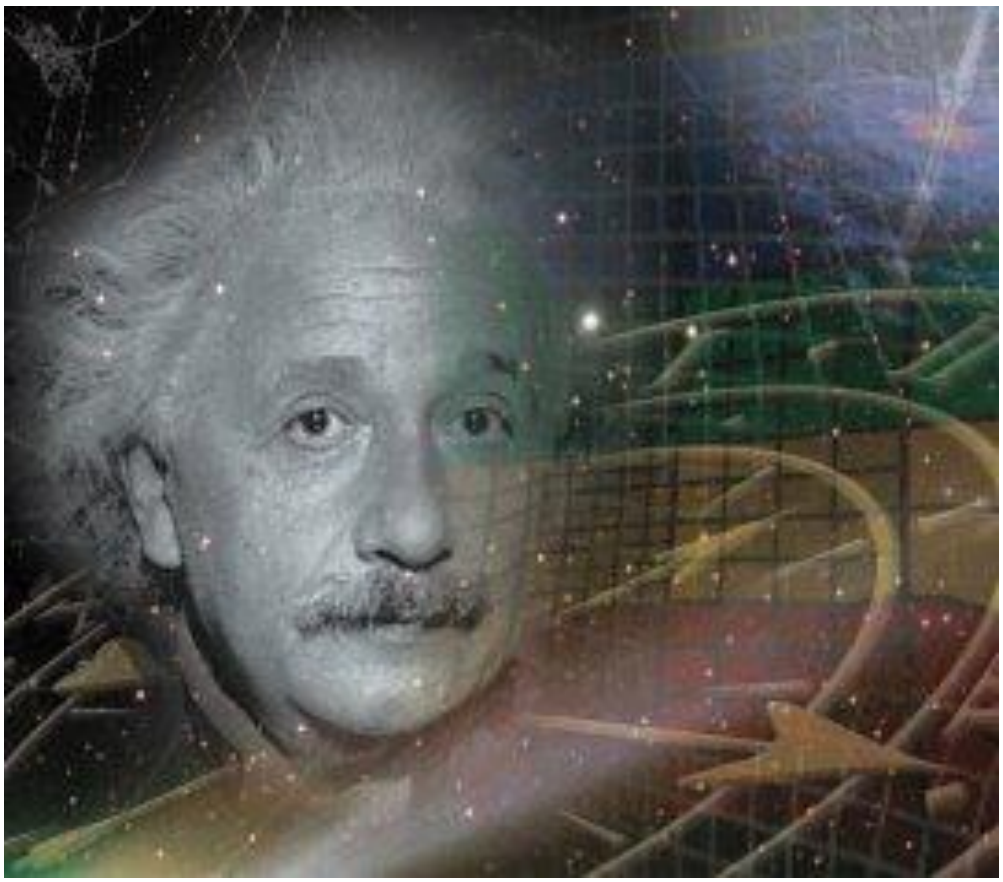
إصدارات مدونة عيون المعرفة

http://knoweyes.blogspot.com

الزمن منذ العصور القديمة إلى اينشتاين

المهندس/ عبدالحفيظ احمد العمري



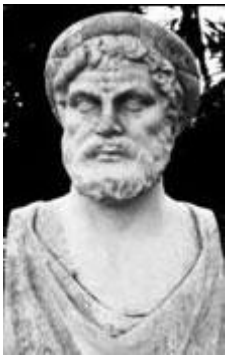
الزمان قبل اينشتاين

ما هما المكان والزمان؟ هل يوجدان مطلقين، أم نسبيين فقط إلى المادة؟ هل يشكلان خلفية ثابتة أو المسرح الذي تجري عليه دراما الحياة حتى النهاية - أو أنهما يشاركان في الأحداث؟ هذه الأسئلة هي قديمة قدم الفلسفة نفسها.

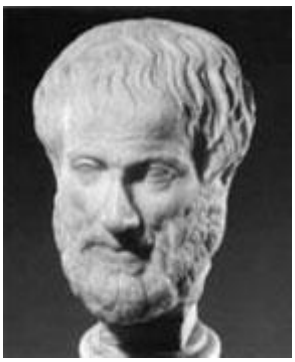
في العصور القديمة الكلاسيكية

رأى الفيلسوف الرواقي زينون **Zeno** من إليا **Elea** ، مؤلف مفارقات زينون (٤٩٠-٤٣٠ قبل الميلاد) (١) ، أن المكان والزمان زائفان لأنهما يمكن أن لا يعملا بواسطة المادة. كانت هذه الحجج ميتافيزيقية بحتة بالمرة.

كانت رؤية زينون صورة متطرفة للنظرة النسبية للفضاء (الفضاء موجود بقدر ارتباطه بالمادة). في الواقع ان مفهوم "الفضاء الخالي" كان تناقضا في الشروط، لأنه إذا كان الفضاء فارغا حقا انه سيكون لا شيء وبالتالي غير موجود ، والعكس أو النظرة المطلقة ذلك أن الفضاء يوجد بشكل مستقل عن المادة، ويمكن تتبع اثار ليوقبوس **Leucippus** (موجود ٤٥٠ قبل الميلاد) ، وأول الذريين اليونانيين (في وقت لاحق الابقوريين)(٢) ، الذي عرض مفهوم الفراغ الموجود مسبقا كفراغ "بين الذرات". البيان الاقدم وجودا لوجهة النظر المطلقة نسبه ماكس جامر (في كتاب مفاهيم في الفضاء عام ١٩٥٤) إلى ارخيتاس **Archytas** الفيلسوف الفيثاغوري (٤٢٨-٣٤٧ قبل الميلاد) بقوله: "لأن كل شيء يتم تحريكه يكون متحركا الى مكان معين ، فمن السهل أن المكان الذي يوجد فيه شيء يتحرك أو سيتحرك يجب أن يكون موجودا أولا. "



