتاثر 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 ولاتوجد نظريه تؤيد احدهما على الآخر .

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

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

الحركه المتغيره لايمكن ان تكون مطلقه كما اعتقد نيوتن لانه لايمكن التمييز بين الحركه المتغيرة ومجال الجاذبيه .

المثال التوضيحي الخامس :

لنتصور ان هناك قرصاً دائرياً كبيراً حر الدوران حول محور عمودي على سطحه ومارا في مركزه ، وان هذا القرص متواجد في بقعه كونية بعيدة عن تاثير اي مجال جذبي ،وقد ثبتت محاور مرجعيه قصوريه ـ O في البقعه الكونيه واخرى O/ في القرص . ووفقاً لذلك تصح نتائج نظرية النسبيه الخاصه في المحاور ـ O/ لعدم تواجد تاثير جذبي وفي المحاور ـ O عندما تكون ساكنه .

عندما يتحرك القرص حركه دورانيه منتظمه حول المحور المار من مركزه يشعر المشاهد الواقف في مركز القرص بقوه تدفعه نحو محيط القرص . فيفسر المشاهد الساكن في البقعه الكونيه بالنسبه للمحاور ـ O هذه القوه بانها القوه النابذه التي تنشأ عن حركه القرص الدائريه ، بينما المشاهد الذي على القرص والذي لايعرف شيئاً عن حركة

القرص يفسر هذه القوه على انها ناتجه عن تاثير مجال جاذب تختلف طبيعته عن طبيعة المجال النيوتوني . والان ، لوثبت المشاهد الذي على القرص ساعتين متماثلتين واحده منهما في مركز القرص والاخرى على حافته وفي حالة سكون بالنسبه له . يرى المشاهد في المحاور ـ O ان الساعه في مركز القرص ساكنه بينما التي على حافته في حالة حركه بالنسبه للمحاور ـ O بسبب الحركه الدورانيه وعليه يلاحظ ان الساعه التي على حافة القرص تسير ابطأ من التي في مركزه وهذا يتفق تماماً مع مفهوم تباطؤ الزمن في النسبيه الخاصه . ومن البديهي ان المشاهد الذي يقف في مركز القرص الدائر يرى نفس الظاهره . وعندما يضع المشاهد الاخير عدداً من الساعات المتماثله في مواضع مختلفه وبابعاد نسبيه ثابته عن مركز القرص سيلاحظ ان تباطؤ الساعات يزداد كلما ابتعدت مواضعها عن مركز القرص لازدياد سرع هذه النقاط بازدياد ابعادها عن المركز . او بكلام آخر لازدياد مقدار المجال الجاذب . اذن لكل نقطه من نقاط القرص

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

والان لو قام المشاهد على القرص الدائر بقياس محيطه بإستخدام وحدة قياس مساويه في الطول لوحدة قياس المشاهد في البقعة الكونية قبل بدأ القرص بالحركه . سيلاحظ 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 طولهما كان باتجاه حركة القرص بالنسبه لمركزه . وعندما يقيس المشاهد الاول قطر القرص لايعترض عليه مشاهد البقعه الكونيه لان النتيجتين متطابقتين ووحدتي القياس بقيتا 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 .

(٢ـ٥) النسبيه العامه وتحقيقها :

بالرغم من الانتصارات الكبيرة التي احرزها قانون الجاذبيه العام لبناء علم الحسابات الفلكيه ، إلا انه ظهرت اعتراضات كثيرة عليه بسبب فشله في اعطاء تفسير دقيق لبعض الظواهر الكونيه ، وظهور الأفكار الحديثه في نسبية آنيشتين ، بالاضافه الى الجهود المكثفه التي بذلت لجعل هذا القانون يتماشى مع نظرية النسبيه الخاصه التي باءت جميعها بالفشل .

