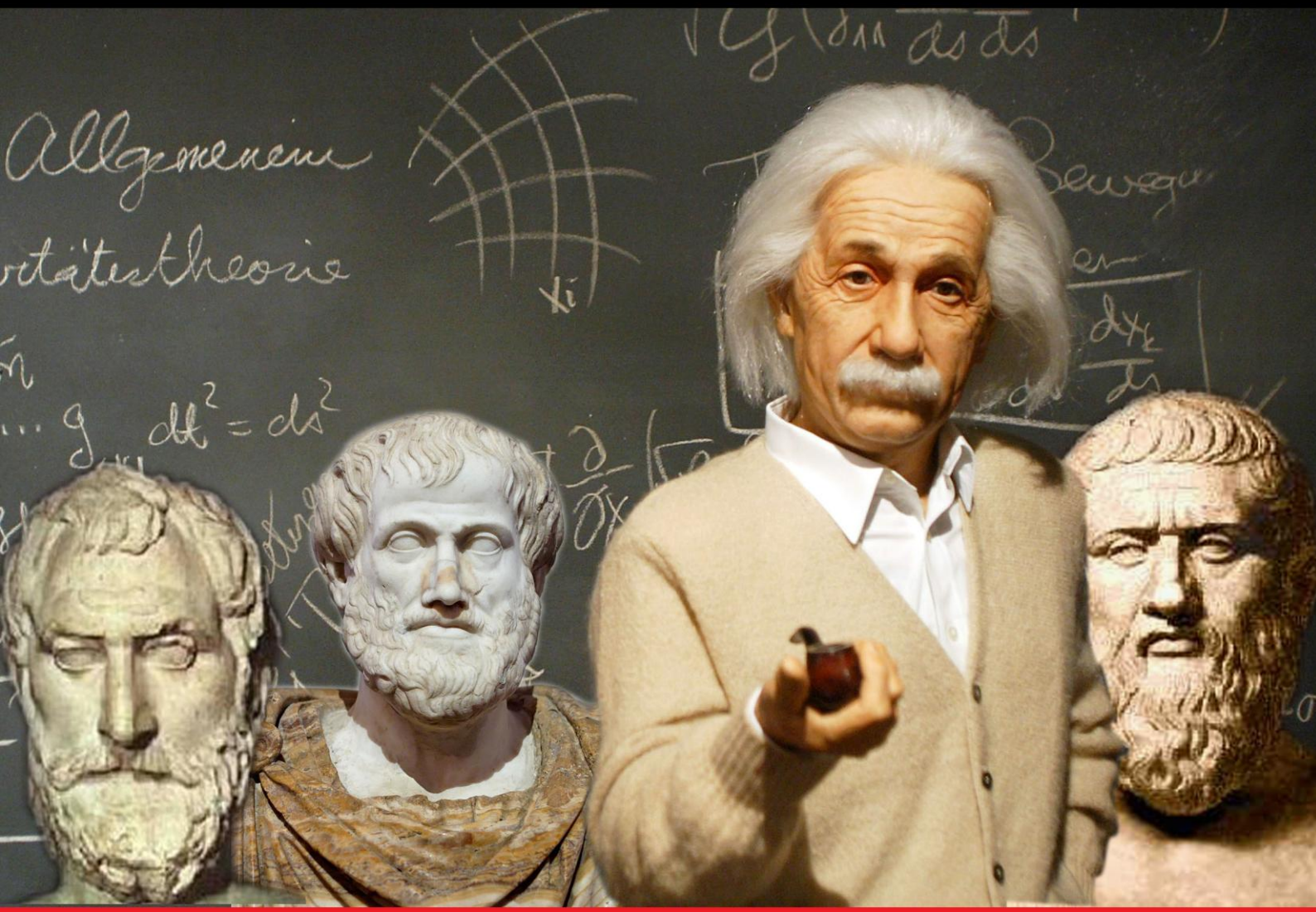
منشورة
للنشر
الإليكترونى

علوم

الزمن من
العصور القديمة إلى أينشتاين



المهندس
عبد الحفيظ العمرى

نوع العمل: علمى

أسم العمل: الزمن من العصور القديمة إلى أينشتاين

أسم المؤلف: عبد الحفيظ العمرى

أسم الناشر: حروف منثورة للنشر الإليكترونى

الطبعة: الأولى يناير ٢٠١٥

تصميم الغلاف: مروان محمد

تفضلوا بزيارة موقعنا حروف منثورة للنشر الإليكترونى, من خلال الرابط التالى:

/http://ebook-heruf.blogspot.com

كما يمكنكم مراسلاتنا بأعمالكم على الإيميل التالى:

