التسارع رديف الجاذبية

Inertia = Gravetation

١ — ما هي الاستمرارية وما هي التسارعية

هذا المقال يهم جداً طلاب العلم الطبيعي (الطبيعيات) وأساتذة هذا العلم والذين درسوه . فلا بدع أن يستلذه جميع القراء على السواء . وقد أنبأتنا التلغرافات ان اينشطين ألّف كتاباً يفسر فيه الجاذبية فيحسن بنا أن نذكر شيئاً عن الجاذبية .

من مقتضيات ناموس الجاذبية ان القوة الاستمرارية Enertia معادلة للقوة التسارعية Acceleretion لأنهما كلاهما نسبيتان ومن مصدر واحد ، هو القوة الجاذبية . وهي مساوية لكليتهما .

كانت العقيدة السائدة في الأعصر الماضية انه من طبيعة الجسم الحركة في خط مستقيم باستمرار وهو ما يسمونه — Enertia فإذا تغير خط سيره فلأنّ قوة طرأت عليه .

فلما جاء غاليليو ضبط قانون الحركة هكذا : —

« يستمر الجسم على حال واحدة من حركة أو سكون الى أن تطرأ عليه قوة أجنبية تغير حاله . فان كان ساكناً بقي ساكناً الى أن تطرأ عليه قوة فتحركه في خط اتجاهها . وان كان متحركاً بقي متحركاً في خط مستقيم على وتيرة واحدة أي بسرعة واحدة الى أن تطرأ عليه قوة أخرى فتغير سرعته أو اتجاهه أو كليهما . وتسمى حركته هذه تسارعاً Acceleration وتسمى حالته الأولى « الحالة الاستمرارية » Enertia وللاختصار نسميها « الاستمرارية » .

هذا القانون هو أول قوانين الميكانيكيات Mechanics ويعد أهمها وأساسها جميعاً أو هو الأصل فيها . وقد أدمجه نيوتن فيما حدّده من قوانين الميكانيكيات .

وأما الحالة الثانية التي تتزايد فيها سرعته في اتجاه واحد كتزايد سرعة الجسم الساقط ، والتي يتغير فيها اتجاهه من غير أن تتزايد سرعته . كما لو كان خط السير حول مركز

(كدوران الأرض حول الشمس) فنسمي «الحالة التسارعية». وبالاختصار «التسارعية».

لعلك تسأل: لماذا تسمي هاتين الحالتين، أي التسارع في خط مستقيم، والسير في خط منحن بسرعة واحدة — لماذا تسميهما باسم واحد «تسارعاً» مع أنهما مختلفان اختلافاً متماكساً كما هو واضح؟ (أي مختلفان في الشكل والسرعة).

والجواب اننا نسميهما كليهما «تسارعاً» لأن سببهما واحد. وكليهما متعادلان. واليك بيانه: — في الحالة الاستمرارية يكون الجسم (أو يتراءى لنا نسبياً) تحت سلطة قوة واحدة. وأما في الحالة التسارعية فيكون الجسم تحت سلطة قوتين: احداهما ملازمته أي منتقلة معه، والأخرى ثابتة تضطره ألاّ يشرد عنها. وللايضاح مثل على كلتا الحالتين: الكتاب الذي في يدك هو بالنسبة اليك والى مجلسك في حالة سكون استمراري. هو تحت سلطة قوة عضلك التي تقاوم (تعادل) قوة الجاذبية — جاذبيته للأرض وجاذبية الأرض له — التي كانت تحمله يهبط الى الأرض لولا هذه المقاومة. فاذا كنت في بناية عالية كاحدى ناطحات السحاب الأميركية. ثم تركت الكتاب من يدك، أي قطعت عنه القوة العضلية التي كانت تحفظه في حالة السكون (بالنسبة اليك والى البناية) فحينئذٍ يصبح تحت سلطة قوتين جاذبيتين: قوة جاذبيته الذاتية وقوة جاذبية الأرض الخارجية، فيهبط في خط مستقيم الى جهة مركز الأرض. وكل هنيهة تكتسب قوته الذاتية الاستمرارية قوة جديدة بحكم ناموس التجاذب الذي يشتد كربع البعد عن المركز كما علمت. وبالتالي تضاف الى سرعته الاستمرارية سرعة أخرى. أعني انه في كل هنيهة تصير له سرعة استمرارية جديدة. وتزايد الاستمرارية هذا هو التسارع بعينه. لذلك يهبط الكتاب من علٍ الى الأرض بسرعة تتزايد كل ثانية ١٦ قدماً كما تعلم من قانون الأجسام الساقطة (قانون جاليلي).