قدّم أرسطو **Aristotle** (٣٨٤-٣٢٢ قبل الميلاد) رأيا دقيقا وحريصا لكنه خليط من وجهات النظر النسبية و المطلقة. هو كان رافضا لأسلافه وكتب (في الكتاب الرابع للفيزياء) : "إننا نواجه صعوبات عندما نحاول أن نقول بالضبط لشيء هو "مكان"... كما انه لا بوادر لي لا قدم أي شيء ، أو حتى طرح أي سؤال حول هذا الموضوع ". وقبِلَ حجج مماثلة لارخيتاس **Archytas** ، ولكن كان مستاء للغاية من الفكرة الذرية للفراغ " نظرا لأنها لا تعطى أفضلية لنوع من الحركة أكثر من آخرى ما دام الفراغ في حد ذاته غير قادر على التمييز. .. كيف [اذن] يمكن أن يكون هناك أي حركة طبيعية في فراغ بلا تمييز لا حد له ؟ " للالتفاف على هذه الصعوبة أرسطو وضع فكرة ذكية هي أن تحديد الفضاء بما يحتوي عليه. قاد بهذه الفكرة المؤثرة إلى تصوره عن كون يمتلك اطار مرجعي الذي تم تحديده من قبل سماء النجوم الثابتة أعلاه ، ومركز الأرض أدناه : "إن مركز الكون والسطح الداخلي للسماوات الدوارة تشكل العليا 'أدناه' والعليا 'فوق' ، والمشكل يكون مستقرا تماما ، والثابت الاخير في موقعه جملة ".



أواخر العصور القديمة إلى العصور الوسطى

طبيعة الوقت فضلا عن الفضاء نوقشت بشغف بهذه الطريقة من قبل القدماء. الفيلسوف الأبيقوري لوكريتيوس **Lucretius**(٩٩-٥٥ قبل الميلاد) ربما يكون أول من جادل بصراحة وجهة النظر النسبية للزمن وكتب في كتاب طبيعة الكون أن :"الزمن في حد ذاته لا وجود له... ويجب أن لا يدعي أي شخص انه يمكن الشعور بالزمن في حد ذاته بصرف النظر عن حركة الأشياء. "

وضّح كلوديوس بطليموس**Ptolemy**(٨٥-١٦٥م) اساسا نظام لأرسطو ،وذلك باستخدام حركات دائرية فقط ، وبسرعة منتظمة من أجل "إنقاذ الظواهر" في وجه الملاحظات الدقيقة على نحو متزايد. الطريقة التي عملها تؤكد المطلق - بمعاكسة المظهر النسبي لتفكير أرسطو - والتي استبقت مبدأ ماخ إلى حد ما ، ان "إطار النجوم الثابتة" أو "مركز الأرض" يمكن ان تعتبر انها فقط مادة. تبنّى فكرة مبكرة لهيبارخوس **Hipparchus** أولا بإزاحة مركز "مدار الشمس" عن مركز الأرض ("لا مركزية")، ثم أضاف في وقت لاحق الكوكبي "**deferents**" و"أفلاك التدوير" وأخيرا "**equants**" – وهي كل النقاط المختارة أو المنحنيات في الفضاء الخالي (بعضها حتى مع حركاتها الخاصة بها). انه يرجع ربما مثل هذه "نقاط الفراغ " لمواقع محددة أو حركات محددة نسبة إلى نوع من الأمر الإلهي يتخلل الفراغ ، لأنه كتب في (المجسطي) : "إن السبب الأول للحركة الأولى في الكون - إذا ما أخذنا في الاعتبار ببساطة - يمكن التفكير فيه باعتباره من إله خفي وساكن ". إذا كان الأمر كذلك ،

فان بطليموس سبق نيوتن الذي سيشير إلى فضاء مطلق بعد عدة قرون لاحقة (في البصريات) بلفظة دماغ "Sensorium" الالهة.

وضع القديس أوغسطين (٣٥٤-٤٣٠) تحولا لاهوتية على حجة لوكريتيوس لطبيعة نسبية الزمن في اعترافاته *Confessions* ، مؤكدا ان" الله خلق العالم بزمن، وليس في زمن". جاء الزمن إلى حيز الوجود جنبا إلى جنب مع هذه المادة ، وبعبارة أخرى ، انها وجهة النظر التي بشّر بها بشكل مثير علماء الكونيات اليوم ان أحدا قام بالانفجار العظيم.

سادت وجهات نظر أرسطو كل الانحاء في معظم هذه الفترة ، ولكن كان هناك اعتراض من قبل المفكرين الأحرار مثل جون فيلوبونوس John Philoponus(٤٩٠-٥٧٠) ، الذي جادل بصورة مطلقة وأكثر براءة وقاوم بشكل خاص ضد فكرة أن تعريف الفضاء بطريقة ما على ما هو يحتويه : "المكان أو الفضاء ليس جزءا من الجسم المجاور المحيط به... إنه [أي

المكان] مفترض وقابل للقياس في ثلاثة أبعاد ، بل هو مستقل عن الاجسام فيه ، ويكون بسبب طبيعته معنوي ، بعبارة أخرى ، إنه أبعاد لوحدها ، خاليا من أي جسم. "

الثورة العلمية

نقل نيكولاس كوبرنيكوس Nicolaus Copernicus (١٤٧٣-١٥٤٣) مركز كون أرسطو من الأرض إلى الشمس. هذا الانتقال لم يكن ، مع ذلك ، من الجرأة كما كان يعتقد لكثير من الأحيان ، فان هيبارخوس وبطليموس قد نقلا بالفعل " مدار" الشمس بعيدا عن مركز الأرض (عن طريق إدخال "اللامركزية"). كما أشار كوبرنيكوس نفسه تقريبا في بداية كتاب دوران الاجرام السماوية De Revolutionibus : "لا شيء يمنع الأرض من التحرك ... لأنها ليست وسط الدورات جميعا". علاوة على ذلك على الرغم من أنه إعادة مركزية الكون بشكل حركي إلى الشمس فهو لم يربط الفضاء بشكل داينميكي إلى الإطار الساكن للشمس أو أي جسم أخر ، ولكنه تابع أرسطو في ربط ذلك بشكل غيبي مع "نطاق النجوم الثابتة"(فكتب) يقول عنها: "التي تحتوي على نفسها وكل شيء ، وبالتالي فهي ثابتة ، ومما لا شك تكون مكان الكون ، ويتم مقارنة موقع وحركة كل الأجرام السماوية الأخرى بها".

