تعد (قوة الجاذبية) إحدى القوى الأساسية الأربع في الطبيعة، فهناك إلى جانبها (القوة الكهرومغناطيسية) و (القوة النووية) و (القوة النووية الضعيفة). وعلى الرغم من أن (قوة الجاذبية) هي الأضعف بين هذه القوى، إلا أنه كان من الطبيعي أن تكون (قوة الجاذبية) هي القوة التي جذبت اهتمام الإنسان قبل غيرها من القوى الأساسية، وذلك لتأثيرها المباشر عليه وعلى محيطه المُشاهد. وما زالت (قوة الجاذبية) هي أصعب هذه القوى في الفهم والتحليل والقياس، حيث خضعت طبيعتها لقرون طويلة من الدراسات والقياسات، وما زالت إلى يومنا هذا تشغل قدراً كبيراً من جهود الفيزيائيين وتحرّياتهم.

وعبر تاريخ البشرية الطويل نجد أن هناك مراحل مفصلية وركائز أساسية تصنع منطلقات لرؤى جديدة، وتطور المدارك والمفاهيم، وتساهم في اكتشاف السنن الكونية. ولقد تأمّل الفلاسفة اليونانيون القدامى في آفاق محيطهم ليخلصوا إلى أن الأرض تتكوّن من أربعة عناصر وهي: التراب والماء والنار والهواء. وجاء الفيلسوف الإغريقي **أرسطو** (ت ٣٢٢ ق.م) في مرحلة لاحقة ليضيف إلى هذه التركيبة عنصراً خامساً ظنّ أنه العنصر الذي تتكوّن منه السماء، وأطلق عليه اسم (الأثير).

أما (حركة الأجسام) في الطبيعة؛ فعلى الرغم من أنها ظاهرة قديمة قدم الكون نفسه، إلاّ أن الإنسان لم يتمكّن من اكتشاف القوانين التي تحكم هذه الحركة وتفسّر سلوكها إلاّ منذ ما يقارب الأربعة قرون فقط، وذلك بالرغم من جهود الفلاسفة والمفكرين على مدى قرون سابقة، ولكنها لم تؤت ثمارها كما ينبغي لأنها شغلت نفسها بأسئلة غير قادرة على توليد إمكانات الإجابات الصحيحة، فشغل الفلاسفة اليونانيون أنفسهم بالسؤال: (لماذا تظهر الحركة في الأجسام؟)، وكانت الإجابة من طبيعة السؤال؛ فانطلاقاً من مفهوم العناصر الأربعة التي تتكوّن منها الطبيعة، واستناداً إلى (الفلسفة العضوية) المبنية على (الغائية) حيث إن لكلّ شيء غاية، اعتقد **أرسطو** أن الأجسام تتحرّك باحثة عن مكانها (الطبيعي) في الكون؛ فالأجسام الثقيلة، التي تتكوّن أساساً من التراب والماء، تسقط نحو الأرض، وأما الأجسام الخفيفة، مثل الدخان والسحب، فإنها ترتفع إلى أعلى لأن مكانها (الطبيعي) هو السماء.

وانطلاقاً من تلك (الرؤية العضوية) فإن حركة الأجسام وفق تصوّر **أرسطو**، تنحصر في اتجاهين فقط: إما إلى أعلى وإما إلى أسفل، وتنجم خاصيّة السقوط والارتفاع عن خاصيّة الأجسام نفسها ولا علاقة لها بأيّ مؤثرات خارجية مثل الأرض أو غيرها، ولذا فإنها تهوي نحو الأرض بتناسب طردي مع وزنها، فلو ألقينا جسمين مختلفي الوزن من مكان عالٍ، فإن الأثقل منهما يصل إلى الأرض قبل الأخف، وبسرعة تتناسب مع وزنه.