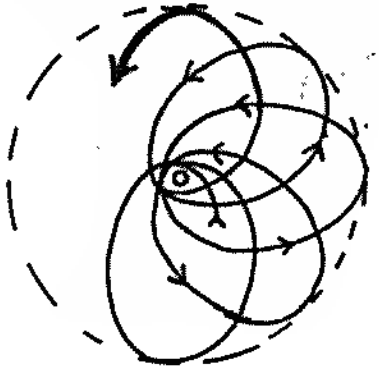
اذا كان قانون الجاذبيه لنيوتن مستنبطاً من نظرية آنيشتين الحديثه لمجال جاذبيه ضعيف فالمتوقع ان ينحرف هذا القانون عن النظريه الحديثه في مجالات الجاذبيه القويه . فمثلا نعلم ان الكواكب السيارة وبضمنها الارض تدور حول الشمس بمدارات بيضويه (قطع ناقص) واقرب هذه الكواكب اليها هو عطارد . اذن قوة التجاذب بين هذا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

الجاذبية العام عن نظرية آنيشتين فسنجده في حركة عطارد .

ينص قانون نيوتن على ان مسار اي كوكب حول الشمس لايختلف عن غيره بعدا عنها ام قربا ولكن شاهد الفلكيون ان مدار عطارد البيضوي لايبقى ثابتا وانما يدور محوره في مستواه حول الشمس فنرسم نهايته دائرة تقع الشمس في مركزها كما هو مبين في الشكل (٣-٥) وان هذه الدوره تستغرق (٥٧٢) ثانيه قوسيه كل مئة سنه . 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 . فعند استخدام معادلات الجاذبيه الجديده في استنباط قانون الجاذبيه العام من جديد ظهر أن 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

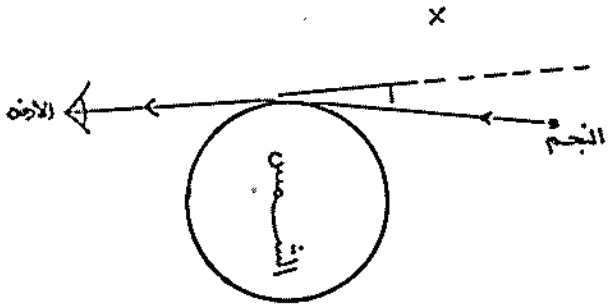
فيه آنيشتين نسبيته العامه وذلك سنة ١٩١٦ ان الاشعه الضوئيه تنتشر في الفضاء بخطوط مستقيمه ان هذه الفكره لايمكن ان تكون صحيحه لان



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

ضوئي من نجم بعيد يجب ان ينحني عند مروره في مجال جاذبية الشمس كماتنبأت رياضيات 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 آنيشتين وتم



الشكل ٣-٦

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

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

تنبأت النسبيه العامه كذلك بتاثير سير الساعات عند اختلاف مجال الجاذبيه الذي تتواجد فيه ، فمثلا قال آنيشتين ان الساعه المتواجدة 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 كساعة ، يستخدم طول الموجه المنبعثه منها كوحدة لتغيير الزمن . ووفقا لنظريه النسبيه العامه يجب ان يكون طول الموجه المنبعثه من ذرة الصوديوم على سطح الشمس اكبر قليلا من طول موجة ذرة الصوديوم المتواجدة على

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

وفي عام ١٩٢٧ تمكن العالم آدم من اثبات صحة هذه النظريه عندما اجرى تجاربه على الطيف المنبعث من نجم رفيق الشعرى اليمانيه ، وقد اختير هذا النجم لصغر حجمه ، فهو مساو لحجم الكره الارضيه ، 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 للنظريه النسبيه العامه.