بعد خمسين سنة لم تعد الملاحظات الفلكية يمكن أن تتوافق مع مفهوم مدارات الكواكب الجامدة ، مما يؤدي ان يعلن يوهانس كبلر Johannes Kepler(١٥٧١-١٦٣٠) : "من الآن فصاعدا الكواكب تتبع مساراتها خلال الأثير مثل الطيور في الهواء ، وعلينا أن نتحدث بالتالي عن هذه الأشياء بشكل مختلف ". مثل هذه الأفكار قادته إلى فكرة جوهرية ربط

الإطار الساكن للفضاء بالأجسام الطبيعية بدلا من تركيبات غيبية (كبلر تصور القوى تمتد إلى الخارج من الشمس وتجتاح الكواكب على طول مداراتها). قوانين حركة الكواكب التي اشتقها كبلر في وقت لاحق ذات خصائص كما يقول بربور جوليان في كتاب (اكتشاف الداينميكا ١٩٨٩،) يمكن اعتبارها" انتصار ما قبل الماخية **pre-Machian** لمبدأ ماخ".

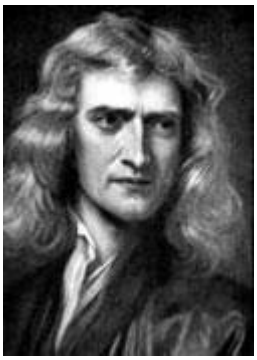
تحول مماثل في التفكير لكن بسيط مؤثر على جاليليو جاليلي (١٥٦٤-١٦٤٢) فبدلا من تحديد النجوم الثابتة مع الإطار الساكن للفضاء بالمعنى المجرد هو أكد (في المحاورات **Diálogo**) أنها بشكل طبيعي في السكون في الفضاء : " النجوم الثابتة (التي هي شموس كثيرة) تتفق مع شمسنا في التمتع بسكون ابدي ". ومع ذلك لم يستفسر جاليليو ايضا عن الكيفية التي يمكن بها تعريف هذا الوضع من"السكون" ، وكيف يبدو، أنه (أي جاليليو) تبنّى دون وعي وجهة النظر المطلقة للفضاء، في الواقع كان جاليليو هو أول من استخدم مصطلح "حركة مطلقة" بشكل فعلي في نظريته عن المد والجزر. آمن رنيه ديكارت **Réné Descartes** (١٥٩٦-١٦٥٠) ضمنا بالفضاء المطلق أيضا ، واستخدم ذلك المفهوم للتوصل إلى شيء يشبه الى حد بعيد في نهاية المطاف قانون نيوتن الاول للحركة، لكنه بعد ان علم بمحاكمة جاليليو من قبل محاكم التفتيش ، هو اجّل نشر نتائجه لأكثر من عقد من الزمان ومهد لها (في مبادىء الفلسفة **in the *Principia Philosophiae***) بالتنصل عن التصريح ان كل حركة كانت نتيجة لذلك نسبية! وربما كان أول من قرر كلا من وجهات النظر المطلقة والنسبية في الوقت نفسه.

دلو نيوتن

كان اسحق نيوتن **Isaac Newton** (١٦٤٣-١٧٢٧) غير راضٍ عن هذا التضارب وشكا في الجاذبية (***De Gravitatione***) انه كل الحركات نسبية حقا كما قال ديكارت ، اذن "يترتب على ذلك ان الجسم الذي يتحرك لا يوجد لديه سرعة محددة ولا خط واضح في التحركات تلك ". و إلى حد ما - لإزالة أي لبس من هذا القبيل- انه انتقل الى التعبير نفسه ذلك بشكل قاطع في هذه الأسطر من المبادئ الشهيرة : "الزمن المطلق والرياضي و الحقيقي ، في حد ذاته خاصية من طبيعته ان يتدفق برصانة دون أي علاقة بأي شيء خارجي ... الفضاء المطلق ، في طبيعته الخاصة دون أي علاقة بأي شيء خارجي و يبقى متماثل دائما وساكن ". واضاف ان وجود الفضاء المطلق يمكن أن يبدي وجوده بتعليق دلو من الماء بحبل وتدويره .

حقيقة أن لسطح الماء تقعر في الشكل تدريجيا مفترض يظهر أنه يدور بالنسبة إلى شيء ما ، فكيف لشيء آخر إن يعرف ماذا يفعل؟ هو برهان على حقيقة الفضاء ، التي بعبارة أخرى ، يمكن أن تكون موجودة في القصور الذاتي للمادة.

الناقد الأكثر شدة لنسبية نيوتن كان عالم الرياضيات والفيلسوف جوتفريد لايبنتز **Gottfried Leibniz**(١٦٤٦-١٧١٦) الذي رد قائلا - في حوار مع تلميذ نيوتن صمويل كلارك – " الفضاء ليس شيئا آخر ولكن أمر وجود الأشياء وملاحظتها كتواجد معا ، لذلك فقصة الكون المادي المحدود والمتحرك قدما في فضاء خالي لانهائي ، لا يمكن قبولها... مثل هذا التصرف سيكون من دون اي تصميم فيه : أنه سيعمل من دون أن يفعل أي شيء... هناك لا يمكن أن يحدث أي تغيير الذي يمكن مراقبته من قبل شخص على الإطلاق ".



والبيان الأكثر وضوحا لوجهة النظر النسبية جاء من والد "الفلسفية المثالية" ، المطران جورج بيركلي **George Berkeley**(١٦٨٥-١٧٥٣) ، الذي كتب في الرؤية (**De Motu**) في المكان الفارغ الذي لن يكون من الممكن حتى أن نتصوره - على سبيل المثال – لكرتين تدوران حول مركز مشترك (لمراقب يتحرك سوية مع الكرات لن يرى شيئا متغيراً على الإطلاق) ، ولكن "لنفترض أن سماء النجوم الثابتة خلقت فجأة فمن مفهوم اقتراب الكرات إلى اجزاء مختلفة من السماء الحركة سوف تكون متصوره ".

مبدأ ماخ

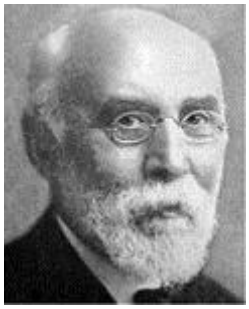
إذا كان بيان نيوتن الحاسم لوجهة النظر المطلقة للفضاء ، فان نظيره سيئ السمعة و الاكثر نسبية هو لارنست ماخ **Ernst Mach**(١٨٣٨-١٩١٦) ، الذي خاطب نفسه مباشرة عن حجة دلو نيوتن ، وكتب في علم الميكانيكا (١٨٨٣) : "لا أحد مؤهل للقول كيف ان التجربة أظهرت ما إذا كان جوانب الإناء زادت في السماكة والكتلة حتى أنها في النهاية ذات طبقات عدة في السمك". دلو كبير بما فيه الكفاية ، وبعبارة أخرى ، قد يحمل الاطار بالقصور الذاتي المحلي للماء من حوله ، تاركا سطح الماء مستو.