أما الأجرام السماوية فقد اعتقد **أرسطو** أنها محكومة بقوانين تختلف عن القوانين السارية على الأجسام الأرضية، فالأجرام السماوية في رأيه: هي أجسام مثالية تنتمي إلى عالم الكمال، ولذا فإن حركتها ينبغي أن تكون حركة دائرية؛ لأنها تتميّز بالكمال، وأما الأجسام الأرضية فإنها جزء من عالم قاصر غير كامل؛ ولذا فإنها تتحرّك في خطوط مستقيمة، فالخطّ المستقيم نمط من أنماط الحركة المحدودة، وهذا يليق بالعالم القاصر.

لقد كان للعلماء المسلمين اهتمامات واضحة بـ(علم الحركة) الذي أطلقوا عليه اسم (علم الحيل)، واشتملت جهودهم على تجارب مفيدة وملاحظات صائبة في طبيعة حركة الأجسام وصناعة الآلات المتحرّكة بنفسها أو بجهد يسير. وكان من أبرز العلماء المسلمين في هذا المجال **الحسن بن الهيثم** (ت ١٠٣٩م)، والشيخ الرئيس **ابن سينا** (ت ١٠٣٧م)، **وأبو الريحان البيروني** (ت ١٠٣٦)، **وهبة الله بن ملكا البغدادي** (ت ١١٥٦م).

التغيّر الجذري في الفكر البشري

إن التغيّر الجذري، الذي طرأ مع بزوغ (الثورة العلمية) في القرن السابع عشر الميلادي، انطلق من تغيير صيغة السؤال؛ فبدلاً من أن يكون فلسفياً (لماذا تتحرّك الأجسام؟)، فإنه تبنّى صيغة علمية دقيقة ليصبح (كيف تتحرّك الأجسام؟)، وبذلك

نهج منهجاً كمياً يعتمد على القياس والتجربة، وصياغة النتائج في قوانين رياضية منضبطة، ليُرسي بذلك القاعدة الصلدة لـ(المنهج العلمي) الذي استطاع ـ في أقلّ من أربعة قرون ـ أن يغيّر أنماط الحياة ومعالم الأرض، ويجوب آفاق السماء، ويتلمّس رحاب الكون.

إنه من الواضح أن السؤال العلمي (كيف؟) أكثر تواضعاً من السؤال الفلسفي (لماذا؟)؛ فبإمكان أيّ شخص أن يلجأ إلى ما يتوفّر لديه من أدوات قياس لإجراء تجارب على (الحركة) وغيرها من الظواهر الطبيعية، ومهما كانت هذه القياسات بدائية ومحدودة فإنها كفيلة بإعطاء بعض الإجابات ـ وإن كانت جزئية ـ عن كيفيّة تلك الظاهرة وبعض عناصرها المؤثرة.

كانت التجربة الأبرز في هذا المضمار من نصيب العالم الإيطالي **جاليليو جاليلي** (ت ١٦٤٢م) الذي استطاع أن يجتثّ (فيزياء **أرسطو**)، من جذورها على الرغم مما جابهه من صعاب ومعوّقات ليس أقلّها استعداء الكنيسة عليه، مما قاده في نهاية حياته إلى الإقامة الجبرية بحكم من الكنيسة التي وجدت في أعماله ونتائجه خروجاً صريحاً على المبادئ الكنسية.

لقد أجرى **جاليلي** تجربته الشهيرة المعروفة باسم (المستويات المائلة) لاكتشاف طبيعة (السقوط الذاتي الحر) للأجسام، فقد كانت الحقيقة المشاهدة أن الأجسام تسقط إلى أسفل عند إفلاتها من علوّ، وتزداد سرعتها مع الزمن، وتتناسب هذه السرعة طردياً مع كتلة الجسم. فالأجسام الثقيلة تكتسب سرعة أكبر من الأجسام الخفيفة أثناء سقوطها نحو الأرض. وكان تعليل **أرسطو** لتفسير تلك الظاهرة هو: أنه كلما زادت المادة (الترابية) في الجسم كان أكثر شوقاً للعودة إلى وضعه (الطبيعي) وبلوغ غايته على سطح الأرض!.

