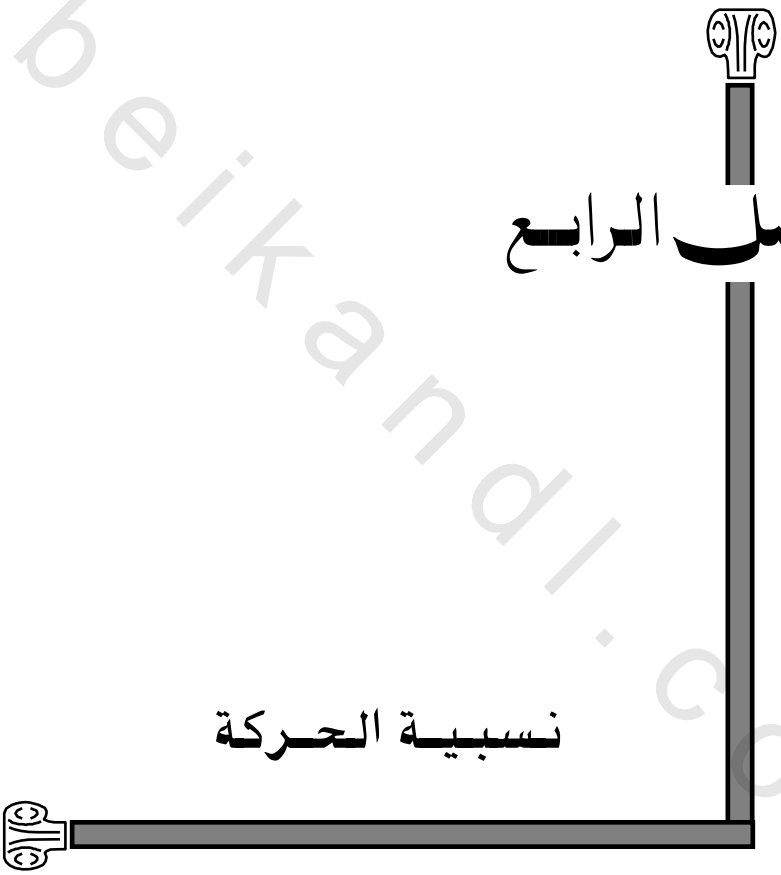

الفصل الرابع

نسبية الحركة

obeikandl.com

obeikandl.com

إن فكرة نسبية الحركة – التى أعطت لنظرية النسبية معناها – تعود بنا إلى المصدر القديم لهذه النظرية، والذى سبق أن أشرنا إليه فى الفصل الأول، فلقد أصبح تصور "كوبرنيقوس" للعالَم واندماج هذا التصور بميكانيكا "نيوتن" هو نقطة الانطلاق لتأملات بدأت تؤتى أوكلها فقط بعد أن ألف بينهما "أينشتين" فى نقده لمشكلة الأثير، ولكى يتسنى لنا فهم ذلك علينا أن نفحص مشكلة نسبية الحركة عن كثب.

تتسم فكرة نسبية الحركة – إذا ما أحسن فهمها – بقوة إلزام غريبة، فمن منا لم يألف هذه الظاهرة التى كثيرًا ما تشيع فى تجربة عربة القطار، فعلى حين يكون قطار أحدنا ساكنًا، وقطار آخر على الخط المقابل بادئًا حركته، فيتكون لدينا انطباع Impression بعكس ما هو واقع، إذ نتوهم أن قطارنا الساكن هو الذى يتحرك، وسرعان ما يكتشف المرء هذا الوهم، وحينئذ قد يتساءل : ما الذى يُخَوِّل لى الحق فى أن أسمى ما رأيته بوضوح وهمًّا ؟ هل حركة القطار الذى أجلس فيه والتى شعرت بها بوضوح كانت وهمًا وزيفًا ؟ ألا يمكننى الإدعاء بالدرجة نفسها من الأحقية أن القطار الآخر مازال ساكنًا بينما قطارى هو الذى يتحرك ؟ وبالتأكيد، لم ألحظ فى الوقت نفسه الظروف المحيطة، أعنى المحطة وقد ظلت ساكنة وأننى مع ذلك كنت بلا حركة بالنظر إلى هذا المحيط، ولكن ماذا لو أدخلت فى الاعتبار وجود هذه المحيط ؟ فهل يمكننى أن أعلن أن القطار الآخر ظل ساكنًا بينما قطارى أنا والمحطة وحتى العالَم كله كان يتحرك فى الاتجاه المعاكس ؟ أليس هذا من حقى أيضًا ؟