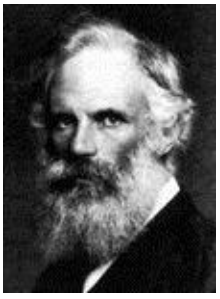
مبدأ ماخ ـ هذه الفكرة كما قد اصبحت ُتعرف ـ قد ثبت أنه من الصعب بعناد ان يصاغ باسلوب فيزيائي دقيق وأكثر صعوبة لاختبار تجريبي. فقد ناقش كبار الخبراء في احد المؤتمرات حول هذا الموضوع في توبنغن في عام ١٩٩٣ ، ما لا يقل عن ٢١ إصدار مختلف من "مبدأ ماخ" في الكتابات العلمية ، وبعضها متناقضة ، وربما لهذا السبب فان أفكار ماخ النسبية ثبتت انها أقل نفعا وإلهاما في الفيزياء، ومع ذلك فإنها أدت الى بعض التحقيقات التجريبية الرائعة حتى قبل وقت آينشتاين.فقد بحث عمانوئيل فريدلينـدر **Friedlaender Immanuel** (١٨٧١-١٩٤٨) في ١٨٩٤ عن أدلة على أن حجر رحى ثقيلة دوارة يمكن أن تمارس أي قوة من نوع ماخ على ميزان التواء حساس ، ولكنه اعترف انه لا يمكن العثور على أي نتائج محددة باي طريقة. و بحث الفيزيائي المعروف أوجست فوبل **August Föppl (1854-1924)** عن اقتران بين دوران الأرض وزوج من الحذافات الثقيلة التي يمكن أن محور دورانها محاذاة إما على طول خطوط العرض أو الطول لكنه ما وجد شيء أيضا غير انه لاحظ أن دقته التجريبية كانت محدودة إلى نحو اثنين في المئة. نشر فوبل هذا العمل في عام ١٩٠٤ ، أي قبل عام واحد لنظرية اينشتاين في النسبية الخاصة.

تأثر آينشتاين أيضا بقوة بتفكير ماخ ، وقال انه ادرج أصلا مبدأ ماخ كواحدة من الركائز الثلاث في نظريته النسبية العامة عام ١٩١٨. وفي وقت لاحق فإنه بات واضحا أن النسبية العامة هي في أحسن الأحوال جزئية ماخية "Machian"إلى حد ما ، ولكن اهتمام آينشتاين تلاشى. فقد كتب في عام ١٩٥٤ إلى زميل له : "في حقيقة الأمر ، ينبغي للمرء ان لا يعود للحديث عن مبدأ ماخ على الاطلاق" . (من جهته حماس ماخ الأول لعمل آينشتاين تضاءل أيضا ، وكتب في عام ١٩١٣ : "لا بد لي... بالتأكيد نفي أن يكون لي سبق في النسبيين".)

النسبية الخاصة

وجدت الفيزياء نفسها في نهاية القرن التاسع عشر في أزمة: هناك نظريات جيدة تماما لميكانيكا (نيوتن) والكهرومغناطيسية (ماكسويل) ، لكنها لا تبدو متوافقة. الضوء معروف أنه ظاهرة الكهرومغناطيسية ، لكنه لا يخضع لقوانين الميكانيكا نفسها كمادة. وأظهرت تجارب ألبرت نيكلسون (١٨٥٢-١٩٣١) وغيرهم في ١٨٨٠م أن الضوء ينتقل دائما بنفس السرعة ، بغض النظر عن سرعة مصدره. أقدم الفيزيائيين جادل عن هذا التناقض بطرق مختلفة ففي عام ١٨٩٢ وجد كلا من جورج فيتزجيرالد (١٨٥١-١٩٠١) وهندريك لورنتز (١٨٥٣-١٩٢٨) و بشكل مستقل على أن يتمكنا من التوفيق بين النظرية والتجربة إذا ما افترض أن الجهاز الكاشف يتغير حجمه وشكله بطريقة مميزة تعتمد على حالة حركته. اقترح في عام ١٨٩٨م هنري بوانكاريه (١٨٥٤-١٩١٢) : أن فترات من الزمن ، فضلا عن طولها ، يمكن أن تعتمد على المراقبة ، وانه تكهن حتى (عام ١٩٠٤) أن سرعة الضوء قد تكون "حد لا يمكن تجاوزه ".





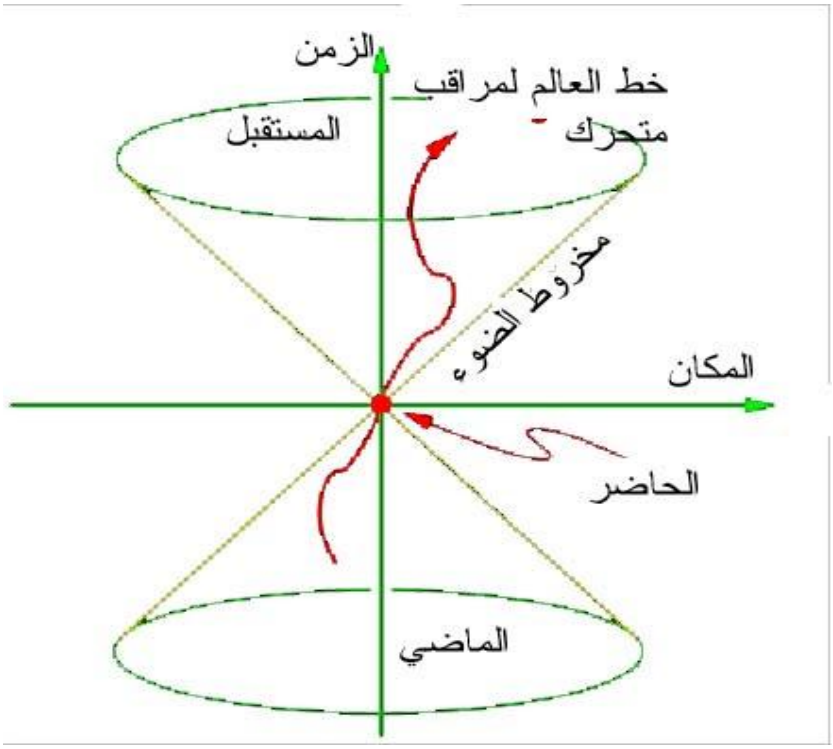
ومع ذلك ولا واحد من هؤلاء الفيزيائيين البارزين وضع القصة كلها معا بل تُرك ذلك لألبرت أينشتاين الشاب (١٨٧٩-١٩٥٥) الذي بدأ بالفعل تناول المشكلة بطريقة جديدة في سن