Herufmansoura٢٠١١@gmail.com

الزمن من العصور القديمة إلى أينشتاين

المهندس
عبدالحفيظ العمري

الفهرس

١-الزمان قبل اينشتاين

٢-في العصور القديمة الكلاسيكية

٣-أواخر العصور القديمة إلى العصور الوسطى

٤- الثورة العلمية

٥-دلو نيوتن

٦-مبدأ ماخ

٧-النسبية الخاصة

٨-البعد الرابع

٩-مبدأ التكافؤ

١٠- الجاذبية كزمكان مقوّس

١١- النسبية العامة

١٢- نسبي أم مطلق؟

١٣- ملاحظات

الزمان قبل اينشتاين

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

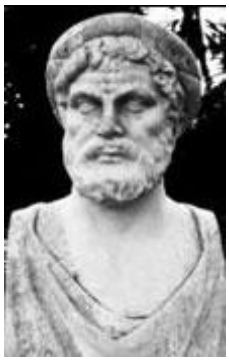
في العصور القديمة الكلاسيكية

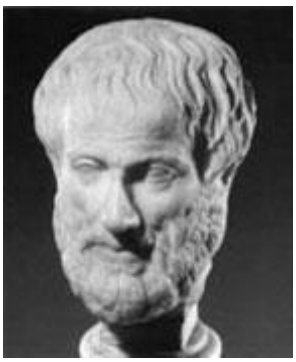
رأى الفيلسوف الرواقي زينون Zeno من إليا Elea ، مؤلف مفارقات زينون (٤٩٠-٤٣٠ قبل الميلاد) (١) ،أن المكان والزمان زائفان لأنهما يمكن ألا يعملا بواسطة المادة. كانت هذه الحجج ميتافيزيقية بحتة بالمرة.

كانت رؤية زينون صورة متطرفة للنظرة النسبية للمكان (المكان موجود بقدر ارتباطه بالمادة). في الواقع أن مفهوم "المكان الخالي" كان تناقضًا في الشروط، لأنه إذا كان المكان فارغًا حقًا ،فإنه سيكون لا شيء وبالتالي غير موجود ،والعكس أو النظرة المطلقة ذلك أن المكان يوجد بشكل مستقل عن المادة، ويمكن تتبع آثار ليوقبوس Leucippus (موجود ٤٥٠ قبل الميلاد) ، أول الذريين اليونانيين (في وقت لاحق الأبقوريين)(٢) ، الذي عرض

مفهوم الفراغ الموجود مسبقًا كفراغ "بين الذرات". البيان الأقدم وجودًا 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 موجودًا أولاً. "

قدّم أرسطو Aristotle (٣٨٤-٣٢٢ قبل الميلاد) رأيًا دقيقًا وحريصًا لكنه خليط من وجهات النظر النسبية والمطلقة. هو كان رافضًا لأسلافه وكتب (في الكتاب الرابع للفيزياء) : "إننا نواجه صعوبات عندما نحاول أن نقول بالضبط لشيء هو "مكان"... كما انه لا بوادر لي لأقدم أي شيء ،أو حتى طرح أي سؤال حول هذا الموضوع ". وقبلَ حجج مماثلة لارخيتاس Archytas ،ولكن كان مستاءً للغاية من الفكرة الذرية للفراغ " نظرًا لأنها لا تعطى أفضلية لنوع من الحركة أكثر من أخرى 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 المكان بما يحتوي عليه. قاد بهذه الفكرة المؤثرة إلى تصوره عن كون يمتلك إطار 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 مستقرًا تمامًا ،والثابت الأخير في موقعه جملة ". رجوع للفهرس

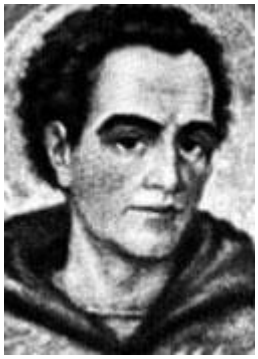
أواخر العصور القديمة إلى العصور الوسطى

طبيعة الزمن فضلًا عن المكان 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) أساسًا نظام أرسطو ،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 ، إن "إطار النجوم الثابتة" أو "مركز الأرض" يمكن أن تعتبر أنها فقط مادة. تبنّى فكرة مبكرة لهيبارخوس Hipparchus أولًا بإزاحة مركز "مدار الشمس" عن مركز الأرض ("لا مركزية")، ثم أضاف في وقت لاحق الكوكبي "deferents" و"أفلاك التدوير" وأخيرا معدل المسار "equants" – وهي كل النقاط المختارة أو المنحنيات في الفضاء الخالي (بعضها حتى مع حركاتها الخاصة بها). إنه يُرجع 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" الآلهة.



وضع القديس أوغسطين (٣٥٤-٤٣٠) تحولًا لاهوتيًا على حجة لوكريتيوس لطبيعة نسبية

الزمن في اعترافاته Confessions، وذلك لأن" الله خلق العالم بزمن، وليس في زمن"، جاء الزمن إلى حيز الوجود جنبًا إلى جنب مع هذه المادة ،وبعبارة أخرى، إنها وجهة النظر التي بشّر بها بشكل مثير علماء الكونيات اليوم ؛أن أحدًا قام بالانفجار العظيم big-bang .