وإذا فُهِمَتْ هذه الفكرة فمن المستحيل التخلص منها، فمن السهل أن نلاحظ أن المحطة بحجمها الكبير، بالقياس إلى حجم القطار المتحرك، لا يمكن أن تنهض كتفنيد للحقيقة، إن الاختلاف فى الحجم لا أثر له على هذا الموضوع، فإذا وُضِعَ

جسمان فى فراغ، وكان الجسم الكبير والصغير يتحرك كل منهما نحو الآخر، فهل من الضرورى أن نقول إن الجسم الكبير يظل ساكناً بينما يتحرك الجسم الصغير ؟ إن هذا محض لغو، إنه من الواضح أن الحركة لا تعتمد على الحجم، كما هو الحال حينما تكون الأجسام متساوية الحجم، أى أن الحجم لا يحدد أى الأجسام يكون ساكناً.

وسيكون من الصحيح لو افترضنا أن الجسم (أ) ساكن، والجسم (ب) متحرك نحوه، إن تناقص المسافة بينهما سيؤكد حدوث الحركة ولنفرض أن (ب) ساكن بينما (أ) متحرك، سنلاحظ مرة أخرى تناقص المسافة بينهما، لذلك لا يمكننا أن نستنتج من الظواهر الملاحظة، كما هو موضح فى المثالين السابقين، أى الجسمين يتحرك، لذلك فمن الخطأ أن نتحدث عن حركة "حقيقية"، ولا يحق للمرء إلا أن يقول إن الأجسام تتحرك بعضها تجاه بعض، وإن حركتها نسبية، وبالتالى فإن هذه هى الإجابة التى يؤدى إليها مثل هذا التفكير، وهى إنه لا توجد حركة حقيقية ولا حركة مطلقة، بل فقط حركة نسبية.

ترددت هذه الفكرة دائمًا، ومن المثير أنها عجَّلت باحتدام النزاع حول نسبية الحركة، وهو نزاع لم تكن شهرته تقل عن شهرة نظرية "أينشتين" فى أيامنا هذه، ولقد حدث مثل هذا فى عصر "نيوتن" و"ليبنتس"، فهاجم الأخير نظرية "نيوتن" فى الحركة المطلقة، ولا تزال المراسلات الشهيرة التى احتوت مناقشة هذه الأسئلة محفوظة منذ ذلك الحين، فلقد دافع "ليبنتس" عن نسبية الحركة ضد اللاهوتى "كلارك" [1] Clarke – صديق "نيوتن" – ولقد دلل

(1) كان "كلارك" Clarke هو أكثر العلماء الإنجليز تحمسًا لفيزياء نيوتن، لذلك دافع بشدة عن هذه الفيزياء. ولقد دارت بينه وبين الفيلسوف الألمانى "ليبنتس" مناقشات عنيفة، وتبادلاً رسائل عديدة حول فكرة المكان المطلق عند نيوتن، وهل هو عضو إلهى – كما قال نيوتن – أم لا ؟ وكان تفسير "كلارك" للمكان المطلق بأنه أثر من آثار الأفعال الصادرة عن الكائن اللانهائى. وكان رأى "ليبنتس" أن المكان المطلق لا يبرر وجود علاقات معينة فى المكان، ولكن "كلارك" أجابه بأن الإرادة الإلهية قادرة على فرض العلاقات بين الأشياء. وكان الفيلسوف =