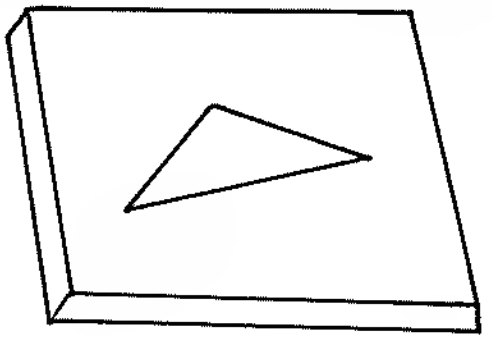
(٣ـ٦) الجاذبيه وانحناء الفضاء :

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

لنفرض ان هناك مخلوقات تتمكن من رؤية بعدين فقط ، اي انها تعيش على سطح ولايمكنها

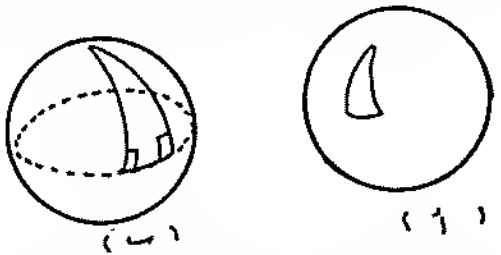
رؤية البعد الثالث . والسؤال الآن : كيف تستطيع هذه المخلوقات ، معرفة شكل السطح الذي تعيش عليه ؟ هل هو مستو ام منحنى دون الخروج منه ومشاهدته عن بعد ؟ والجواب على هذا السؤال هو : عليها رسم اشكال هندسية متنوعه على السطح الذي تعيش فيه واجراء بعض القياسات عليها .

فاذا رسمت هذه المخلوقات مثلثا وقاست زواياه وكان مجموعها ١٨٠ درجه استدلت ان سطحها مستوياً وفق قوانين الهندسه الاقليديه كما في الشكل (٣ـ٧) . اما اذا كان مجموع زوايا المثلث اكبر من ١٨٠ درجه فان سطحها كروي الشكل كما في الشكل (٣ـ٨) وان خير مثال على هذا



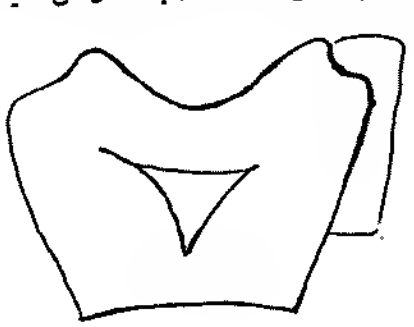
الشكل ٣ ـ ٧

النوع من هذه المثلثات هما اللذان يكونان نصفي خطي زوال كرة عندما يقطعا خط الاستواء بزاويتين قائمتين كما في الشكل (٣ــ٨ب) لان عند اضافة



الشكل ٣ ــ ٨

الزاوية القطبية لهما يكون الناتج حتما اكبر من ١٨٠ درجه وكلما صغر المثلث الكروي قارب مجموع زواياه من ١٨٠ درجه ولكن لايساوي



الشكل ٣ ــ ٩

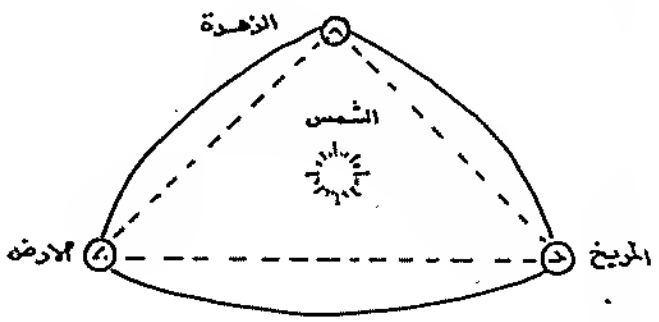
مجموعها ١٨٠ درجه ابداً ولابد ان يكون هناك فرقاً مهما صغر . وفي حالة رسم : مثلث وكان مجموع زواياه اقل من ١٨٠ درجه كان السطح ركابياً كما في الشكل (٣ ــ ٩) .

ويصطلح عادة على السطح الكروي بتحدب موجب بينما على السطح الركابي بتحدب سالب .

يمكننا اجراء بعض الدراسات على فضائنا الذي نعيش فيه بنفس الطريقه اي بإستخدام 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 درجه فالفضاء مستو ، واذا كان مجموعها اكبر من ١٨٠ درجه فهو كروي اي موجب التحدب ، اما اذا كان مجموع زواياه اقل من ١٨٠ درجه فهو ركابي اي سالب التحدب.