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 المكان بطريقة ما على ما هو يحتويه : "المكان أو الفضاء ليس جزءًا 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 ، خاليًا من أي جسم." رجوع للفهرس

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 يُعتقد لكثير من الأحيان ، فإن هيبارخوس وبطليموس قد نقلا بالفعل "مدار" الشمس بعيدًا عن

مركز الأرض (عن طريق إدخال "اللامركزية")، كما أشار كوبرنيكوس نفسه تقريبًا 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 أعاد مركزية الكون بشكل حركي إلى الشمس فهو لم يربط الفضاء بشكل ديناميكي 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".

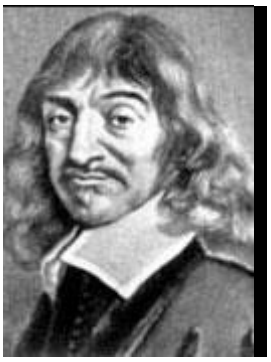
بعد خمسين سنة لم تعد الملاحظات الفلكية يمكنها أن تتوافق مع مفهوم مدارات الكواكب الجامدة ،مما جعل يوهانس كبلر Johannes Kepler(١٥٧١-١٦٣٠) يعلن: "من الآن فصاعدًا الكواكب تتبع مساراتها خلال الأثير مثل الطيور في الهواء ،وعلينا أن نتحدث بالتالي عن هذه الأشياء بشكل مختلف ". مثل هذه الأفكار قادته إلى فكرة جوهرية ،ربط الإطار الساكن للفضاء بالأجسام الطبيعية بدلًا من تركيبات غيبية (كبلر تصوّر 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".

تحوّل مماثل في التفكير لكن بسيط أثّر على جاليليو جاليلي (١٥٦٤-١٦٤٢) فبدلًا 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 أبدي". ومع ذلك لم يستفسر جاليليو أيضًا عن الكيفية التي يمكن بها تعريف هذا الوضع من "السكون"، وكيف يبدو، بل تبنّى دون وعي وجهة النظر المطلقة للمكان، في الواقع كان جاليليو هو أول من استخدم مصطلح "حركة مطلقة" بشكل فعلي في نظريته عن المد والجزر.

آمن رنيه ديكارت Rene Descartes (١٥٩٦-١٦٥٠) ضمنًا بالمكان المطلق أيضًا ،واستخدم ذلك المفهوم للتوصل إلى شيء يشبه الى حد بعيد في نهاية المطاف قانون نيوتن الأول للحركة، لكنه بعد أن علم بمحاكمة جاليليو من قبل محاكم التفتيش، أجّل نشر نتائجه لأكثر من عقد من الزمان ومهّد لها (في مبادئ الفلسفة in the Principia Philosophiae) بالتنصل عن

التصريح أن كل حركة كانت نتيجة لذلك نسبية! وربما كان أول من قرر كلاً من وجهات النظر المطلقة والنسبية في الوقت نفسه.



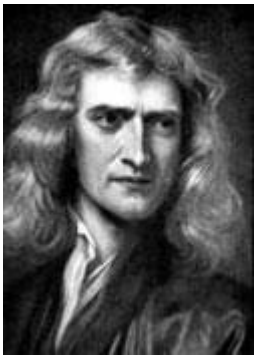
رجوع للفهرس

دلو نيوتن

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

حقيقة أن لسطح الماء تقعر في الشكل تدريجيًا مفترض يظهر أنه يدور بالنسبة إلى شيء ما ، فكيف لشيء آخر إن يعرف ماذا يفعل؟ هو برهان على حقيقة المكان ، 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 قائلًا - في حوار مع تلميذ نيوتن صمويل كلارك – " المكان ليس شيئًا آخر ،ولكن أمر وجود الأشياء وملاحظتها متواجدة معًا ،لذلك فقصة الكون المادي المحدود والمتحرك قدمًا في فضاء خالي لانهائي ، لا يمكن قبولها... مثل هذا التصرف سيكون من دون أي تصميم فيه : إنه سيعمل من دون أن يفعل أي شيء... هناك لا يمكن أن يحدث أي تغيير الذي يمكن مراقبته من قبل شخص على الإطلاق ".



والبيان الأكثر وضوحًا 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 شيئًا متغيرًا على الإطلاق) ، ولكن "لنفترض أن سماء النجوم الثابتة خلقت فجأة فمن مفهوم اقتراب الكرات إلى اجزاء مختلفة من السماء ،الحركة سوف تكون متصوره ". رجوع للفهرس

مبدأ ماخ

إذا كان بيان نيوتن الحاسم لوجهة النظر المطلقة للمكان ، فإن نظيره سيئ السمعة والأكثر 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 أن 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 الإطار بالقصور الذاتي المحلي للماء من حوله، تاركًا سطح الماء مستو.