السادسة عشرة (١٨٩٥) عندما تساءل عما سيكون عليه اذا تسافر مع شعاع الضوء. أظهرت نتائج فيتزجيرالد و لورينتز قبل ١٩٠٥ انها نابعة من فرضية بسيطة ولكن اساسية : قوانين الفيزياء وسرعة الضوء يجب أن تكون هي نفسها بالنسبة لجميع المراقبين الذين يتحركون بشكل منتظم ، بغض النظر عن حالة حركتهم النسبية. ولكي يكون هذا صحيحا فالمكان والزمان لم يعد يمكن أن يكونا مستقلين بل هما "متحولين" الى بعضها البعض في مثل هذه الأسلوب للحفاظ على سرعة الضوء ثابتة لجميع المراقبين. (وهذا هو السبب في الأجسام المتحركة تبدو تتقلص ، على النحو الذي اظهره فيتزجيرالد و لورينتز ، والسبب في أن المراقبين المتحركين قد يقيسون الزمان بشكل مختلف ، على النحو الذي تكهن به بوانكاريه.) المكان والزمان نسبي (أي أنهما يعتمدان على حركة المراقب الذي يقيسهما) ـ والضوء هو أكثر أساسية منهما .هذا هو أساس نظرية اينشتاين في النسبية الخاصة (لفظة "خاصة" تشير إلى التقيد بالحركة المنتظمة).

البعد الرابع

لم يتم آينشتاين إنهاء المهمة تماما، ولكن بعكس الاعتقاد الشائع هو لم يتوجه إلى استنتاج أنه يمكن أن ينظر إلى المكان والزمان باعتبارهما مكونات من نسيج واحد ذي أربعة أبعاد زمكان . جاء ذلك من بصيرة هيرمان مينكوفسكي (١٨٦٤-١٩٠٩) ، الذي أعلن ذلك في عام ١٩٠٨ في ندوة بكلمات مثيرة : "من الآن فصاعدا المكان والزمن في حد ذاته ، محكوم عليها بالتلاشي إلى مجرد ظلال ومجرد نوع من أنواع الوحدة بين الاثنين ستحفظ في واقع مستقل ".

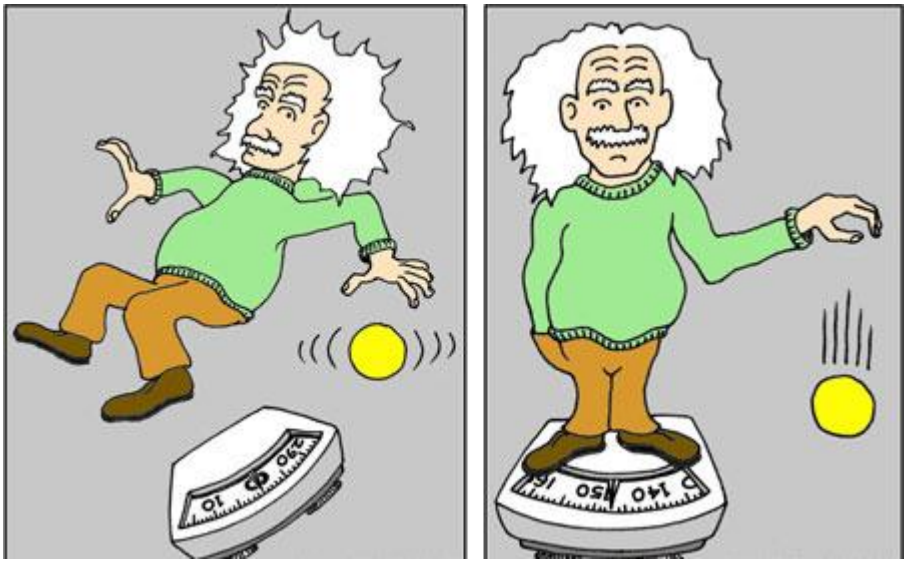
يُصور زمكان مينكوفسكي رباعي الابعاد في كثير من الأحيان في شكل رسم بياني لمخروط ضوء ذي بعدين بمحور أفقي التي تمثل "المكان" (x) والمحور العمودي "الزمن" (ct). جدران المخروط يتم تعريفها من قبل تقدم ومضة الضوء المار من الماضي (المخروط الاسفل) إلى المستقبل (المخروط الاعلى) من خلال الحاضر (نقطة الأصل).كل واقع فيزيائي متضمن في هذا المخروط ، وخارج المنطقة ("في مكان آخر") هو الي يتعذر الوصول إليه بسبب انه يجب السفر أسرع من الضوء للوصول إليه. المسارات لكافة الاجسام الحقيقية تقع على طول "خطوط العالم worldlines" داخل المخروط (هو موضح هنا في بالاحمر). الطبيعة الساكنة على ما يبدو من هذه الصورة في أي تاريخ الذي لا يبدو أنه "يحدث" بل هو "بالفعل هناك" قد أعطى الكتاب والفلاسفة وسيلة جديدة للتفكير في القضايا القديمة التي تنطوي على الحتمية والإرادة الحرة.



رفض أينشتاين في البداية تفسير مينكوفسكي رباعي الابعاد لنظريته لأنه "تعلّم زائد عن الحاجة". ولكن لأهميته ، غيّر رأيه بسرعة.فلغة الزمكان (المعروف تقنيا باسم رياضيات التنسور tensor mathematics)(٣) ثبت أنها أساسية في استنباط نظريته في النسبية العامة.