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

ولما كانت الاشعه تنحني بسبب تاثير مجال جاذبية الشمس مبتعدة عنها كما في الشكل (٣ــ١٠) . لذلك مجموع زوايا المثلث هو اكبر من ١٨٠ درجه كما يرصدها الفلكيون وعندئذ يستنتجون ان الفضاء المحيط هو فضاء منحن موجب التحدب . وعند اعادة التجربه باستخدام المشتري وزحل وارنيوس ، والتي ابعادها اكبر من ابعاد المجموعه الاولى بالنسبه للشمس وعليه يجب ان يكون إنحناء الاشعه الضوئيه تحت تاثير مجال جاذبية الشمس



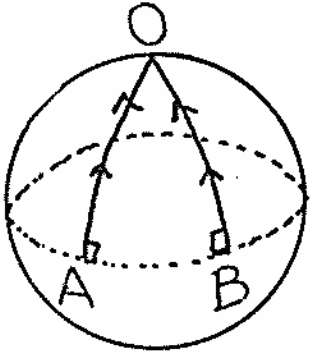
الشكل ٣ ـ ١٠

اصغر من الحالة الاولى ولذا يكون مجموع زوايا المثلث مقارباً الى ١٨٠ درجه وهذا يعني ان تحدب الفضاء حول الشمس يقل بازدياد البعدعنها .

وقد يعترض القاريء فيقول ان هؤلاء الفلكيون لم يقيسوا مثلثاً منتظماً لان اضلاعه غير مستقيمه ؟ ولكن ما هو الخط المستقيم ؟ ان تعريف الخط المستقيم المقول 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 دائما اقصرالطرق . نستنتج مما تقدم ان الخطوط المتصله في الشكل (٣ــ١٠) يجب ان تعتبر بمثابة خطوط مستقيمه في الفضاء المحدب وان الخطوط المنقطه ليس لها معنى . ولكن نتجنب الخلط بين التعاريف ؛ فلفظ « خط مستقيم » لايستخدم إلالدلاله 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 نظرية الخطوط المستقيمه المتوازيه لاتتقاطع ابداً ، لانه يجب ان تتقاطع اي دائرتين عظيمتين في اية كرة بنقطتين . فمثلا لو بدات طائرتان من نقطتين مثل A و B

على خط استواء الكره الارضيه ،وسارتا في اتجاهين متوازيين فإنهما حتما ستتصادمان في قطب الكره الارضيه كما في الشكل (٣-١١) ويقول آنيشتين ان الضوء ينتشر في المناطق الكونيه الخاليه من اية ماديه جاذبه بخطوط كونيه مستقيمه وهي متصلات اقليديه ذات اربعة ابعاد ، تصح فيها نتائج نظرية 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 ٣ - ١١

لشرح مفاهيم آنيشتين بصوره مبسطه حول الجاذبيه نبدا بالمثال التالي :

لنفرض اننا نراقب كرة بليارد صغيره تتدحرج على سطح افقي وتسير بخط مستقيم ، فاذا صادف وجود منطقه منخفضه في المستوي وصادفت الكره بروزا في طريقها فإنها سوف تتجه بطبيعة الحال نحو المنخفض . ولكننا لو رصدنا حركة الكره من مسافه بعيده فإننا سوف لانرى المنخفض او البروز ولكن نقط حركة الكره وهي تسير بمسارات مستقيمه ومنحنيه وعندئذ نستنتج ان هناك قوة جاذبه او نافره تؤثر من نقطه معينه في المستوى على الكره فتحيدها عن طريقها . ولهذا السبب نجد ان نيوتن عندما رصد من بعيد حركة الكواكب والنجوم ، قال لابد من وجود قوة تسبب هذه الحركات .