قطار السكة الحديدية يسير على الخط بسرعة واحدة في خط مستقيم بنبضة قوة واحدة. ولا أمكن أن نزيل بتاتاً قوة فرك العجلات (احتكاكها) على الخط الحديدي، وقوة الجاذبية التي تصر على ابقاء القطار على (نصف قطر أرضي) واحد لبقي القطار يسير بتلك النبضة الواحدة في خط طويل غير متناهٍ الى الأبد. وانما نحن نجدد فيه قوة الآلة البخارية كل هنيهة لا لتسييره بل لمقاومة قوة الفرك أولاً، ولمقاومة الجاذبية اي لانتقاله من

رأس راديوس [1] واحد الى رأس راديوس آخر في كرة الأرض ثانياً . مع ذلك اذا كنا نزيد قوة الآلة البخارية كل ثانية قوة حصان تتزايد سرعته بنسبة تزايد القوة . لاننا جعلناه تحت سلطة قوتين : القوة الأصلية وقوة الاحصنة الاضافية .

كذلك اذا رمنا ان نحوّل اتجاه القطار في خط منحنٍ مع ابقاء سرعته كما هي من غير انقاص اضطررنا ان نزيد قوته البخارية بعض أحصنة . فلا تزداد سرعته حينئذٍ وإنما يتحول خط اتجاهه . فتلك الزيادة في القوة صُرفَت في هذا التحويل . فتحويل خط الاتجاه من غير زيادة السرعة هو كزيادة السرعة من غير تحويل خط الاتجاه . كلاهما متعادلان وكلاهما يقتضيان اضافة قوة الى القوة الأصلية . بعبارة أخرى زيادة القوة تزيد السرعة ، وازديادها يظهر في سير القطار في الخط المستقيم ، ولكنه يختفي في اثناء السير أو هذا يستهلكه .

لذلك سميت الحركة الناتجة عن فعل قوتين « تسارعاً » سواء أكانت الحركة تسارعاً في الخط المستقيم أو غير تسارع في خط منحنٍ .

بعد هذا التمثيل الحسّي نتقدم الى تمثيل القضية في أي نظام كالنظام الشمسي . فهناك نرى سياراً (كالأرض) ذا قوة ذاتية ملازمة له تُسيّرهُ بسرعة استمرارية في خط مستقيم ، ونرى قوة مركزية ثابتة في الشمس متجهة اليه في خط معامد لخط سيره المستقيم . لولا هذه القوة المركزية لبقي منطلقاً بسرعته الاستمرارية في خط سيره المستقيم الى الأبد . ولكن هذه القوة المركزية متسلطة عليه بخط معامد لخط سيره فيضطر في كل هنيهة ان يتخذ اتجاهاً آخر بين الخطين كخط استمراري جديد . فلا يتحرك فيه هنيهة حتى تكون القوة المركزية قد استمالته الى اتجاه استمراري آخر جديد ، ولو انقطعت القوة المركزية عنه حينئذٍ لسار فيه الى الأبد . ولكنها لا تنقطع عنه ، بل لا تفتأ تلاحقه وتستميله عن كل اتجاه جديد فيصبح خط سيره دائرة

لو كانت تلك القوة المركزية تلازمه في خط سيره ، أي تنتقل معه اذا زيدت سرعته في خط مستقيم ، كما يحدث في سقوط أي جسم من علٍ .