لم يرق ذلك التعليل الفلسفي **لجاليلي**؛ فانصرف إلى إجراء تجارب عمليّة للتأكّد من كيفيّة (السقوط الذاتي) ووضْعه في إطار علمي دقيق، ولو أن **جاليلي** لجأ إلى إسقاط الأجسام رأسياً من منطقة عالية وقياس زمن سقوطها، لما تمكّن من الخلوص إلى نتيجة عمليّة بسبب قصر الزمن الذي يستغرقه الجسم في السقوط رأسياً، فعلى سبيل المثال لو أن **جاليلي** لجأ إلى أعلى مبنى في إيطاليا في ذلك العصر (برج بيزا)، وألقى بأجسام ثقيلة من ذلك الارتفاع لما استغرق زمن السقوط أكثر من أربع ثوان.

ولذا احتالت عبقرية **جاليلي** على تلك الصعوبة؛ فقام باستخدام كرات ثقيلة نسبياً متساوية في الحجم ومختلفة في الوزن وناعمة الملمس لتقليل أثر الاحتكاك، وقام بدحرجتها على مستويات ملساء مائلة تتغير زاوية ميلها مع الأفق من تجربة إلى أخرى وذلك لزيادة زمن السقوط، واستطاع بذلك قياس المسافات المقطوعة والأزمنة المستغرقة لزوايا متعدّدة للمستويات المائلة؛ ليُثبت بالحساب والقياس عدم اعتماد سقوط الأجسام إلى الأرض على طبيعة الجسم أو وزنه؛ فكلّ الأجسام تزداد سرعتها عند سقوطها بالقيمة نفسها؛ أيّ أن لها التسارع نفسه الذي حسبه **جاليلي** ليجد أنه يساوي (٩,٨ أمتار لكل ثانية).

لقد كان لتلك التجربة التاريخية دلالات عميقة على الصعيد المنهجي والفهم العلمي لطبيعة (الحركة)، وكانت مدخلاً لفهم وتفسير الظواهر الطبيعية المختلفة وفق (الفكر والتحليل الميكانيكي)، ومهّدت السبيل للروّاد العمالقة من بعده، وهذا ما حدا بالفيلسوف الألماني **إيمانويل كانط** ليعلق فقال: " عندما قام **جاليليو** بدحرجة كراته على مستوى مائل تفجّر نور جديد على كلّ الباحثين المهتمّين بدراسة الطبيعة " .

يوحنا كبلر على الطريق

لقد أوقف الفلكي الألماني **يوحنا كبلر** حياته (ت ١٦٣٠م) على تحليل الكمية الهائلة من القياسات والملاحظات الفلكية التي قام بها أستاذه الفلكي الدنماركي **تايخو براها** (ت ١٦٠١م)، واستطاع في ضوئها أن يكتشف قواعد لحركة الأجرام السماوية، تمثّلت في ثلاثة قوانين رياضية تصف أفلاك هذه الأجرام وحركتها، وحدّدت أن الكواكب في المجموعة الشمسية تتحرّك في مدارات بيضاوية حول الشمس، وكان الأساس الوحيد الذي استند عليه **كبلر** هو ما توفّر لديه من قياسات فلكية، وبدون قانون عام يسمح باستنباطها، أو أيّ مبرر فيزيائي لتعليل تلك القوانين أو تفسيرها. أما بالنسبة للسبب الذي يجعل الكواكب تطوف حول الشمس في مدارات بيضاوية، فلم يكن لدى **كبلر** من حلٍّ أو تفسير سوى اللجوء إلى أن الكواكب تخضع لقوة جاذبة شبيهة بالمغناطيسية، وهي قوة في رأي **كبلر** تنبثق عن الشمس.