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

توصل آنيشتين الى اكتشاف مفاهيم جديده حول الجاذبيه تعتمد على فكرة انحناء الفضاء حول الاجسام الماديه المتواجدة فيه واستعان برياضيات ريمان الذي سبقه بعشرات السنين في وضع نظريته العامه عن الفضاء المنحني ذي الابعاد الاربعه، وكانت حصيلة ابحاثه التوصل الى علاقات تربط انحناء المتصل المكان ــ الزماني وتوزيع الكتل الماديه وحركتها في الفضاء . واثبتت ان قوانين نيوتن ماهي إلا تقريب لنظريته ولما كانت الفوارق طفيفه جداً في شكلها اعطت هذه النتائج المذهله عندما استخدمها العلماء طيلة القرون الماضيه .

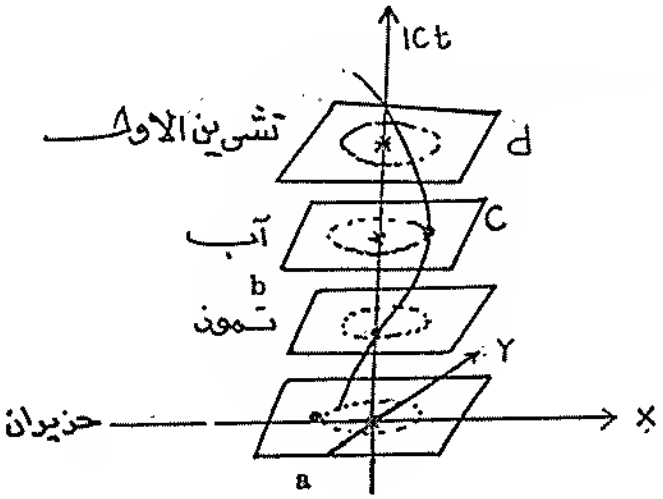
ترى نظرية النسبيه العامه ان الفضاء ، غير متشابه او متجانس وهو غير مادي . يتحدب بإبعاده الاربعه حول الكتل الماديه مكوننا مجالا جاذباً ، ويزداد هذا التحدب كلما كبرت كتلة الجسم الماديه . وعلى سبيل المثال ، التحدب حول الارض اكبر منه حول القمر . ويتناقص التحدب وبالتالي مجال الجاذبيه بالتدريج شيئا فشيئا كلما ابتعدنا عن مراكز الاجسام الماديه بحيث تتلاشى الفواصل بينه وبين بقية الفضاء . ولما كان التحدب يساوي صفراً في مراكز هذه الاجسام ، لذلك مجال الجاذبيه فيها يساوي صفراً ايضاً . وتختار

الكواكب في حركتها الدورانيه اسهل المدارات والمسالك التي تحددها كتلها المادية في متصل المكان ــ الزماني ذي الابعاد الاربعه .

يمثل الشكل (٢ــ١٢) الخط الكوني abcd لحركة الارض وهو اقصر مسافه بين نقطتي الحدثين a و d . وينحني الخط بالقرب من الشمس بسبب تاثير مجال جاذبيتها ، ويمثل مسقطه على المستوي ــ xy مسار الارض حول الشمس بمداراتها البيضويه . امابعد الزمن فيمثله المحور الشاقولي ict والذي يتغير مع الحركه.

وهكذا نرى ان اية بقعه في الكون يمثلها متصل المكان ــ الزماني ذو الابعاد الاربعة . وعند تواجد مجال جاذبية فيها ، حقيقاً كان ام ظاهرياً فإنه يكافيء التعجيل الذي تحدده حالة المشاهد الحركيه وكما راينا في مثال سابق ان سير الساعات واطوال المسافات يتغيران وفق مواضعها في مجالات الجاذبيه المختلفه .

هذه المفاهيم الجديده والتي تتعارض مع مفاهيم النسبيه الخاصه دفعت آنيشتين الى تعميم



الشكل ٢-٢

الاخيرة الى نظريته العامه والتي تعتمد الهندسة اساساً لها بدلا من المفاهيم الفيزيائية البحته .