"ليبنتس" على وجهة نظره بأدلة تلعب حتى اليوم دورًا فى مناقشة النسبية، فأكد أن ظواهر الأجسام كلها واحدة بغض النظر عما إذا نُسِبَتْ الحركة لجسم أو لآخر من بين هذه الأجسام، وأضاف أن هذا يصدق على أى عدد من الأجسام مهما بلغ العدد، فحتى "الملائكة أنفسهم" ليس فى وسعهم أن يقرروا بناءً على الظواهر الملاحظة أى الأجسام هو الذى يتحرك فعلاً، ولقد قدم "ليبنتس" أيضًا دليلاً على تصور النسبية باستخدام المبدأ الشهير لهوية اللامتمايزات سواء فى حقيقة المرئى واللامرئى. ولذلك فلا معنى للحديث عن حركة مطلقة.

ومع هذا، لم يزعزع "ليبنتس" الأسس التى أرساها "نيوتن" ليعضد بها الحركة المطلقة، فلقد أدرك "نيوتن" أنه لا يمكن قبول الأدلة المألوفة عن نسبية الحركة إلا بواسطة علم الحركة، وهذا يعنى أنه إذا اعتبرنا الحركة تغيرًا فى المكان هى تُعد ظاهرة مرئية لا تتطلب برهانًا، ولكن ما أن يبدأ المرء فى البحث عن القوى المحدثة للحركة حتى تتغير الصورة تمامًا، ولذلك كما أشار "نيوتن" فنسبية الحركة لا يمكن تأييدها ديناميكيًا من وجهة نظر القوى، ولتوضيح ذلك علينا أن نقدم الخطوط العريضة لنظرية "نيوتن".

بادئ ذى بدء، يفرق "نيوتن" بين الحركة المنتظمة، والحركة المطردة، فالجسم فى فراغ لا يغير من حركته بل سيظل محتفظًا بسرعته الثابتة فى مسار مستقيم، ولقد أضاف "نيوتن" إلى قانون القصور الذاتى – الذى صاغه "جاليليو" من قبل – ما يلى : حركة الجسم لا تتغير إلا عن طريق قوة خارجية والعكس صحيح، أى أن وجود قوى خارجية يدل على أن الجسم ليس منتظم الحركة، بل يتحرك بعجلة.

وينطبق المبدأ نفسه تمام الانطباق على الحركة المتناقضة، لذلك أصبح من

=

الألمانى يريد تبريرًا عقليًا لعلم الطبيعة عند نيوتن، ولكن العالِم الإنجليزى لم يجد فى العقيدة هذا التبرير العقلى ورد هذه المسائل إلى الإرادة الإلهية. (المترجم)

المعتاد فى العلم اعتبار الحركة المتناقضة "حركة سالبة"، وهذه مجرد طريقة ملائمة للتعبير لن ينفر منها أحد. وتعتبر الحركة الدائرية أو "الدوران" حركة مطردة، رغم أن سرعتها قد تظل ثابتة المقدار، وذلك لأنها تغير اتجاهها، وبالتالى فهى لا تندرج فى عداد الحركة المنتظمة.

إن حركة الدوران هى مثال جيد لفكرة "نيوتن" عن الحركة المطلقة، فلنأخذ المثال التالى : تخيل أرجوحة محاطة بمبنى دائرى مثلما نرى فى المعارض، وعندما نجلس فيها : فإننا نتصور أننا والأرجوحة مازلنا ساكنين، بينما المبنى هو الذى يدور حولنا، وإذا تجاهلنا ثبات المبنى على الأرض، وأن الأرجوحة مزودة بعجلات، فهل يمكننا حينئذ أن نحدد ما إذا كانت الأرجوحة أم المبنى هو الذى يتحرك ؟

من حقنا أن نطرح مثل هذا التساؤل، لأننا حالما نجلس فى الأرجوحة نشعر بجذب القوة التى نطلق عليها قوة الطرد المركزية، إنها تبعدنا عن المسار، فإذا افترضنا أن المبنى هو الذى يتحرك مع سكون الأرجوحة، فرغم أن المنظر سيكون للعين كما هو دون تغير، ويغيب الأحساس بالقوة الطاردة مما يولد لدينا الشعور بالراحة، إن وجود أو غياب القوة الطاردة يلعب دورًا حاسمًا فى مسألة الحركة المطلقة.