---

(١) الراديوس هو نصف قطر الدائرة وهو هنا البعد بين سطح الارض ومركزها

إذاً ، تزايد السرعة التي كانت القوة المركزية تكسبه للسيار كانت تتلاشى في أحداث انحناء خط سيره . ولذلك نرى في برهان المسارعة الدورانية الرياضي ان مقدار الانحناء هذا يساوي مربع سرعة السيار الأصلية بالنسبة الى الراديوس ، أي الانحناء أو (المسارعة) = $\frac{س^2}{ش}$. ولذلك يسير بسرعة واحدة في فلكه المستدير بهذه القيمة $\frac{س^2}{ش}$ أي نسبة مربع السرعة الى البعد عن المركز .

يستفاد مما تقدم أن ما نسميه قوة تسارعية ، أو حركة تسارعية ، انما هو بالحقيقة قوة جاذبية وحركة جاذبية ، أي ان الجاذبية تساوي المسارعة .

***

وهنا نسائل : هل توجد بالفعل « قوة استمرارية » و « حركة استمرارية » ؟ أم أن القوة جاذبية فقط ، والحركة تسارعية على كل حال ، ولا وجود لحركة استمرارية فعلاً ، وانما نسميها استمرارية بالنسبة الى حركة أخرى أكثر تسارعية (أو أقل) ؟

هذا سؤال جدير بالتبصرة والبحث والايضاح

لا سكون في الوجود

لا نعرف في الطبيعة جسماً ساكناً ولا جسماً متحركاً في خط مستقيم غير واقع تحت تأثير قوة أجنبية . بل لا نعرف في الطبيعة الا الحركة الدائرية — الجسم المتحرك في خط منحنٍ — فاذاً كيف يمكن أن نتحرى صحة « قانون جاليليو — نيوتن » هذا ؟

لو وجد في الكون جسم ما كان ساكناً مطلقاً — وهو أمر مستحيل لاعتبارات لا محل لشرحها هنا ، (وقد شُرحت في كتابنا النسبية) — ثم طرأت عليه قوة فحركته ، ما أدرانا أنه لا يعود الى سكونه متى كفت القوة عنه ؟ أو لو وجد جسم متحرك في خط مستقيم ، ثم طرأت عليه قوة أجنبية تغير سرعته أو اتجاهه أو كليهما ما أدرانا انه لا يعود الى حركته الأصلية أو الى السكون متى كفت القوة الأجنبية عنه ؟

لا نعرف في الكون جسماً يتحرك في الفضاء في خط مستقيم ، البتة ، حتى الجسم الصغير كالحجر الساقط على جرم كبير كالأرض لا يسقط في خط مستقيم (بالنسبة الى الفضاء)

كما يتراءى لنا سقوطه على سطح الأرض، بل هو متحرك بالنسبة الى الفضاء في خط منحن على كل حال، بقدر سرعة الأرض في دورانها على محورها، وبقدر انحناء فلكها في دورانها حول الشمس. ومتى وقع الحجر على الأرض سار مع سطحها حول مركزها في دائرة قطرها كقطر الأرض.

وإذا فرضنا أن الأرض غاز لطيف جداً، وان الحجر صلب يغرق في الغاز الى أن يصل الى مركز الأرض، يبقى الحجر دائراً مع هذا المركز في فلك الأرض حول الشمس.

لا نعرف في الوجود قوة غير قوة الجاذبية. وكذلك لا نعرف حركة صادرة من مصدر غير قوة الجاذبية، مباشرة أو غير مباشرة. فالحركة التي نسميها « الحركة الاستمرارية » ليست البتة حركة مستقلة عن الحركة الصادرة من الجاذبية. بل هي حركة جاذبية محضة سميت تارة « استمرارية » بالمقارنة مع قوة جاذبية أخرى طارئة عليها، أو مع حركة أخرى متنازعة أكثر منها. وسميت تارة أخرى « تنازعية » بالمقارنة مع حركة أخرى أقل تنازعية منها أو أقل انحناء منها.