(٢-٧) النسبيه وطبيعة الكون :

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

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

لقد وضع علماء كثيرون قبل آنيشتين نماذج كثيرة لوصف شكل الكون وحدوده ولكنها لم تلق نجاحاً يذكر : إما لعدم تمكن المراصد الفلكيه من تحقيقها ، او لانها اهملت لعدم استنادها على اساس علمي قويم . ومن اهمها نموذج نيوتن الذي اعتمد قانونه في الجاذبيه اساساً لدراسة طبيعة الكون الذي نعيش فيه ، وقال ان الكون يتكون من جميع النجوم والمجرات مجتمعه في مركزه وتسبح في فضاء يملؤه الاثير كجزيرة عالمه في وسط فضاء خال من كل شيء وكان الاعتراض على هذا النموذج هو ان النجوم تشع الضوء والحرارة بإستمرار

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

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

بنى آنيشتين نموذجه في دراسته لشكل الكون وطبيعته على مفاهيم النسبيه العامه ، ولاعطاء فكرة مبسطه لنتائج معادلاته المعقدة علينا استخدام شيء من التصور والخيال .

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

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

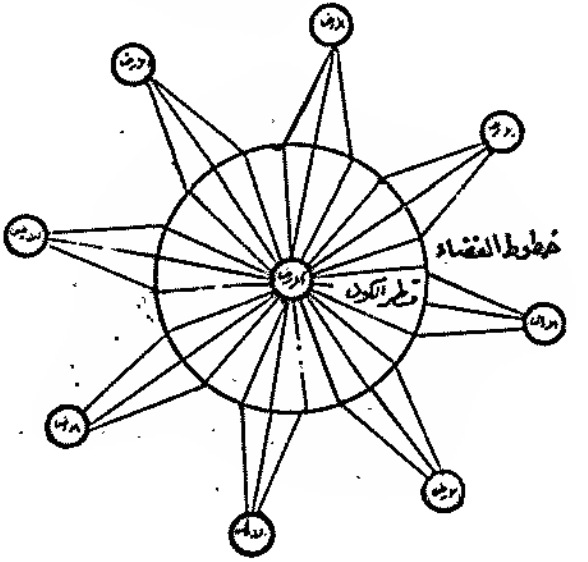
لنفرض اننا وضعنا مخلوقة واحده فقط من مخلوقاتنا داخل كرة مجوفه وخاليه من اية مادة ، فعالمها سيكون « منتهياً ومحدوداً » لان حجم الكره محدود والمخلوقه لاتستطيع مواصلة السير في خط مستقيم الى مالانهايه لان جدار الكره الداخلي سيمنعها من ذلك . ولما كانت تعيش في عالم ذي ابعاد ثلاثة فبإمكانها الحركه الى الاعلى والاسفل ايضاً . ولنفرض الآن انمجموعة 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 مجموعة هذه المخلوقات . ونتيجة لذلك لو نظرت احدى هذه المخلوقات بإتجاه معين في الفضاء بعيداً عن رفيقاتها فإن خط نظرها سوف ينحني عائداً مرة اخرى نحو رفيقاتها فتراها دائما امام عينيها 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 ، مغلق على نفسه ، ثابت الحجم ، المادة فيه موزعة توزيعاً عادلا ، ينحني على الكتل الكونية فيه بإبعاده المكانيه الثلاثه ، والزمن بعده الرابع يسير باتجاه خط مستقيم لايشارك 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 ويعكس اتجاهه بحيث يعود الى نفس النقطة التي بدأ منها . وهذا يعني لو تصورنا ان رائد فضاء بدأ رحلته من الارض وسار بإستمرار باتجاه احدى الخطوط الفضائيه وهي الخطوط التي يتخذها شعاع الضوء مساراً له ، كما هو مبين في الشكل (٢-١٣) والذي تظهر الارض في وسطه ـ ولو ان هذا لايعني ان الارض هي فعلا مركزاً للكون ـ . سيلاحظ

الرائد خلال سفرته انه يبتعد 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



في وسط الشكل وتظهر للرائد وكانها صور مكررة لها . وعندما ينزل الرائد على الارض بعد ان مرت سفرته دون ان يصادف حواجز طبيعيه يجد انها فعلا نفس كرتنا الارضيه التي بدأ منها سفرته . ووفقاً لذلك نقول ان الكون الذي نعيش فيه غير محدود ولما كانت رحلة الرائد قد انتهت بعد مضي فترة زمنيه معينه فالكون منته ، والكون مقفل على نفسه لان الرائد عادالى نفس النقطه التي بدأ منها سفرته .