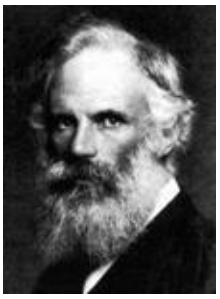
مبدأ ماخ ـ هذه الفكرة كما قد أصبحت تُعرف ـ قد ثبت أنه من الصعب بعناد أن يُصاغ بأسلوب فيزيائي دقيق وأكثر صعوبة لاختبار تجريبي، فقد ناقش كبار الخبراء في أحد المؤتمرات حول هذا الموضوع في توبنغن في عام ١٩٩٣م، ما لا يقل عن ٢١ إصدار مختلف من "مبدأ ماخ" في الكتابات العلمية ، وبعضها متناقضة ،وربما لهذا السبب فإن أفكار ماخ النسبية ثبتت أنها أقل نفعًا وإلهامًا في الفيزياء، ومع ذلك فإنها أدت إلى بعض التحقيقات التجريبية الرائعة حتى قبل وقت أينشتاين، فقد بحث عمانوئيل فريدليندر Immanuel Friedlaender (١٨٧١-١٩٤٨) في ١٨٩٤م عن أدلة أن حجر رحى ثقيلة دوارة يمكن أن تمارس أي قوة من نوع ماخ على ميزان التواء حساس ،ولكنه اعترف أنه لا يمكن العثور على أي نتائج محددة بأي طريقة. وبحث الفيزيائي المعروف أوجست فوبل August Föppl (١٨٥٤-١٩٢٤) 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 شيئًا أيضًا ،غير أنه لاحظ أن دقته التجريبية كانت محدودة إلى نحو اثنين في المئة. نشر فوبل هذا العمل في عام ١٩٠٤م ،أي قبل عام واحد لنظرية أينشتاين في النسبية الخاصة.

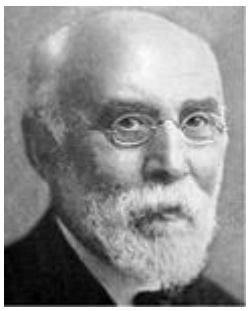
تأثر أينشتاين أيضًا بقوة بتفكير ماخ ،وقال إنه أدرج أصلاً مبدأ ماخ كواحدة من الركائز الثلاث في نظريته النسبية العامة عام ١٩١٨م. وفي وقت لاحق بات واضحًا أن النسبية العامة هي في أحسن الأحوال جزئية ماخية "Machian"إلى حد ما، ولكن اهتمام أينشتاين تلاشى. فقد كتب في عام ١٩٥٤م إلى زميل له : "في حقيقة الأمر، ينبغي للمرء أن لا يعود للحديث عن مبدأ ماخ على الإطلاق". (من جهته حماس ماخ الأول لعمل أينشتاين تضاءل أيضًا ، وكتب في عام ١٩١٣م : "لا بد لي... بالتأكيد نفي أن يكون لي سبق في النسبيين".) رجوع للفهرس

النسبية الخاصة

وجدت الفيزياء نفسها في نهاية القرن التاسع عشر في أزمة: هناك نظريات جيدة تمامًا لميكانيكا (نيوتن) والكهرومغناطيسية (ماكسويل) ،لكنها لا تبدو متوافقة معها، فالضوء معروف أنه ظاهرة كهرومغناطيسية، لكنه لا يخضع لقوانين الميكانيكا نفسها كمادة. وأظهرت تجارب ألبرت نيكلسون (١٨٥٢-١٩٣١) وغيرهم في ١٨٨٠م أن الضوء ينتقل دائمًا بنفس السرعة، بغض النظر عن سرعة مصدره. أقدم الفيزيائيين جادل عن هذا التناقض بطرق مختلفة ،ففي عام ١٨٩٢م وجد كلاً من جورج فيتزجيرالد

(١٨٥١-١٩٠١) وهندريك لورنتز (١٨٥٣-١٩٢٨) و بشكل مستقل أنه يمكننا التوفيق بين النظرية والتجربة إذا ما افترضنا أن الجهاز الكاشف يتغير حجمه وشكله بطريقة مميزة تعتمد على حالة حركته. اقترح هنري بوانكاريه (١٨٥٤-١٩١٢) في عام ١٨٩٨م : أن فترات من الزمن ، فضلاً عن طولها ، يمكن أن تعتمد على المراقبة، وأنه تكهن حتى (عام ١٩٠٤) أن سرعة الضوء قد تكون "حد لا يمكن تجاوزه ".





ومع ذلك ولا واحد من هؤلاء الفيزيائيين البارزين وضع القصة كلها معًا ،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 إذا تسافر مع شعاع الضوء. أظهرت نتائج فيتزجيرالد و لورينتز قبل ١٩٠٥م أنها نابعة من فرضية بسيطة ولكن أساسية : 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 صحيحًا فالمكان والزمان لم يعد يمكن أن يكونا مستقلين بل هما "متحولين" إلى بعضها البعض ، وهذا الأسلوب للحفاظ على سرعة الضوء ثابتة لجميع المراقبين. (وهذا هو السبب أن الأجسام المتحركة تبدو تتقلص ، على النحو الذي أظهره فيتزجيرالد و لورينتز ، والسبب في أن المراقبين المتحركين قد يقيسون الزمان بشكل مختلف ،على النحو الذي تكهن به بوانكاريه).