وقد أرى ابنشطين وثيرنغ بتمثيلين تخيليين أن نفس النوع الواحد من الحركة يظهر للشخص الواحد استمرارياً، وللشخص الآخر تنازعياً اذا اختلف الشخصان في الموقف الجاذبي. وأثبتا أن القوة الاستمرارية تساوي القوة الجاذبية. وبالنتيجة فكلاهما حركة مصدرها قوة الجاذبية. فاذن ليست القوة الاستمرارية إلا شكلاً وقتياً للقوة الجاذبية، فتظهر خاصة الجاذبية فيها متى طرأت عليها قوة أخرى (راجعه في كتابنا النسبية).

٣ — انحناء خط الحركة

والقوة الجاذبية لا تسبب إلا حركة دائرية حول مركز القوة. فالجسم الواقع تحت سلطة الجاذبية يتحرك في خط منحن نحو المركز. فاذا طرأت عليه قوة جاذبية أخرى من جو جاذبي آخر كما لو تقارب الجوّان، أصبح متنازع قوتي الجوّين وأكثر خضوعاً لأقواهما. واذا اشتد تقارب الجوّين تداور الجسمان حول مركز واحد مشترك بينهما.

الجسم الخاضع لجوّ جاذبي واحد يميل الى المركز بسرعة متزايدة أي متسارعة Accelerating الى أن يبلغ الى المركز، أو الى أن يصده صادّ في طريقه. فإن كان خاضعاً لأكثر من جوّ واحد جعل يدور حول أقواها بسرعة مرابعها يساوي سرعته المتزايدة،

فيما لو كان تحت سلطة ذلك الجو وحده بنسبة $\frac{\text{س}^2}{\text{ش}}$ = أي نسبة مربع السرعة الى البعد عن المركز

يتراءى لنا أن الجسم يسير حول مركز جاذبي بسرعة ثابتة كالأرض مثلاً تسير بسرعة ٣٠ كيلو متراً بالثانية في فلكها حول الشمس بلا تغير (الاّ اذا كان الفلك أهليلجيًّا فتتغير سرعتها بحسب البعد عن المركز) . ولكن الحقيقة أن الجسم يسير متسارعاً على أن تسارعه يختفي في امتداده أو انحرافه عن خط السقوط الى المركز . ولذلك مربع سرعته بنسبة بعده عن المركز يساوي معدل تسارعه نحو المركز كما تقدم القول آنفاً .

مهما كانت الأجرام متباعدة فان اجواءها الجاذبية متصلة بعضها ببعض ، ولو بضعف كلي . ومهما كانت ضعيفة عند التلاقي فقوتها كافية للتأثير في الجسم الذي يكون حظه أن يوجد هناك أو يمر من هناك ، ما دام لا يوجد جوّ جاذبي آخر أقوى . وهذا التأثير يكون أضعف بقدر مربع البعد عن المركز . وكذلك تكون السرعة بنسبة مربعها الى البعد . ومهما يكن الأمر فالجسم يخضع لأقوى الأجواء مهما كان الجوّ ضعيفاً . فلو كان بين جرمين مسافة ألف سنة نورية أو أكثر ، ولا جرم آخر أقرب إليهما ، فجوّ كل منهما يؤثر في الآخر على هذا البعد السحيق .

لذلك ، المذنب الذي يزور جوّ الشمس الجاذبي ويدور حولها في خط فوق الاهليلجي Hyparbola ولا ينتظر أن يعود ، فهو يشرد في الفضاء ، لا لأنه تمرّد على جوّ الشمس ، بل لأنه وهو منطلق اتصل بجوّ آخر متغلب عليه فاقتنصهُ أو عطفه عن مسلكه الفوق أهليلجي ، ورده الى مدار اهليلجي عظيم . فقد يمكن أن يعود الى جوّ الشمس بعد أمد طويل جدًّا .