مبدأ التكافؤ

بُعيد الانتهاء من نظريته الخاصة ، كان لآينشتاين "أسعد خاطرة في حياته" (١٩٠٧). وجاءت تلك بينما كان جالسا في مقعده في مكتب براءات الاختراع في برن ، وتساءل ما سيكون محاولة سقوط الكرة في حين يتساقط جانب من المبنى.أدرك آينشتاين أن الشخص الذي يتسارع بالانحدار مع الكرة لن يكون قادرا على كشف آثار الجاذبية على الكرة. فمراقب يمكن " ان ينتقل بعيدا"عن الجاذبية (على الأقل في الجوار السريع) ببساطة عن طريق الانتقال إلى هذا المرجعية المتسارعة – مهما كان نوع الجسم الذي يتم إسقاطه. الجاذبية هي (محليا) معادلة للتسارع هذا هو مبدأ التكافؤ.

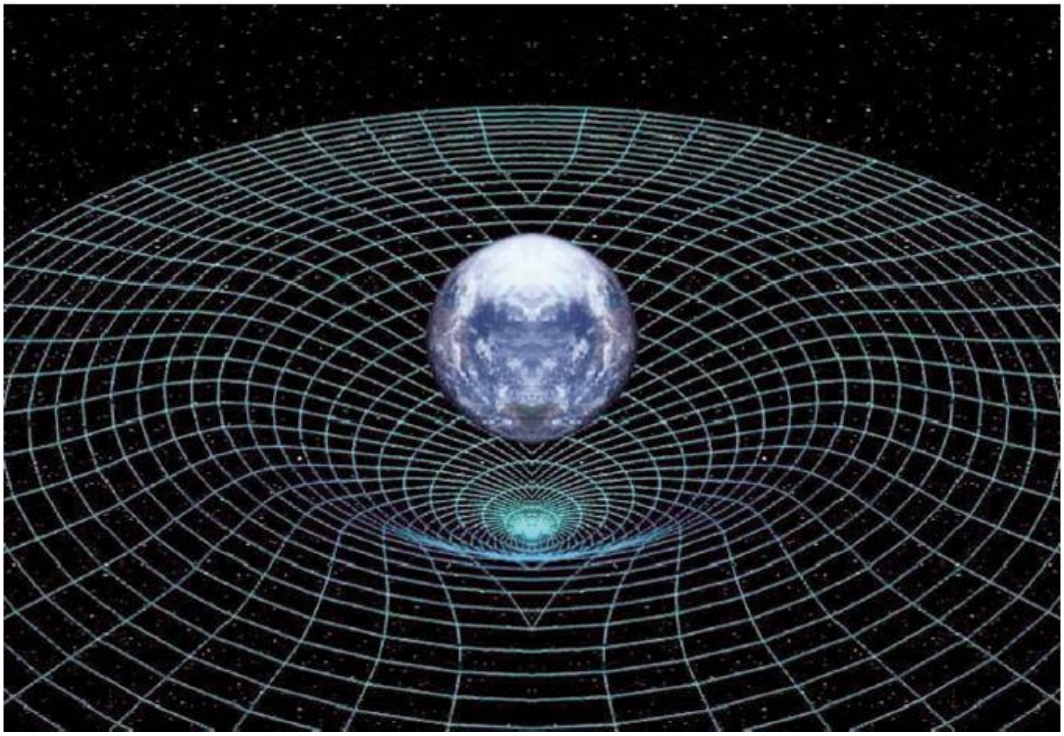


لفهم كيفية ان مبدأ التكافؤ في الحقيقة رائع حقا ، تخيل كيف يمكن ان تكون الجاذبية إذا عملت مثل غيرها من القوى ، فإذا كانت الجاذبية مثل الكهرباء - على سبيل المثال ، اذن كرات بشحنات اكثر ستكون تنجذب الى الأرض بقوة اكثر ، وبالتالي تسقط أسفل بسرعة أكبر من الكرات ذات شحنة أقل. (الكرات التي شحنتها كانت من نفس اشارة الأرض "تسقط" حتى إلى اعلى.) ولن تكون هناك طريقة لنقل هذه الآثار عن طريق الانتقال الى نفس المرجعية

المتسارعة لكل الأجسام، ولكن الجاذبية - تعمى عن المادة "matter-blind" - أنها تؤثر على جميع الأجسام بنفس الطريقة. من هذه الحقيقة توصل آينشتاين إلى استنتاج مذهل هو أن الجاذبية لا تعتمد على خصائص المادة (مثل الكهرباء ، على سبيل المثال ، تعتمد على الشحنة الكهربائية). بالأحرى ان ظاهرة الجاذبية هذه يجب أن تنبع من بعض خصائص الزمكان.

الجاذبية كزمكان مقوّس

حدد آينشتاين في نهاية المطاف خاصية الزمكان المسؤولة عن الجاذبية هي تقوس المكان والزمان . في كون آينشتاين ليس الزمان والمكان مستويين (كما يُفترض ضمنيا من قبل نيوتن) ولكن يمكنهما الدفع والسحب ويمتدان ويتشوهان بالمادة. تظهر الجاذبية أقوى حيث الزمكان أكثر انحناء، وتتلاشى الجاذبية حيث الزمكان مستو، هذا هو جوهر نظرية اينشتاين في النسبية العامة ، والتي تتلخص في كثير من الأحيان في كلمات على النحو التالي : " تخبر المادة الزمكان كيف ينحني ، و يخبر الزمكان المنحني المادة كيف تتحرك" ، والطريقة القياسية لتوضيح هذه الفكرة هي وضع كرة البولينج (تمثل كائن هائل مثل الشمس) على شريحة مطاط مشدودة (تمثل الزمكان). إذا وضعت كرة صغيرة على شريحة المطاط سوف تنحدر الكرة نحو البولينج ، وربما توضع حتى في "مدار" حول كرة البولينج. يحدث هذا ليس لأن الكتلة الأصغر"تم جذبها "من قبل القوة النابعة من الكتلة الأكبر ، ولكن لأنها[أي الكتلة الأصغر] كانت تسير على السطح الذي تشوه من قبل وجود الكتلة الكبيرة. بالطريقة نفسها الجاذبية في نظرية اينشتاين لا تظهر كقوة تنتشر من خلال الزمكان بل هي سمة من سمات الزمكان نفسه. وفقا لأينشتاين فوزنك على الأرض يُعزى إلى حقيقة أن جسمك ينتقل عبر الزمكان المشوه!