نيوتن في الساحة

لقد اهتمّ العالم البريطاني **إسحاق نيوتن** (ت ١٧٢٧م) بمحاولة فهم سبب سقوط الأجسام إلى الأرض، وأما قصّة تلك التفاحة الأسطورية التي زعموا أنها سقطت على رأسه فهي ـ بطبيعة الحال ـ بعيدة عن طبيعة العمل العلمي ودوافعه، على الرغم من أن **نيوتن** ذكر سقوط التفاحة كمثال لظاهرة الجاذبية التي استرعت انتباهه، وراح **نيوتن** في عام ١٦٦٥م يجمع كلّ المعلومات الموجودة في الساحة العلمية آنذاك عن حركة الأجسام وظاهرة (السقوط الحر)، فاطّلع على أعمال **جاليلي**، ومحّص

نتائج **كبلر**، ليقدّم للبشرية أكبر انطلاقة علمية في التاريخ، وذلك في كتابه (الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية) الذي نشره في عام ١٦٨٧م، والذي احتوى على نظرية **نيوتن** في الحركة والجاذبية عبر (قوانين الحركة الثلاثة) و(القانون العام للجاذبية الكونية).

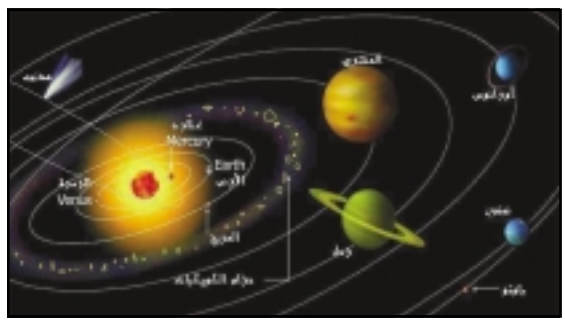
لقد أفلحت تلك القوانين في تفسير مظاهر (الحركة) في الكون؛ فالقفزة الكبرى التي حقّقها **نيوتن** أنه اخترق (المفهوم الأرسطي) الذي يميّز بين الحركة على الأرض، وحركة الأجرام السماوية ليُعلن أن قوانين الحركة واحدة في الكون بأسره، ولا يوجد تميّز لحركة الأجرام السماوية على الأجسام الأرضية، وقفز **نيوتن** بالفكر البشري من مجرّد المقولة: إن (الأجسام تسقط) إلى المقولة بأن (كلّ شيء في الكون يجذب كلّ شيء آخر).

لقد كان لتلك القفزة الكبرى دلالاتها العميقة على الأصعدة الفكرية والعلمية والتقنية، فوضع **نيوتن** بذلك أوّل (رؤية توحيدية) في العلوم الطبيعية حيث أصبح المسار العلمي المعتمد يهتمّ بتوحيد الظواهر الطبيعية، وإدخال أكبر عدد ممكن منها في إطار نظري موحّد لتخضع جميعها، مع اختلاف تأثيراتها وأشكالها، لعدد محدود من القوانين الجامعة. وهكذا أصبح هدف العلم النهائي هو إيجاد نظرية واحدة تصف الكون بأسره.

لقد اهتمّ **نيوتن** بتجميع ما تبعثر من الوقائع الجزئية؛ فتأمّل حال التفاحة التي سقطت أمام ناظريه، وتمعّن في كرات **جاليلي** التي تتدحرج إلى أسفل، وحلّل قوانين **كبلر** التي أفصحت عن دوران الكواكب في مدارات بيضاوية حول الشمس، وتدبّر في حركة القمر حول الأرض، ونظر في ظاهرة (المدّ والجزر) في البحار والمحيطات؛ وكلّها أمور تبدو متفرقة ومتباينة، ولكن **نيوتن** استطاع استقراء هذه الجزئيات ليخلص إلى حقيقة واحدة عامة تربط بين مجموعة هائلة من الظواهر الطبيعية على الأرض، وتهيمن على حركة الأجرام السماوية.