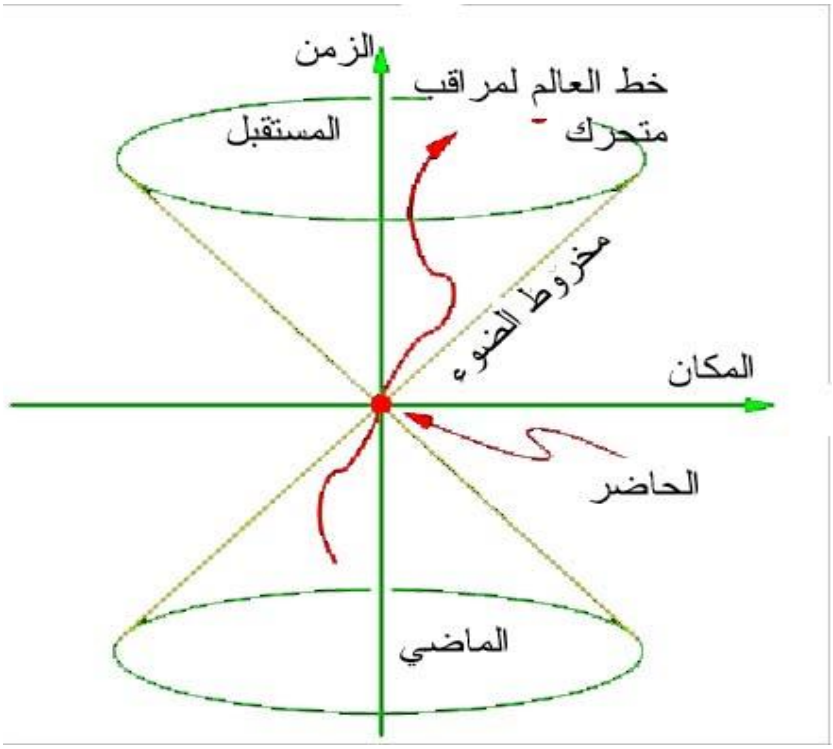
المكان والزمان نسبي (أي أنهما يعتمدان على حركة المراقب الذي يقيسهما) ـ والضوء هو أكثر أساسية منهما .هذا هو أساس نظرية أينشتاين في النسبية الخاصة (لفظة "خاصة" تشير إلى التقيد بالحركة المنتظمة). رجوع للفهرس

البعد الرابع

لم يتم أينشتاين إنهاء المهمة تمامًا، 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 . بل جاء ذلك من بصيرة هيرمان مينكوفسكي (١٨٦٤ـ١٩٠٩)، الذي أعلن ذلك في عام ١٩٠٨م في ندوة بكلمات مثيرة : "من

الآن فصاعدًا المكان والزمان في حد ذاتيهما ، محكوم عليها بالتلاشي إلى مجرد ظلال ومجرد نوع من أنواع الوحدة بين الاثنين ستبقى في واقع مستقل ".

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

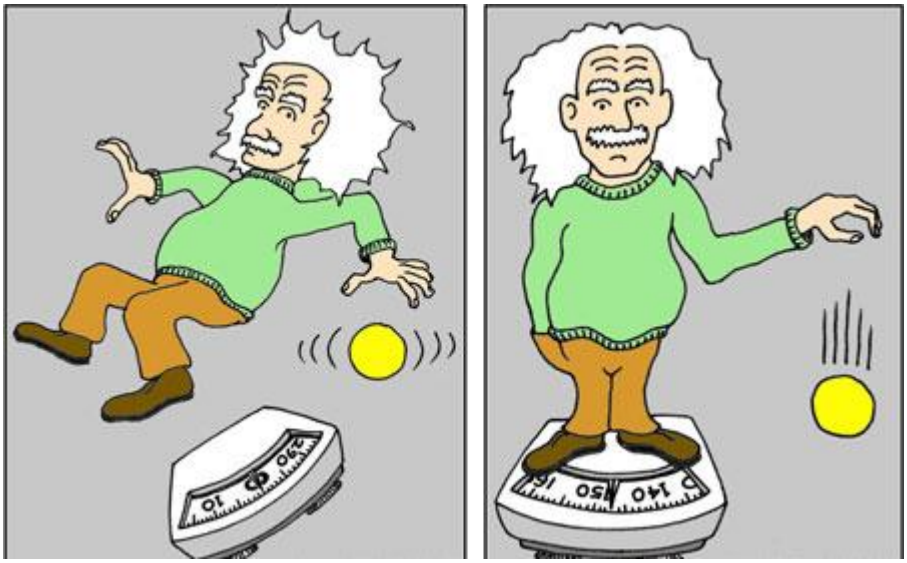


رفض أينشتاين في البداية تفسير مينكوفسكي رباعي الأبعاد لنظريته لأنها "معرفة زائدة عن الحاجة"، ولكن لأهميته ،غيّر رأيه بسرعة؛ فلغة الزمكان (المعروف تقنيًا باسم رياضيات التنسور tensor mathematics) (٣) ثبت أنها أساسية في استنباط نظريته في النسبية العامة. رجوع للفهرس

