1. العلم القديم

إن امتلاك تصور جيد عن الأسس الإبستمولوجية "للعلم الحديث" أمر يعسر علينا إن لم نعقد مقارنة نتبيَّن فيها الفروق بينه وبين "العلم القديم" والعلم الوسيطي. لقد كان علم الفلك (نظرية كوبيرنيكوس) هو البؤرة التي انطلقت منها موجات زلزالية أصابت الفيزياء والفلسفة، وأدت في نهاية المطاف إلى إسقاط المبادئ والمعتقدات الإبستمولوجية التي قام عليها العلم القديم. وما دامت الثورة الكوبيرنيكية قد أفضت إلى تجديد علم الفلك، واقتضت فيزياء جديدة وميتافيزيقا جديدة، فإن فهم "العلم الحديث" الذي بدأ في التشكل مع هذه الثورة يتطلب منا أن نقارنه بـ"العلم القديم"، وبالضبط بهذه العلوم والصناعت، أي الفلك والفيزياء والفلسفة.

أ: الفلك الرياضي: مسلماته وأغراضه

لا يمكن الحديث عن علم الفلك الرياضي وتطوره إلى حدود كوبيرنيكوس دون استحضار الفيلسوف اليوناني **أفلاطون** (427– 347 ق.م). ذلك أنه هو من وضع الكثير من الأسس التي ينبغي لهذا العلم أن يستند إليها والمطالب التي ينبغي له أن يسعى إلى تحقيقها.

كانت أكبر مشكلة تواجه الفلكيين في عصر أفلاطون هي «تَحَيُّر الكواكب السيارة». لم تكن «الكواكب أو النجوم الثابتة» تثير مشكلة: فمواقعها لا تتغير، سواء بالنسبة إلى بعضها البعض، أو بالنسبة إلى الأرض. وهذا الثبات شكَّل ضمانة دائمة للقانون والنظام والاطراد في الكون. أما الكواكب أو السيارة (astres chemineaux)، فحركتها تبدو للعيان غير خاضعة لأي نظام أو اطراد. من بين هذه الكواكب، كانت حركة الشمس والقمر أكثر انتظاما؛ أما الكواكب الخمسة (عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، زحل)، ففي تنقلها وحركتها شذوذ وانحراف. فالكوكب يتابع مساره في وقت ما في الاتجاه العام للدوران: أي من الشرق

إلى الغرب؛ لكنه سرعته تصير بطيئة أحيانا، وأحيانا يتوقف كما لو أنه وصل إلى محطة في السماء، فيتراجع إلى الوراء عكس مساره، ثم يأخذ مساره من جديد في الاتجاه الأول. وفضلا عن هذا كله كانت هذه الكواكب تطرح على الراصدين مشكلة تغير المسافة: إذ يبدو أحيانا أن الكوكب يقترب من الأرض، وأحيانا يبتعد عنها. وهذا حال كوكب الزهرة التي كانت تقلباتها ملحوظة، نظرا لحجم لمعانها. كما أن حركتها وحركة عطارد بدتا غريبتين: فأحيانا يجريان أمام الشمس ذات السرعة القارة، وأحيانا يتخلفان وراءها.

لقد كانت مهمة علم الفلك إذن هي بناء نسق يفسر حركات القمر والشمس والكواكب الخمسة الأخرى، طالما أن الكواكب الثابتة لا تطرح مشكلة. كان تأثير أفلاطون في تاريخ علم الفلك الرياضي كبيرا، رغم أنه لم يساهم بشيء هام في هذا العلم، وأن ما كتبه بهذا الخصوص غامض وملتبس. إن تأثيره على الفلكيين من بعده حتى كوبيرنيكوس راجع إلى تصوره للعلم (l'épistémè): فالعلم عنده علم بما هو ثابت وخفي، العلم الحقيقي علم بالوجود الحق واللامرئي (l'être et l'invisible)؛ أما المحسوس، فليس بأي حال من الأحوال موضوعا للعلم.

توصل مؤلف محاورة "طيماوس" من خلال استدلالات ميتافيزيقية صرفة إلى نتائج أثرت في علماء الفلك من بعده منذ العصر الكلاسيكي إلى بداية العصر الحديث. تتعلق هذه النتائج بشكل العالم وحركات أفلاكه وأجرامه، ومن أهمها:

- ثنائية العالم: عالم السماوات مختلف في بنيته ومادته عن عالم ما تحت القمر؛
- شكل العالم: لا بد أن يكون العالم بأكمله عبارة عن كرة تامة (sphère parfaite)؛
- حركات الأجرام السماوية لا بد أن تتم في دوائر كاملة (cercles parfaits) وأن تكون سرعتها منتظمة.