هذه هى فكرة "نيوتن" التى شرحها بمثال مشابه (مثال الدلو الدوَّار)، ويزعم "نيوتن" أننا يمكن أن نحدد حتى اتجاه الدوران، فلنفترض أن هناك أرجوحة أخرى أصغر مركبة بمركز الأرجوحة الأكبر تقريبًا، ولكنها تدور فى عكس اتجاه الأرجوحة الأكبر، فلننتقل إلى الأرجوحة الصغيرة ونلاحظ ما إذا كان الدفع الخارجى Outward Push (الذى هو قوة الطرد المركزية) أقوى أم أضعف منه فى حالة الأرجوحة الكبرى ؟ فإذا كان أقوى فهذا يعنى أن دوران الأرجوحة الصغرى أسرع من دوران الأرجوحة الكبرى، وأن اتجاه الحركة واحد، أما إذا

كان الدفع الخارجى أضعف، فهذا يعنى أن الأرجوحة الصغرى تدور إلى الوراء فى اتجاه مضاد للأرجوحة الكبرى.

ونحن لا نملك سوى الإعجاب بالدقة المنطقية التى شيَّد بها الفيزيائى الكبير نظريته عن الحركة والمكان المطلقين، وفيما يلى نصوص من كتابه الرئيسى – تُلخص نظريته – يقول فى "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" :

"إن المكان المطلق فى حد ذاته – دون أى اعتبار لأى شىء خارجى – يظل على الدوام ثابتًا على ما هو عليه".

"إن المكان النسبى هو مقياس لهذا المكان أو لجزء معين قابل للحركة الذى تحدده حواسنا بموقعه بالقياس إلى الأجسام، وعادةً ما يقوم مقام المكان غير المتحرك ...".

"إن الحركة المطلقة هى نقلة الجسم من مكان مطلق إلى آخر، وأما الحركة النسبية، فهى نقلة الجسم من مكان نسبى إلى مكان نسبى آخر، وبالتالى نستخدم تعبير المكان والحركة النسبيين بدلاً من المطلقين، وعلينا أثناء المناقشة الفلسفية أن نتجرد من حواسنا، إذ إنه قد لا يكون من المؤكد أن هناك جسمًا ساكنًا على الإطلاق، تقاس إليه مواضع وحركات الأجسام الأخرى، إن الآثار التى تميز الحركة المطلقة عن الحركة النسبية هى القوى الناجمة عن محور الحركة الدائرية النسبية الخالصة، أما فى حالة الحركة الدائرية المطلقة الحقيقية فهى موجودة بدرجة أو بأخرى طبقًا لكمية الحركة".

ويختتم "نيوتن" عمله الرئيسى هذا بما يؤكد ثقته فى تأكيد الحركة المطلقة، فيقول :

"سوف نشرح بالتفصيل فى المقال التالى كيف يمكن أن نحصل على الحركات الحقيقية والاختلافات الواضحة من أسبابها ونتائجها والعكس، أى كيف نستنبط الأسباب والنتائج من الحركات الظاهرة والحقيقية، إن

هذا هو الهدف الذى من أجله كتبت هذا المقال".