مبدأ التكافؤ

بُعيد الانتهاء من نظريته الخاصة ، كان لأينشتاين "أسعد خاطرة في حياته" (١٩٠٧م). وجاءت تلك بينما كان جالسًا في مقعده في مكتب براءات الاختراع في برن ،وتساءل إلى ما تؤول محاولة سقوط الكرة في حين يتساقط جانب من المبنى؟

أدرك أينشتاين أن الشخص الذي يتسارع بالانحدار مع الكرة لن يكون قادرًا على كشف آثار الجاذبية على الكرة. فمراقب يمكن " أن يحول بعيدًا" عن الجاذبية (على الأقل في الجوار السريع) ببساطة عن طريق الانتقال إلى هذه المرجعية المتسارعة – مهما كان نوع الجسم الذي يتم إسقاطه. الجاذبية هي (محليًا) معادلة للتسارع ،هذا هو مبدأ التكافؤ.



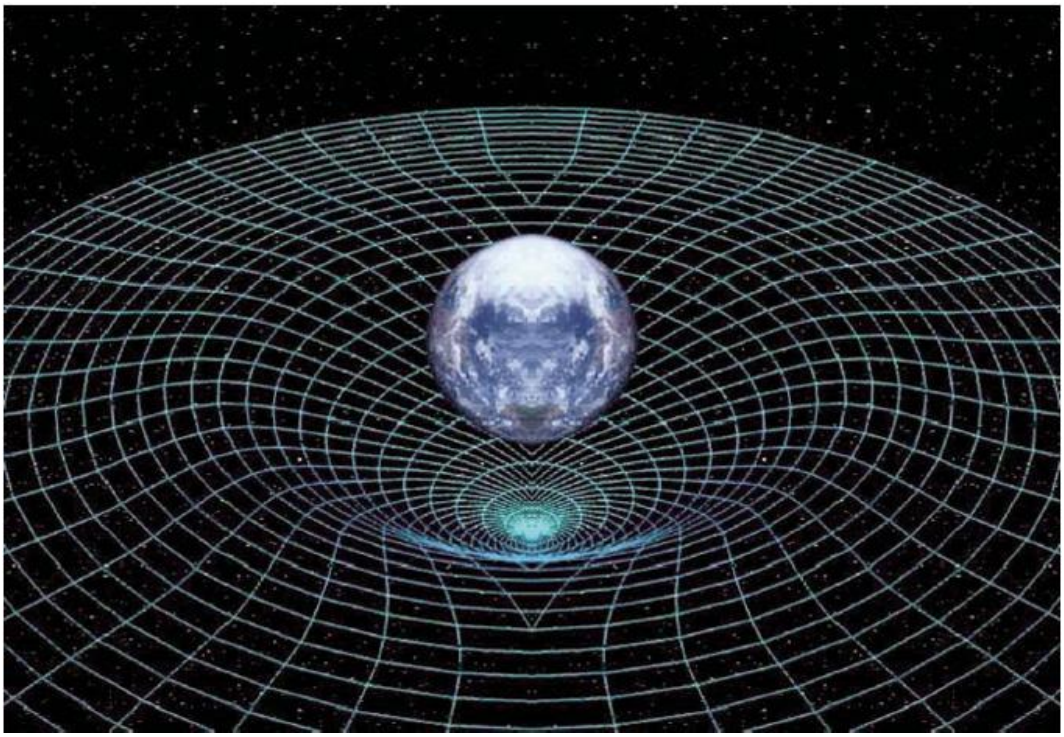
لفهم كيفية أن مبدأ التكافؤ في الحقيقة رائع حقًا ، تخيل كيف يمكن أن تكون الجاذبية إذا عمِلتْ مثل غيرها من القوى ، فإذا كانت الجاذبية مثل الكهرباء - على سبيل المثال ، إذن ، فكرات بشحنات أكثر ستنجذب الى الأرض بقوة أكثر ، وبالتالي تسقط أسفل بسرعة أكبر من الكرات ذات شحنات أقل. (الكرات التي شحنتها كانت من نفس إشارة الأرض "تسقط" حتى إلى أعلى.) ولن تكون هناك طريقة لنقل هذه الآثار عن طريق الانتقال إلى نفس المرجعية

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

الجاذبية كزمكان مقوّس

حدد أينشتاين 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. فالجاذبية تظهر أقوى حيث الزمكان أكثر انحناء، وتتلاشى الجاذبية حيث الزمكان مستوٍ، هذا هو جوهر نظرية أينشتاين في النسبية العامة ،والتي تتلخص في كثير من الأحيان في كلمات على النحو التالي : " تُخبر المادة الزمكان كيف ينحني ، ويُخبر 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 تتدحرج الكرة نحو كرة

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 بسبب وجود الكتلة الكبيرة. بالطريقة نفسها الجاذبية في نظرية أينشتاين 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 أن النظرية مغرية بالبديهة ، إلا أن صورة شريحة المطاط لها قيودها. في الغالب هذه لها علاقة مع حقيقة أنها تسمح لنا تصوّر الجانب المكاني لنظرية أينشتاين ،ولكن ليس الزماني

فقط. لمشاهدة هذا نحن بحاجة إلى أن نتذكر فقط أن جاذبية نيوتن يجب أن تكون صالحة تقريبًا ،مهما كان أينشتاين 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 مستقيمة جدًا تقريبًا ـ في الزمكان وليس الفضاء.