على الرغم ان النظرية مغرية بالبديهة ، إلا أن صورة شريحة المطاط لها قيودها. في الغالب هذه لها علاقة مع حقيقة أنها تسمح لنا تصور الجانب المكاني لنظرية اينشتاين ، ولكن ليس الزماني فقط. لمشاهدة هذا نحن بحاجة إلى أن نتذكر فقط أن جاذبية نيوتن يجب أن تكون صالحة تقريبا ، مهما كان آينشتاين يقول ، فنيوتن يخبرنا بأن الاجسام تتحرك في خطوط مستقيمة ما لم تؤثر عليها قوة. لماذا إذن تعمل مدارات الكواكب حول الشمس وهي على شريحة المطاط تظهر من بعيد مستقيمة إذا لم يكن هناك قوة جذب تصل من خلال الزمكان لسحبها؟ الجواب هو أن مسارات الكواكب مستقيم جدا تقريبا - في الزمكان وليس الفضاء. يشبه خط العالم **worldline** للأرض(٤)- على سبيل المثال- لولب مشدود الذي عرضه في الفضاء وحدة فلكية واحدة فقط (٥) ، ولكن طوله في اتجاه الزمن يقاس بالسنوات الضوئية!..هناك طريقة أخرى لتقدير أهمية "الزمن" في"الزمكان "هو بتطبيق مبدأ التكافؤ والتساؤل عما إذا كان فعلا أننا نواجه حقل جذبي على سطح الأرض" مكافئ" لحالة أن سطح الأرض يتسارع بشكل مستمر إلى الخارج. من الواضح لا ، لأننا لا نلاحظ الأرض تتحرك بشكل اكبر! والمشكلة هي أنه في الحديث عن سطح الأرض يسقطنا مرة أخرى في التفكير بالتسارع في شروط مكانية. فعلى الأرض حيث السرعات صغيرة بالمقارنة مع سرعة الضوء ، وحقل الجاذبية ضعيف ويبين أن ما يقرب من كل ثقلنا ينشأ نتيجة للتشويه في الزمن بدلا من المكان ،

هذا يعني من الناحية العملية أن الجاذبية على الأرض هي"مكافئة" للتسارع على الأغلب بمعنى أن الساعات على السطح تعمل ببطء أكثر من الساعات في الفضاء الخارجي.

النسبية العامة

تستند النسبية العامة فيزيائيا على مبدأ التكافؤ ، ولكن اينشتاين أيضا لديه نظرية ثانية ، مؤسسة رياضيا أكثر المعروفة باسم مبدأ التغاير العام وهي تقتضي أن قانون الجاذبية تكون هي نفسها لجميع المراقبين – حتى المتسارع منهم - بغض النظر عن الإحداثيات التي وصفها هو. (وهذا هو السبب أن اينشتاين سمى نظريته الجديد "عامة" ، مقابل "النسبية الخاصة" كما انه اسقط التقييد السابق ان المراقبين يتحرك بشكل منتظم.) وقد ثبت أن هذا التحدي الأكثر صعوبة الذي واجه آينشتاين بالمرة كما قال لاحقا وهو التعبير عن القوانين الفيزيائية بدون احداثيات مثل "وصف الأفكار بدون كلمات". اضطر آينشتاين إلى إتقان الرياضيات المجردة للأسطح ووصفها برموز التنسورات **tensors** - الرائد في هذا المجال كان الرياضي كارل فريدريش غاوس (١٧٧٧-١٨٥٥) ومن عممها على أعلى الأبعاد ومساحات مجردة أكثر هو جورج فريدريك برنارد ريمان (١٨٢٦-١٨٦٦)- لذلك في هذا العمل ساعد اينشتاين بشكل مهم صديقه عالم الرياضيات مارسيل جروسمان (١٨٧٨-١٩٣٦) وعالم رياضيات آخر يدعى ديفيد هيلبرت (١٨٦٢-١٩٤٣) الذي تقريبا ذلل له معادلاته النهائية .

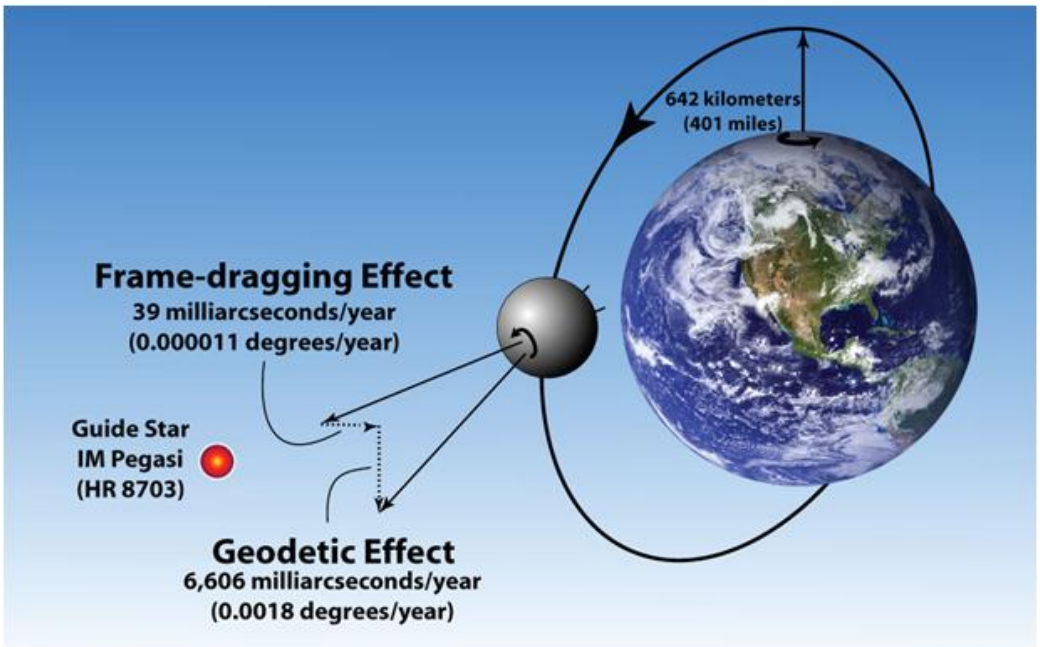
ولكن النسبية العامة هي فوق كل شيء انجاز آينشتاين ، وعبارة "زمكان أينشتاين" مناسب تماما. لا نظرية ذات أهمية مماثلة لها قبل أو بعد نتيجة جهد عالم واحد. كتب أينشتاين لصديق في نهاية عام ١٩١٥ أنه نجح أخيرا وانه"سعيد ولكن منهك القوى"، ووصف في وقت لاحق هذه الفترة على النحو الآتي : "إن سنوات البحث في الظلام عن حقيقة تشعر بها ولكن لا تستطيع التعبير عنها والرغبة الشديدة والتردد بين الثقة والريبة حتى تنفذ إلى الوضوح والفهم تكون معروفة فقط لأولئك الذين يواجهون أنفسهم . "