وتوضح كلمات "نيوتن" بجلاء مدى التناقض الذى يمكن أن يوجد بين الأهمية الموضوعية والأهمية الذاتية التى يضفيها عليها مؤلفها، لقد كان كتاب "نيوتن" عن الديناميكا أساسًا راسخًا للعلم، إلا أن تأويل صاحبه الفلسفى لم يدم طويلاً، لقد تطور هذا الأساس العلمى ليكتسب شأنًا كبيرًا فى المعرفة، ولكنه بقى صحيحًا دائمًا، وعلى الرغم من هذا فقد أسهم التطور المطرد للنظرية المطلقة فى امتلاكنا اليوم لبصيرة نافذة، إذ إن محاولة هدم أدلة "نيوتن" تؤدى فى حد ذاتها إلى توضيح كامل لفكرة النسبية العامة التى امتدت من علم الحركة النسبى إلى الديناميكا النسبية.

انصرمت مائتا عام قبل أن يظهر تفنيد حقيقى لفكر "نيوتن". لقد وجد "إرنست ماخ" (*) Ernest Mach فى الثمانينات من القرن الماضى الحجة الضاحدة، فإذا عدنا إلى مثالنا عن الأرجوحة، نجد "ماخ" يذهب إلى أن "نيوتن" قد

(*) "إرنست ماخ" Ernst Mach فيزيائى وفيلسوف نمساوى، وُلدَ فى 18 فبراير 1838 وتوفى فى 19 فبراير 1916. تعلم "ماخ" فى ڤيينا ثم عمل أستاذًا للرياضيات أولاً فى مدينة جراتس، ثم أستاذًا للفيزياء بالجامعة نفسها وبعد ذلك فى براج عام 1867. وأخيرًا أسندت إليه أستاذية الفلسفة بجامعة ڤيينا عام 1895، ولبث فى منصبه ذلك حتى سنة 1901.
كان "ماخ" مهتمًا بدراسة الفيزياء والمشكلات الفيزيائية والنفسية للحواس، بخاصة فيما يتعلق بالمعرفة (نظرية المعرفة). قام بدراسات تُعَد رائدة حول المقذوفات التى تفوق سرعتها سرعة الصوت Supersonic والأجهزة النفاثة. وفى عام 1887 وضع بحثًا بعنوان: "تصور ظواهر المقذوفات فى الهواء" وصف فيه الزاوية المعروفة باسمه "زاوية ماخ" وهى الزاوية بين محور المقذوفة والغلاف الموجى الناشئ عن حركتها. وقد اشتقت وحدة "الماخ" أو "رقم الماخ" Mach Number من جيب زاوية ماخ، والذى يساوى حاصل قسمة سرعة الصوت على سرعة المقذوفة أو الجسم الطائر. ويستعمل هذا الرقم لوصف سرعة الطائرات، وله أهمية كبيرة فى مسائل المقذوفات التى تفوق سرعتها سرعة الضوء.
كان أرنست ماخ من أبرز أعلام الاتجاه الفكر الذى نشأ فى أواخر القرن التاسع عشر، والذى أطلق أصحابه على أنفسهم اسم "الوضعيين"، وهؤلاء الوضعيون لا صلة لهم بمذهب الوضعية المنطقية، إذ إن وضعية ماخ وزملائه كانت خاضعة لتأثير وضعية "أوجست كونت" فى قانون المراحل الثلاث. (المترجم)

غفل عن أن حالة سكون الأرجوحة ودوران المبنى لا تقوم كنقيض للحالة الأصلية، فلم يأخذ فى الاعتبار ما يحيط بالمبنى كالأرض والكون بأكمله، إذ إن الأرجوحة خلال دورنها لا تُنْسَب إلى المبنى فقط بل إلى الأرض كافة، وفى الحالة المناقضة، علينا ألا نجعل المبنى وحده يدور حول الأرجوحة، بل نجعل أيضًا الأرض والكون يدوران حولها، فتكون حينئذ صورة مناقضة للحالة الأولى.