استنبط آينشتين علاقه لنصف قطر الكون حيث وجد انه يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لمعدل كثافة المادة في الفضاء . وكان تقديره لنصف قطر الكون وفق هذه النظريه هو ٢ × ٢٢١٠ ميل .

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

المجرات في هذا الكون تهرب من بعضها البعض بسرعة عاليه جداً وصورها بنقاط على سطح كرة مطاطيه يكبر حجمها بإستمرار ،اي ان الكون الذي نعيش فيه في حالة تمدد سريع . لقد وضعت نماذج عديده في السنوات الاخير عن شكل الكون وكلها تتضمن فكرة تمدده ،ولكن لحدالان لايوجد نموذج مبني على اساس علمي متين . وقد يأتي المستقبل بإكتشافات جديدة حول شكل الكون وحدوده لان قافلة العلم تسير دون توقف ولاتابه بأي نوع من العقبات .

(٣–٨) نظرية المجال الموحد :

بعد النجاحات العظيمه التي حققها آينشتين في جعل الزمان رفيقاً لاحداثيات المكان وفي تفسير قوى مجال الجاذبيه على انها نتيجة لانحناء الفضاء ومكافئة الكتله والطاقه بقيت قوى الكهربائية والمغناطيسيه خارج اطار الفكرة الهندسيه . وعليه بدا يبحث عن قانون عام ليكون اساسا لجميع قوانين القوى الفيزيائيه المعروفه وهي :

اولا : قانون الجذب العام لنيوتن :

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

والذي سبق شرحه في البند (٣–٢) .

ثانيا : قانون كولوم : والذي ينص على ان الشحنات الكهربائية تتجاذب او تتنافر بقوة يعبر عنها بالعلاقه التاليه :

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

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

ثالثا : قوة التجاذب او التنافر بين قطبين مغناطيسيين هي

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

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

عند مقارنة المعادلات الثلاث الآنفة الذكر نجد بالرغم من انها تعبر رياضياً عن ثلاث ظواهر مختلفه إلا انها متشابهه في صورها . ان قوى الكهربائيه والمغناطيسيه جذبيه وتنافربه 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 جذبيه فقط .

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

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

فشل في جعل الفيزياء علماً هندسياً ، واخيراً ازداد اهتمامه وانشغاله بمسالة السلام العالمي ، وقد بقي حتى آخر ايام حياته حاد الذهن كما كان ، وكانت وفاته سنة ١٩٥٥ ، بعد ان اثبت للعالم اجمع قدرته وقابليته العمليه الفائقه ونظرته الشامله لحل ومعالجة مشاكل الفيزياء المستعصيه دون التقيد بما هو مالوف من مفاهيم وبما اعتادت عليه البشريه في ذلك الوقت .

اخيراً آمل ، ان يكون القاريء قد امضى وقتاً ممتعاً بعد قراءة هذا الكتاب ، وابقن ان مفاهيم النسبيه ليست بتلك الصعوبه والتعقيد ولامستحيلة 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 الجديدة محل القديمة لدى الناس ، ونخص المتعلمين منهم . لان تغيير عاداتنا الفكرية الكلاسيكيه له اهمية كبيرة في بناء مستقبلنا العلمي .