نسبي أم مطلق؟

وصف اينشتاين في عام ١٩١٨ مبدأ ماخ كدعامة لفلسفية لنظرية النسبية العامة جنبا إلى جنب مع مبدأ التكافؤ المادي والركن الرياضي للتغاير العام. يعتبر هذا الوصف الآن على نطاق واسع التمني. ألهمت وجهات نظر ماخ النسبوية لآينشتاين من دون شك وأعرب عن أمله أن نظريته الجديدة للجاذبية سوف "تصون نسبوية القصور الذاتي" من قبل الزمكان المرتبط بإحكام إلى مادة لا يمكن أن توجد من دون الآخر. ومع ذلك ، فإن معادلات النسبية العامة تتسق تماما مع الزمكانات التي لا تحتوي على هذه المادة على الإطلاق. زمكان (مينكوفسكي) المستوي هو مثال سهل ، ولكن أيضا يمكن للزمكان الفارغ ان يتقوس كما وضح ذلك ويليم دي سيتر**Willem de Sitter** في عام ١٩١٦. بل هناك زمكانات التي تصل بعيدا إلى دوران ما لا نهاية حول السماء بالنسبة إلى المراقب بإطار المحلي للقصور الذاتي (كما اكتشف كورت جودل **Gödel** في عام ١٩٤٩). إن الوجود الواضح لمثل هذه الحلول في نظرية اينشتاين يشير أنها لا يمكن ان تكون ماخية **Machian** بالمعنى الدقيق للكلمة ؛ فالمادة والزمكان تبقيان مستقلين منطقيا. مصطلح "النسبية العامة" بالتالي يصبح تسمية خاطئة ، كما أشار هيرمان مينكوفسكي وغيره. النظرية لا تجعل الزمكان أكثر نسبية مما كان عليه في النسبية الخاصة. الحقيقة أن العكس تماما هو الصحيح : المكان والزمان المطلقان لنيوتن يظلان محافظ عليهما ، وهما مجرد مدمجان وممنوحان في هيكلية رياضية أكثر مرونة (تنسور متري).

ومع ذلك تمثل نظرية أينشتاين للجاذبية تحولا كبيرا نحو العودة الى وجهة النظرة النسبية للمكان والزمان من حيث أنها تجيب على اعتراض الرواقيين القدماء. تعمل المكان والزمان على هذه المادة من خلال توجيها للطريقة التي تتحرك بها ، وتعمل المادة مرة أخرى على

الزمكان عن طريق إنتاج التقوّس الذي نشعر به كجاذبية.أبعد من ذلك ، يمكن المادة أن تعمل على الزمكان بطريقة الى حد كبير وفقا لروح ومبدأ ماخ. أوضحت الحسابات من قبل **Thirring** هانز (١٨٨٨-١٩٧٩) ، جوزيف لينس (١٨٩٠-١٩٨٥) وغيرهم ان كتلة دوارة كبيرة سوف " تسحب " لإطار مراقب مرجعي بالقصور الذاتي حولها. هذه هي ظاهرة سحب الإطار **frame-dragging**، و تشير نفس الحسابات إلى أنه إذا كانت محتويات الكون تدور، فالإطار المحلي بالقصور الذاتي لدينا سيخضع "لسحب كامل" - ونحن لن نلاحظ ذلك ، لأننا سندور أيضا! وبهذا المعنى ،فالنسبية العامة هي في الواقع اقرب من النسبوية كما تمنى ماخ ، وقد يكون بعض علماء الفيزياء (مثل جوليان بربور) قد ذهبوا إلى أبعد وأكدوا أن النسبية العامة هي في الواقع ماخية **Machian** تماما.إذا تجاوز أحد الفيزياء الكلاسيكية وذهب إلى مجال نظرية الكم الحديثة فان الأسئلة عن الزمكان المطلق مقابل الزمكان النسبي مسائل عفا عليها الزمن من حقيقة أنه حتى "الفضاء الخالي" يتم ملؤه من قبل هذه المادة في شكل جسيمات افتراضية وحقول نقطة الصفر(٦) ، والمزيد من الحقول. في سياق كون لاينشتاين - مع ذلك - فإن رأي الأغلبية وربما لُخّص أفضل على النحو التالي : يتصرف الزمكان بشكل نسبي لكنه يوجد بشكل مطلق.



***

ملاحظات:

١/ مفارقة زينون:هي الفكرة التي افترضها زينون كسباق بين اخيل – بطل العدو الاسطوري- وسلحفاة وتقوم على قطع مسافة محددة في زمن محدد وحيث ان المسافة يمكن تقسيمها إلى اجزاء غير منتهية فكيف سيتم قطعها في زمن منتهي ؟

٢/الابقوريين:هم الذين يعتقدون بالأبيقورية وهي الاعتقاد بأن اللذة الحقيقية مرهونة بضبط النفس والاعتدال والسلوك القويم ومؤسس هذه الفكرة هو الفيلسوف اليوناني أبيقور Epicurus (٣٤٢ ق.م. - ٢٧٠ ق.م.).

٣/ رياضيات التنسور : نوع من الرياضيات المتقدمة عن هندسة السطوح ظهرت في منتصف القرن التاسع عشر

٤/ خط العالم :هو مسار الجسم على الزمكان الخاص به

٥/ الوحدة الفلكية :هي المسافة بين الأرض والشمس وتقدر بـ١٥٠مليون كيلومتر أو ٩٣ مليون ميل .

٦/ نقطة الصفر : في ميكانيكا الكم حتى المنطقة القريبة من الصفر المطلق تحتوي على قدر ضئيل من الطاقة وبالتالي تحتوي على مادة لذلك فقد أطلق على تلك الطاقة طاقة نقطة الصفر

***

مع تحيات

موقع عيون المعرفة

http://knoweyes.blogspot.com