لا بدّ أن **نيوتن** قد تساءل في تقصّيه الرائع لظاهرة الجاذبية: (لماذا تسقط التفاحة إلى أسفل ولا ترتفع إلى أعلى؟، ولماذا تتسارع التفاحة بتسارع ثابت وهي تسقط متجهة نحو الأرض؟. لا بدّ أن هناك قوة تؤثر عليها وتجذبها نحو الأرض. ثم هل هناك علاقة بين القوة التي أثّرت على التفاحة، وبين القوة التي تؤثّر على القمر فتحفظه في مدار محدّد حول الأرض لا يمكنه الإفلات منه؟، وهل هناك من سبب يجعل الأرض هي الوحيدة في هذا الكون التي تتمتّع بخاصيّة الجاذبية؟. لماذا لا تكون هذه الخاصيّة مودعة في بقية الأجسام والأجرام في كون الله الفسيح؟، ولماذا لا تكون هذه الجاذبية هي المسؤولة عن حفظ الكواكب في أفلاكها حول الشمس. أما السؤال الكبير فهو لماذا لا تكون هذه الخاصيّة خاصيّة كونية تمتلكها كلّ الأجرام والأجسام بما في ذلك الكواكب والنجوم؟).

من تلك الرؤية الجامعة تمكّن **نيوتن** من الخلوص إلى (نظرية الجاذبية الكونية)، وبذلك استطاع، في إطار جامع لقانون الجاذبية مع قوانينه الثلاث للحركة، أن يصف في صيغة رياضية منضبطة كلّ الظواهر الكونية المرتبطة بحركة الأجسام الأرضية والأجرام السماوية، وأن يجعل من (قوانين **كبلر**) نتائج طبيعية لنظريته، وينصّ (القانون العام للجاذبية الكونية) على أن: "كلّ جرم في الكون يجذب كل جرم آخر بقوة تتناسب طردياً مع ناتج ضرب كتلتيهما، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما".



● الأجرام تدور حول بعضها وفقاً للقانون العام للجاذبية الكونية.

ولذا فإن (القانون العام للجاذبية الكونية) يوصف بأنه (أكبر تعميم أنجزه الفكر البشري)، ومن هذا المنطلق عقّب العالم الفرنسي **بيير دو لابلاس** على هذا الأمر بقوله: "إن **نيوتن** كان محظوظاً مرّتين؛ المرّة الأولى لأنه كان يمتلك قدرة لاكتشاف أساس الكون الفيزيائي، والمرّة الثانية لأنه لا يمكن أن يكون له منافس أبداً نظراً لأنه لا يوجد إلاّ كون واحد يُمكن اكتشافه".

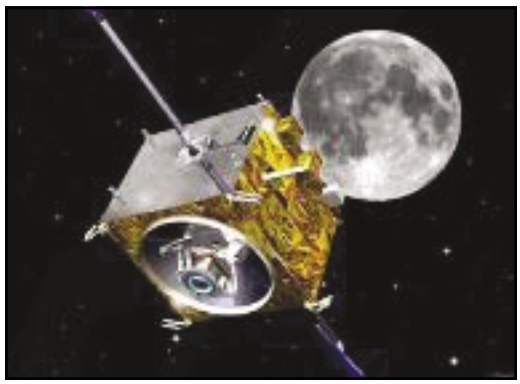
لماذا لا تسقط الأقمار الاصطناعية على الأرض

إن الأقمار الاصطناعية لا تسقط على الأرض لذات السبب الذي يجعل القمر الطبيعي يبقى في مداره، ويفرض على الكواكب أن تدور حول الشمس. ووفقاً لـ (القانون العام للجاذبية الكونية) فإن الأرض تجذب القمر الاصطناعي، ولكن يبقى السؤال: (لماذا لا يسقط القمر على الأرض تحت تأثير هذه الجاذبية؟)، والجواب بكلّ بساطة أن القمر الاصطناعي يسقط بالفعل نحو الأرض، ولكنه لا يصطدم بها!.

يمكن فهم هذه الحقيقة العلمية بالتأمّل في حركة أيّ قذيفة حيث نجد أنها تهوي نحو الأرض في مسار معيّن على شكل (قطع مكافئ) من أبرز ملامحه أنه يمتدّ أفقياً، ونجد أنه كلّما زادت سرعة إطلاق القذيفة، ازدادت تلك المسافة الأفقية قبل أن ترتطم القذيفة بالأرض.