ويواصل "ماخ" قائلاً إنه فى هذه الحالة ستظهر قوة الطرد المركزية مرة أخرى فى الأرجوحة، لأن هذه الحالة ليست حالة أخرى غير الحالة الأصلية، رغم وجود وصف مختلف للحركة المجردة، وفى هذا الوصف سُتُفهَم قوة الطرد المركزية كسبب لدوران كتلة الأرض بل حتى للنجوم، وهذه الكتل الدوارة تُنْتِج مجال جذب أشعر به وأنا داخل الأرجوحة، ومما يدعو للدهشة أن الحالة العكسية تتضمن مفهوم القوة مما يؤدى إلى تساوى التأويلين، ونفس الأثر الملحوظ وهو بالتحديد الضغط الواقع على خط السير يبدو طبقًا لأحد المفاهيم كنتيجة لحركة الأرجوحة، وطبقًا للمفهوم الآخر كنتيجة لدوران الأجسام المحيطة.

إن اكتشاف مجال القوى الذى تحدثه الأجسام ليس شيئًا غريبًا على علم الفيزياء وإن كان جديدًا. وطبقًا لهذا المفهوم فإن تجاذب الأجسام عند "نيوتن" ستضاف إليه القوى الجديدة التى تنجم عن الحركة الدائرية، ويقتضينا تصور "ماخ" أن نتخيل حوائط المبنى سميكة بعمق بضع أميال حتى إن كتلة الحوائط فى دورانها حول الأرجوحة ستُحْدث فى منتصف الأرجوحة مجالاً لقوى طاردة تناظر مجال قوة الطرد المركزية، وهذا المجال سيكون أقل قوة من ذلك الذى يُحْدِثه دوران الكون.

والسؤال الآن : هل يمكن البرهان على ذلك تجريبيًا ؟ يلاحظ "ماخ" أن البرهان متاح بالفعل، لأننا نلاحظ قوة الطرد المركزية، وإذا فسرناها كأثر لكتل النجوم الدوَّارة، فإن هذا كل ما يمكن أن تؤدى إليه الملاحظة، فالتصور الجديد يختلف عن التصور القديم من حيث التأويل لا من حيث ما يمكن ملاحظته

بالحواس، ومع ذلك فلعله من الممكن أن نصمم تجارب تؤدى فيها فكرة "ماخ" إلى ملاحظات جديدة، فلنتخيل عجلة طائرة دوَّارة ضخمة، تمثل كتلة دوَّارة، تُحدث فى داخلها فعل دفع إلى الأمام، يخلق قريبًا من محورها منطقة من "قوة الطرد المركزى". لم يكن ماخ يقصد هنا، بطبيعة الحال، أن صلابة العجلة الدوَّارة هى التى تحميها من التأثير المدمر لقوة الطرد المركزى لدورانها، وإنما بالأحرى يميل "ماخ" إلى القول بأننا إذا وضعنا جسمًا صغيرًا ساكنًا بالقرب من المحور فإنه سوف ينسحب تجاه حافة العجلة، إن هذا الأثر على سبيل التأكيد دقيق للغاية، حتى إنه لا يمكن البرهنة عليه، ومن الملاحظ أن كتلة العجلة الطائرة الكبيرة، صغير جدًا بالمقارنة بالكون بأسره، أو النجوم الساكنة التى يُحْدثِ دورانها قوة الطرد المركزى المعتادة.

ولكن ما هو أكثر أهمية من هذه النتيجة الفيزيائية هو نسبية مفهوم القوة كما عبر عنها "ماخ"، لأن ما يقوله "ماخ" هو طبقًا للأوصاف المختلفة لحالة الحركة من مجال القوى يجب أن يُقَدَم أيضًا بطريقة مختلفة، وما يكاد مفهوم القوة يشترك مع النسبية حتى يختفى التمييز الديناميكى لحالة الحركة، وعليه لم تعد هناك حركة مطلقة بأية حال من الأحوال.