فخط العالم worldline للأرض (٤)- على سبيل المثال- يشبه لولب مشدود الذي عرضه في الفضاء وحدة فلكية واحدة فقط (٥)، ولكن طوله في اتجاه الزمن يُقاس بالسنوات الضوئية! هناك طريقة أخرى لتقدير أهمية "الزمان" في "الزمكان "وذلك بتطبيق مبدأ التكافؤ والتساؤل عما إذا كنا فعلاً 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 أكبر!

والمشكلة هي أن 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 ،فيبدو أن ما يقرب من كل ثقلنا ينشأ نتيجة للتشوه في الزمان بدلًا من

المكان ،هذا يعني من الناحية العملية أن الجاذبية على الأرض هي"مكافئة" للتسارع على الأغلب ،بمعنى أن الساعات على سطحها تعمل ببطء أكثر من الساعات في الفضاء الخارجي. رجوع للفهرس

النسبية العامة

تستند النسبية العامة فيزيائيًا على مبدأ التكافؤ ، ولكن أينشتاين أيضًا لديه نظرية ثانية، مؤسسة رياضيًا أكثر تُعرف باسم مبدأ التغاير العام the principle of general covariance وهي تشترط أن الجاذبية تكون نفسها لجميع المراقبين – حتى المتسارع منهم - بغض النظر عن الإحداثيات التي يتم وصفها. (وهذا هو السبب أن أينشتاين سمى نظريته الجديد "عامة"، مقابل "النسبية الخاصة" كما أنه أسقط التقييد السابق أن المراقبين يتحركون بشكل منتظم.) وقد ثبت أن هذا التحدي الأكثر صعوبة الذي واجه أينشتاين بالمرة كما قال لاحقًا ،وهو التعبير عن القوانين الفيزيائية بدون إحداثيات مثل "وصف الأفكار بدون كلمات". اضطر أينشتاين إلى إتقان الرياضيات المجردة للأسطح ووصفها برموز التنسورات tensors - الرائد في هذا المجال كان الرياضي كارل فريدريش جاوس (١٧٧٧-١٨٥٥) ومن عممها على أبعاد أعلى ومساحات مجردة أكثر هو جورج فريدريك برنارد ريمان (١٨٢٦-

١٨٦٦)- لذا فقد ساعد أينشتاين في هذا العمل بشكل مهم صديقه عالم الرياضيات مارسيل جروسمان (١٨٧٨-١٩٣٦) وعالم رياضيات آخر يدعى ديفيد هيلبرت (١٨٦٢-١٩٤٣) الذي تقريبًا ذلل له معادلاته النهائية .

ولكن النسبية العامة هي فوق كل شيء إنجاز أينشتاين ، وعبارة "زمكان أينشتاين" مناسِبة تمامًا. لا نظرية ذات أهمية مماثلة لها قبل أو بعد كانت نتيجة جهد عالِم واحد. كتب أينشتاين لصديق في نهاية عام ١٩١٥م أنه نجح أخيرًا وأنه" 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".

رجوع للفهرس

نسبي أم مطلق؟

وصف أينشتاين في عام ١٩١٨م مبدأ ماخ كدعامة فلسفية لنظرية النسبية العامة جنبًا إلى جنب مع مبدأ التكافؤ المادي والركن الرياضي للتغاير العام. يعتبر هذا الوصف الآن على نطاق واسع التمني. ألهمت وجهات نظر ماخ النسبوية أينشتاين 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 تمامًا مع الزمكانات التي لا تحتوي على هذه المادة على الإطلاق. زمكان (مينكوفسكي) المستوي هو مثال سهل، ولكن أيضًا يمكن للزمكان الفارغ أن يتقوس كما وضح ذلك ويليم دي سيترWillem de Sitter في عام ١٩١٦م. بل هناك زمكانات التي تصل بعيدًا إلى دوران ما لا نهاية حول السماء بالنسبة إلى المراقب بالإطار المحلي للقصور الذاتي (كما اكتشف كورت جودل Gödel في عام ١٩٤٩م). وجود مثل هذه الحلول في نظرية أينشتاين يشير بوضوح أنها لا يمكن أن تكون ماخية Machian بالمعنى الدقيق للكلمة ؛ فالمادة والزمكان تبقيان مستقلتين منطقيًا. 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 تمامًا هو الصحيح : المكان والزمان المطلقان لنيوتن يظلان محافظ عليهما ، وهما فقط مدمجان وممنوحان في هيكلية رياضية أكثر مرونة (تنسور متريthe metric tensor).