يُمكننا ـ بطبيعة الحال ـ أن نتخيّل الوضع عندما تبلغ سرعة القذيفة مقداراً معيّناً يكون عندها انحناء مسار القذيفة مساوياً لانحناء سطح الأرض، فتستقرّ القذيفة حينئذ في مدار ثابت حول الأرض، وتبقى في مدارها ذاك إذا أهملنا الاحتكاك بالهواء.

إن ذلك التوازن بين (قوة التجاذب) و(قوة الطّرد المركزية) الناتجة عن سرعة الجرم هو الذي يجعل القمر الاصطناعي يدور حول الأرض، كما أن هذا التوازن يجعل الأرض تطوف حول الشمس؛ فلو تحرّكت الأرض بسرعة أقلّ من سرعتها



● قمر اصطناعي.

الحالية لهوت نحو الشمس، ولو كانت قوة جاذبية الشمس أصغر مما هي عليه لانطلقت الأرض بخطٍّ مستقيم في الفضاء.

وهكذا نجد أنه يجب حساب (السرعة المناسبة) للقمر الاصطناعي عند وضعه في المدار المطلوب ليبقى في حركته حول الأرض، ومن المهم ـ أيضاً ـ أن يتمكّن القمر من تجاوز (الغلاف الجوي) للأرض الذي يحتوي على جسيمات تبطئ من سرعته بفعل (قوة الاحتكاك). ولذا كان من الضروري تطوير تقنيات صناعة الصواريخ لأن الصاروخ يستطيع النفاذ من الغلاف الجوي ووضْع القمر في المدار المطلوب؛ نظراً لأنه لا يحتاج إلى وسط لحمله كما هو الحال مع الطائرات التي يحملها الهواء.

تعتمد الصواريخ في حركتها على القانون الثالث لنيوتن الذي ينصّ على أنّ "لكلّ فعل ردّ فعل مساوٍ له في القوة ومعاكس له في الاتجاه"؛ فعندما تندفع غازات احتراق الوقود عبر نفاثات الصاروخ بقوة كبيرة ينشأ عنها (ردّ فعل) وهو حركة الصاروخ في اتجاه معاكس لانطلاق غازات الاحتراق.

آينشتاين في قلب الأحداث

لقد صمدت مفاهيم **نيوتن** ونظريته في الجاذبية حتى عام ١٩١٥م عندما تصدّى لها العالم الألماني **ألبرت آينشتاين** (ت ١٩٥٥م) في (النظرية النسبيّة العامة)، التي خلص فيها إلى أن وجود جسم مادّي يؤدّي إلى حدوث تشوّه في (الزمان) و(المكان)؛ أيّ يؤدّي إلى انحناء في (الفضاء الزمكاني) ذي الأبعاد الأربعة المحيط بالجسم؛ فينزلق ما يجاور هذا الجسم انزلاقاً حوله، وتعتمد شدّة هذا الانحناء وعُمْقه على كتلة الجسم المادّي، فكلما زادت الكتلة زاد هذا الانحناء حولها مما يأسر حركة الأجسام المجاورة لتنزلق على المسار الأسهل الذي تقتضيه طبيعة التحدّب أو الانحناء، وهذا التأثير هو الذي نطلق عليه اسم (الجاذبية).

تنطلق (النظرية النسبية العامة) من (مبدأ التكافؤ) الذي ينصّ على أن (تأثير الجاذبية مكافئ تماماً لتأثير التسارع)؛ فعلى سبيل المثال: لا يُمكن لشخص في مصعد قابع على الأرض أن يميّز بين هذه الحالة وبين حالته لو كان في مصعد آخر يتسارع في الفضاء بتسارع الجاذبية بمنأى عن أيّ قوى خارجية؛ ففي كلتا الحالتين تكون النتائج الفيزيائية واحدة؛ فلو أفلت الرجل في أيٍّ من المصعدين جسماً فإنه يسقط سقوطاً حراً بالتسارع المعهود إلى أرضية المصعد.