وهنا تكمن قوة هذه الحجة، فإن نسبية الحركة مُدْركة ليس فقط عن طريق علم الحركة ولكن أيضًا ديناميكيا، إذا ما راعينا نسبية مفهوم القوة، وحتى القوى ليست كميات مطلقة إذ ينطبق عليها نظام المقارنة بغيرها، فإذا انتقلنا إلى مجموعة متحركة مختلفة، فإن قياس القوة يخضع لمعيار مختلف، وما يظهر كفعل للقصور الذاتى فى حالة حركة الأرجوحة يعتبر فعل جاذبية فى حالة سكونها مع تحرك الأرض، وحتى النظرة الكوبرنيقية للعالَم تبدو مهددة بهذه الملاحظة، فلا معنى حينئذ للحديث عن اختلاف الحقيقة بين كوبرنيقوس وبطليموس، فكلاهما ممكن القبول، إن ما اعتبر أعظم اكتشافات الحكمة الغربية بوصفه معارضًا للتصور القديم يُمتْحَن بالنظر إلى قيمة صدقه، وبالرغم من أن

هذه الحقيقة تحذرنا بوضوح كى لا نثق فى صياغة النتائج العلمية وقيمها، ومع ذلك فهى تدل على التقهقر خطوة إلى الوراء، فنظرية النسبية لا تؤكد صدق نظرة بطليموس للعالَم بل هى على الأرجح تسلب المعنى المطلق لكل وجهة نظره، إن هذا الإدراك الجديد يعلله التطور التاريخى الذى مر بكل من التصورين، إذ إن حلول النظرة الكوبرنيقية محل نظرة بطليموس أدى إلى إرساء قواعد الميكانيكا الحديثة التى أظهرت للفيزيائى قصور نظرة بطليموس للعالَم، إن الطريق إلى الحقيقة يمر هنا بثلاث مراحل جدلية اعتبرها هيجل ضرورة لكل تطور تاريخى، وهى التى تقود من قضية إلى نقيضها خلال تأليف أعلى بينهما.

إن هناك الكثير مما يمكن قوله إذا نظرنا إلى أفكار "ماخ" بوصفها تمثل المرحلة الثالثة من مراحل الجدل الهيجلى حين رد "ماخ" على "نيوتن" بأن القوة الطاردة لا يمكن تفسيرها إلا فى إطار الحركة النسبية، وهو بهذا قدم برنامجًا وليس نظرية فيزيائية، لقد كان فى الواقع بداية برنامج للنظرية الفيزيائية التى تعالج الفكرة، وفى الحقيقة أإن كل الظواهر الميكانيكية لا القوة الطاردة المركزية فحسب يجب أن تُفسر فى إطار الحركة النسبية. ويبقى سؤال كيف يمكن شرح نسبية ظواهر الحركة فى مجال الجاذبية، على سبيل المثال: حركة الكواكب ؟

لقد كان من أعظم إنجازات ميكانيكا "نيوتن" أنها أضافت إلى النظرة الكوبرنيقية للعالَم أساسًا ديناميكيًا، بينما لا يوجد خلاف من وجهة نظر علم الحركة بين التصورين الكوبرنيقى والبطلمى، فإن نيوتن حين أخذ وجهة النظر الديناميكية قد حكم فى صالح كوبرنيقوس، إذ قدمت نظرية نيوتن عن قوة الجاذبية إلى نظرية كوبرنيقوس تفسيرًا ميكانيكيًا، بينما لم يلائم أى تفسير نظرية بطليموس عن مدارات الكواكب المعقدة، وإذا تساءلنا عن تسويغ لكل من التصورين عن العالَم فى إطار الميكانيكا، فلابد من إيجاد نظرية تقوم بشرح

حركة الكواكب البطلمية والكوبرنيقية على السواء بوصفها ظاهرة جاذبية، هنا يبرز الإنجاز الرياضى الفيزيائى الكبير لأينشتين الذى يبدو فكر "ماخ" بالقياس إليه مجرد اقتراح أوَّلى، لقد عثر أينشتين حقًا على نظرية شاملة للجاذبية، وبفضل هذا الكشف وحده ارتفع اسمه إلى حيث يقترن بكوبرنيقوس ونيوتن، ويمكن القول إن مشكلة نسبية الحركة قد تم حسمها على أساس فيزيائى.

obeikandl.com