حاصل القول ان ما نراه من تغيُّر اتجاهات الأجسام المتحركة وتغير سرعاتها ، إنما هو نتيجة تنازع الأجواء الجاذبية لها . فلو لم يوجد الاّ مركز جاذبي واحد في الكون لانتظمت حوله الأجسام في مدارات متضامنة ، الواحد ضمن الآخر . وهو الأمر الحادث في نظام الكون الأعظم .

ينتج اذن أن الحركة في خطٍّ مستقيم اقليدسي (حسب هندسة اقليدس) غير موجودة في الكون بتاتاً . وانما هي في خط منحنٍ دائماً ، لان الجوّ الجاذبي منظم الحركة في هذا

الخط . ولذلك يعتبر الحيز Space مهما كان صغيراً أو كبيراً متخذاً شكله من طبيعة الجو الجاذبي الذي يشغله ، فيسمى ذلك متحداً . وكل حركة فيه يجب أن تسير منحنية بحسب اتحاده به

يعد الخط على سطح محدَّب (كسطح كرة الجو الجاذبي) مستقيماً اذا كان يطوف على هذا السطح بلا تعرج . فهو بالاصطلاح الاقليدوسي خط منحنٍ يتم في دائرة . فكل حركة قصيرة في الكون هي قوس دائرة بالاصطلاح الاقليدوسي ، وخط مستقيم بالاصطلاح الجاذبي أو النسبي بالرغم من أنه محدَّب .

٤ — تناسب الكتلة الاستمرارية والكتلة الجاذبية

يستفاد مما تقدم : لا يُعتبر كل من القوتين (الاستمرارية والجاذبية) قوة مطلقة Absolute بل هما نسبيتان . وبناءً عليه لا تعتبر « الكتلة الاستمرارية » و « الكتلة الجاذبية » الا نسبيتين أيضاً .

حاشية — « الكتلة الاستمرارية » Inertial Mass هي ذات الثقل الاستمراري وذات الحركة الاستمرارية » . و « الكتلة الجاذبية » Gravitational Mass هي ذات الثقل والحركة المتغيرين بحسب البعد والقرب من المركز الجاذبي . كلاهما نسبيان وأصلهما واحد كما علمت

لهذا السبب يتوقف ثقل الجسم على وجود الأجسام الأخرى التي حوله وعلى نسبة مركزه ، الى مراكزها . فالحجر لا وزن له لو كان وحده في الكون ، وانما يصح ذا وزن عالما يوجد جسم آخر غيره في الكون . وكلما كان الجسمان متقاربين كانا أثقل وزناً لاستقواء الجاذبية بينهما . لذلك الحجر على الأرض يزن أكثر مما يزن على علو ميل عن سطحها . وعلى رأس الجبل يزن أخف منه وهو على الساحل . والقمر وهو في فلكه حول الأرض يزن أكثر مما لو ابتعد عنها ضعفي بعده . وإذا اقترب الى الشمس أكثر منه الى الأرض عظم وزنه .

مما تقدم نفهم الفرق بين الكتلة والوزن . الكتلة تدل على مقدار ما في الجسم من ذرات . والوزن يدل على مقدار ما يصيبها من فعل الجاذبية .

أفليس في هذه الأمثلة تصوير جلي لنظرية التساوي بين الكتلة الاستمرارية والكتلة الجاذبية ونسبة كل منهما الى الأخرى ؟

الحاصل أن القانون الجاذبي هو الأصل وجميع قوانين الميكانيكيات متفرعة منه ، خلافاً للنظرية القديمة القائلة ان قانون الاستمرارية الجاليلي أصل جميع القوانين .