وهكذا نجد أن (قصّة الجاذبية) قد مرّت بقفزات كبرى؛ فتحوّلت من مجرّد (سلوك طبيعي) يمتلكه الجسم ذاته لتحقيق غايته كما عند **أرسطو**، إلى قوة كونية تؤثّر عن بُعْد وتخضع لقانون **نيوتن** للجاذبية الكونية، لتصبح عند **آينشتاين** مجرّد خاصيّة هندسية من خصائص (الزمكان) الرباعي الأبعاد.

وفي الواقع: إن (النظرية النسبية العامة) معقّدة رياضياً، ولذا فإنها تتطلّب قاعدة رياضية صلبة للتعامل معها، ولكنها نظرية أثبتت نجاحها، حيث تنبأت ببعض الظواهر الطبيعية التي تأكّدت تجريبياً فيما بعد. ومن أبرز نتائجها: أن الجاذبية تؤثّر على الضوء بحرف مساره نحوها، مما يعني التنبؤ بانحناء الضوء عند مروره بالقرب من جرم مادّي ضخم.

إنه من الصعوبة بمكان قياس هذه الظاهرة على الأرض؛ فعلى سبيل المثال لو أطلقنا شعاع ليزري في اتجاه الأفق، فإنه سينحرف نحو الأرض بحوالي سنتيمتر واحد بعد أن يقطع مسافة ستة آلاف وخمسمائة كيلومتر قبل أن ينطلق إلى الفضاء الرحب، ولكن التنبؤ بانجذاب الضوء إلى الأجسام المادّية أصبح حقيقة علمية عندما تمكّن الفلكي البريطاني **آرثر إدنجتون** من قياس انحراف الضوء القادم من أحد النجوم عند مروره بالقرب من الشمس وذلك خلال دراسته لكسوف كلّي للشمس في غرب أفريقيا في عام ١٩١٩ م.

ولا تزال (قصّة الجاذبية) تشغل أذهان مجموعة من أفضل العقول الفيزيائية في العالم، وما زالت الأعمال النظرية والجهود التجريبية حثيثة في مضمار فهم (ظاهرة الجاذبية)، وسبر ماهيتها، وقياس آثارها، ومحاولات ربطها بـ(نظرية الكم) و(القوى الأساسية) الأخرى، ولكننا لحسن الحظ لا نحتاج إلى أكثر من قوانين **نيوتن** الثلاثة للحركة وقانونه للجاذبية الكونية لمعرفة تفاصيل حركة الأجسام الأرضية أو حساب مسارات المركبات الفضائية، وتحديد مواقعها وأهدافها وحركتها بدقة وانضباط.

ومن طريف ما يُذكر أنه عندما سألت قيادة التحكّم الأرضي في وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) رائد الفضاء **ويليام أندرز**، الذي كان على متن سفينة الفضاء (أبولو ٨) عام ١٩٦٨م، عن اسم الشخص، الذي كان يقود المركبة، أجاب: (إنني اعتقد أن **إسحاق نيوتن** هو الذي يتولّى الآن معظم عملية القيادة).

المراجع:

أولاً: **المراجع العربية:**

١) **عمر فروخ**: تاريخ العلوم عند العرب، دار العلم للملايين، بيروت، ١٩٧٧م.

٢) **محمد عبد الرحمن مرحبا**: آينشتاين والنظرية النسبية، دار القلم، بيروت، الطبعة الثامنة، ١٩٨١م.

٣) **خضر محمد الشيباني**: الفيزياء للأدباء، الدار السعودية للنشر والتوزيع، جدة، الطبعة الثانية، ٢٠٠٢م.

ثانياً: **المراجع الإنجليزية:**

1)**Hugh Kearney:** Science and Change 1500-1700, World University Library, London, 1971.

2) **Nigel Calder:** Einsteins Universe, Penguin Books, England, 1979.

3) **Lloyd W.Taylor:** Physics:The Pioneer Science, Vol.1, Dover Publications, New York, 1959.

4) **Stephen W.Hawking,** A Brief History of Time, Bantam Press, London, 1988.