1. A. P. French, Newtonian Mechonics 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).

المحتويات

الصفحه

١ ـ نسبية نيوتن وغاليلو . ٤

١ـ١ . الفضاء والزمن ١ـ٢ . الفضاء والابعاد الثلاث للهندسه الاقليديه ١ـ٣ . الحركه والسكون ١ـ٤ . قانون القصور الذاتي ١ـ٥ . الكتله القصوريه والزخم الخطي ١ ـ ٦ . بحث تحليلي لمفهوم القوه ١ـ٧ . نسبية نيوتن وغاليلو

٢ ـ نسبية آينشتين الخاصه ٣٣

٢ـ١ . مقدمه ٢ـ٢ . فرضيتا آينشتين ٢ـ٣ . تحويلات لورنتز ٢ـ٤ . نتائج تحويلات لورنتز ٢ـ٥ . تكافؤ الكتله والطاقه ٢ـ٦ . مفهوم التواقت او الآنيه ٢ـ٧ . متصل المكان ـ الزماني ٢ـ٨ . الماضي والحاضر والمستقبل .

٣ ـ نسبية آينشتين العامه ٦٩

٣ـ١ . مقدمه ٣ـ٢ . قانون الجاذبيه العام لنيوتن ٣ـ٣ . مجال الجاذبيه ٣ـ٤ . مبدا التكافؤ ٣ـ٥ . النسبيه العامه وتحقيقها ٣ـ٦ . الجاذبيه وانحناء الفضاء ٣ـ٧ . النسبيه وطبيعة الكون ٣ـ٨ . نظرية المجال .

صدر من الموسوعة الصغيرة

١ ـ العرب والحضارة الاوربية .
د . فيصل السامر

٢ ـ فلسفة الفيزياء
د . محمد عبداللطيف مطلب

٣ ـ الحقيقة الاشتراكية لحزب البعث العربي الاشتراكي الفكر والتطبيق
عزيز السيد جاسم

٤ ـ قضايا المسرح المعاصر .
سامي خشبة

٥ ـ الصناعات البتروكيمياوية ومستقبل النفط العربي
د . محمد أزهر السماك

٦ ـ الثورة والديمقراطية
صباح سلمان

٧ ـ دانتي ومصادره العربية والاسلامية
عبدالمطلب صالح

٨ ـ الطب عند العرب
د . عبداللطيف البدري

٩ ـ انغولا ... الثورة وابعادها الافريقية
حلمي شعراوي

١٠ ـ معالجات تخطيطية لظاهرة التحول الحضري
د . حيدر كمونة

١١ ـ مصادر الطاقة
د . سلمان رشيد سلمان

١٢ ـ التراث العربي كمصدر في نظرية المعرفة والابداع في الشعر العربي الحديث
طراد الكبيسي

١٣ ـ التقدم العلمي والتكنولوجي ومناسبته الاجتماعية والتربوية .
د . نوري جعفر

١٤ ـ الثقافة والتنظيمات الشعبية
عبدالغني عبدالغفور

١٥ ـ العوامل المحفزة لنمو الدخل القومي
د . كاظم حبيب

١٦ ـ فن كتابة الاقصوصة
ترجمة : كاظم سعدالدين

١٧ ـ الاعلام والاعلام المضاد
صاحب حسين

١٨ ـ استثمار المواد الكيماوية والعضوية الملوثة للبيئة
د . طارق شكر محمود

١٩ ـ مساهمة العرب في دراسة اللغات السامية
د . هاشم الطعان

٢٠ ـ الانسان ـ اخر المعلومات العلمية عنه
ترجمة واعداد : كامران قره‌داغي

٢١ ـ كتابة الشعر في المدارس

ترجمة : طه ياسين حافظ

٢٢ ـ من عصر البخار الى عصر الليزر

د . اسامة نعمان

٢٣ ـ الاتصال والنخبة الثقافية

هادي نعمان الهيتي

٢٤ ـ المدخل الى الفكر الفلسفي عند العرب

د . جعفر آل ياسين

٢٥ ـ الصهيونية ليست حركة قومية

بديعة امين

٢٦ ـ الدفاع المدني الشعبي

صالح مهدي عماش

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد
١٣١٢ لسنة ١٩٧٨

دار الحرية للطباعة ـ بغداد ١٣٩٨هـ ـ ١٩٧٨م