ومع ذلك تمثل نظرية أينشتاين للجاذبية تحولاً كبيرًا نحو العودة

الى وجهة النظرة النسبية للمكان والزمان من حيث أنها تجيب على اعتراض الرواقيين القدماء. يعمل المكان والزمان على المادة من خلال توجيها للطريقة التي تتحرك بها، وتعمل المادة مرة أخرى على الزمكان عن طريق إنتاج التقوّس الذي نشعر به كجاذبية.

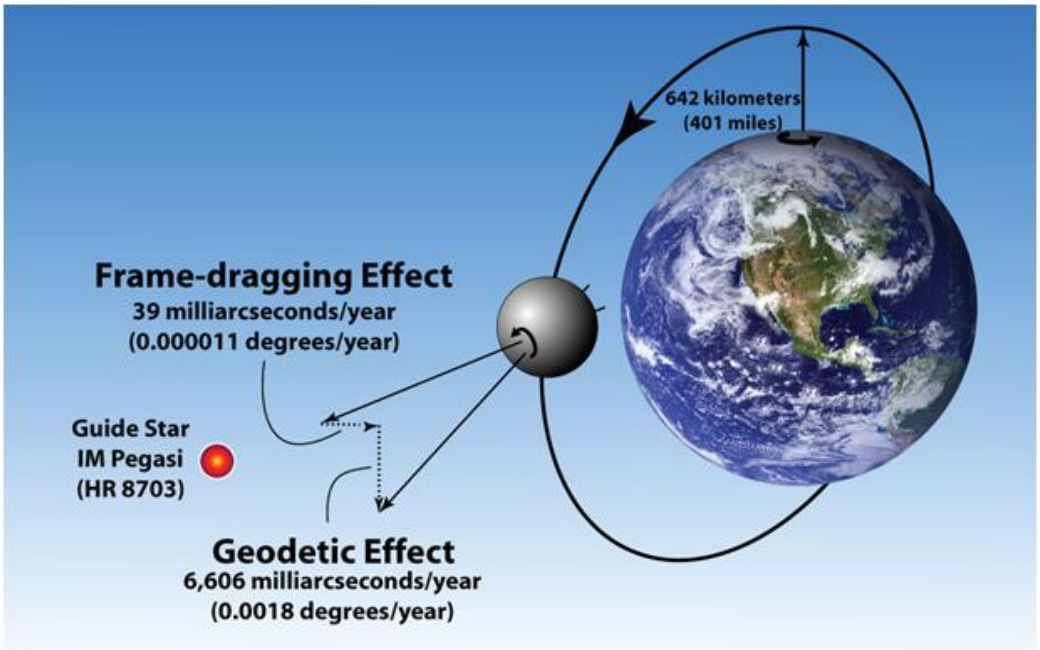
أبعد من ذلك، يمكن المادة أن تعمل على الزمكان بطريقة إلى حد كبير موافقة لروح ومبدأ ماخ. أوضحت الحسابات من قبل هانز ثيرننج Hans Thirring (١٨٨٨-١٩٧٩) ، وجوزيف لينس Josef Lense (١٨٩٠-١٩٨٥) وغيرهم أن كتلة دوارة كبيرة سوف " تسحب " إطار مراقب مرجعي بالقصور الذاتي حولها. هذه هي ظاهرة سحب الإطار frame-dragging, وتشير نفس الحسابات 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 أقرب من النسبوية كما تمنّى ماخ، وقد يكون بعض علماء الفيزياء (مثل جوليان بربورJulian Barbour) قد ذهبوا إلى أبعد وأكدوا أن النسبية العامة هي في الواقع ماخية Machian تمامًا.

إذا تجاوزنا الفيزياء الكلاسيكية وذهبنا إلى مجال نظرية الكم الحديثة فإن الأسئلة عن الزمكان المطلق مقابل الزمكان النسبي مسائل عفا عليها الزمن من حقيقة أنه حتى "المكان الخالي" يتم ملؤه من قبل المادة في شكل جسيمات افتراضية وحقول نقطة الصفر(٦)، وأكثر.

في سياق كون أينشتاين - مع ذلك - فإن رأي الأغلبية ربما يتم تلخيصه أفضل على النحو التالي : يتصرف الزمكان بشكل نسبي لكنه يوجد بشكل مطلق. رجوع للفهرس



***

ملاحظات:

*** نشرت هذه المقالة في أكتوبر٢٠٠٧م على موقع جامعة ستانفورد الأمريكية للكاتب جيمس اوفردوين James Overduin**

http://einstein.stanford.edu/SPACETIME/spacetime١.html

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

٢/الأبقوريون: 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 tensor: 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 التي أطلق عليها اسم طاقة نقطة الصفر.

.....

رجوع للفهرس

ما هما المكان والزمان؟ هل يوجدان مطلقَين، أم نسبيَين 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