يذهب أفلاطون في المقالة السابعة من "الجمهورية" إلى أن المحسوس ينبغي أن يكون مجرد سلم للارتقاء إلى الواقع الحقيقي، أي الواقع المعقول (la réalité intelligible). إن ما ينبغي أن يبحث عنه "العالِم"، حسب أفلاطون، هو الخصائص التي لا يصيبها تغير أثناء حدوث التغيرات. إن العلم إذن علم بما هو ثابت. وما هو ثابت وخفي، إنما هو العلاقات الرياضية. وفيما يخص علم الفلك بالضبط، أكد أفلاطون أن وراء تجمعات الكواكب وحركاتها وأعدادها المدركة بالحواس، وراء ذلك كله نظام أبهى جمالا، نظام لا يدرك إلا بالعقل وليس بالبصر. ولذلك ينبغي أن يُنظر إلى زينة السماء على أنها مجرد أمثلة يُستعان بها لمعرفة النظام اللامرئي. وتبعا لذلك، فإن مهمة الرياضيين هي إقامة الدليل على أن الاختلالات الظاهرة (les irrégularités apparentes) للكواكب ناتجة عن توليف بين حركات بسيطة كثيرة، حركات دائرية متشاكلة (uniformes). وبعبارة أخرى، إن مهمة الرياضيين هي بناء نسق يرد الاختلالات الظاهرة على حركات الكواكب المتحيرة إلى دوائر منتظمة انتظاما تاما.

يتمثل أمر أفلاطون للرياضيين إذن فيما سمي بـ"إنقاذ المظاهر". والفلكي"يُنقذ" الظواهر إذا نجح في ابتكار فرضية ترد حركات الكواكب غير المنتظمة على مدارات ذات شكل غير منتظم، إلى حركات منتظمة على مدارات دائرية. ولا أهمية هنا للسؤال: هل الفرضية موافقة للواقع أم لا، وهل هي ممكنة فيزيائيا أم لا؟

يلخص **سمبليقيوس** (Simplicius)[1] الأمر الأفلاطوني في العبارة الآتية:

«ما هي الحركات الدائرية المتشاكلة والمنتظمة انتظاما تاما التي يجدر بنا افتراضها كي نتمكن من إنقاذ المظاهر التي تبديها الكواكب المتحيرة؟»

Quels sont les mouvements circulaires, uniformes et parfaitement réguliers qu'il convient de prendre pour hypothèse, afin que l'on puisse sauver les

1. فيلسوف أفلاطوني محدث، ومن شراح أرسطي، عاش في القرن السادس بعد الميلاد.

apparences présentées par les planètes.

مضمون الأمر الأفلاطوني هو إذن: البحث عن نظام معقول وراء الاختلالات. خلف الاختلالات الظاهرة ينبغي افتراض نظام. خلف الظواهر الملحوظة بالعين، والمدموغة بالاختلال والفوضى (تحير الكواكب: البطء والسرعة والتوقف والتقهقر والقرب والبعد واختلاف اللمعان)، ينبغي افتراض حركات دائرية متشاكلة ومنتظمة. وراء الاختلال الظاهر هناك دائما نظام معقول خفي؛ وعلى العلم أن يتجاوز الظواهر المرئية لمعرفة الحقيقة غير المرئية. هذه هي المهمة التي سوف تشغل الرياضيين مدة تضاهي ألفي سنة. سوف يرهن أفلاطون علم الفلك إلى بداية القرن 17، حينما برهن كبلر على أن الكواكب لها مدارات إهليليجية (orbites ovales).

كان من ضمن المسلمات، أو لربما المعتقدات، الفلكية التي تتم المصادرة عليها في النماذج القائلة بمركزية الأرض، فكرة الفلك: وفق هذه الفكرة، كل كوكب مثبّت على فلك أو كرة شفافة تحمله، والفلك هو من يدور حول الأرض وليس الكوكب. ولكي يُعَلِّل **أودوكسوس** (Eudoxe)[2] اختلال حركات الكواكب المتحيرة، افترض أن الكوكب الواحد له أفلاك عديدة تدور حول مركز واحد، وليس فلكا واحدا. وبما أن الاختلال في حركتي الشمس والقمر قليل، فقد احتاج أودوكسوس إلى ثلاثة أفلاك لكلٍّ منهما؛ بينما احتاج إلى أربعة أفلاك لتعليل الاختلالات الكثيرة الظاهرة في حركات باقي الكواكب المتحيرة. وهكذا يصل عدد الأفلاك في نظام أودوكسوس، فضلا عن فلك النجوم الثابتة، إلى 27 فلكا. ما يبدو لنا من اختلالات، وراءه إذن حركات منتظمة لأفلاك كثيرة.

[2]. من تلامذة أفلاطون.

أكمل كاليب (Calippe)[3] نموذج أستاذه أودوكسوس بزيادة سبعة أفلاك، فصار العدد 34 فلكا. وهكذا أنقذ هذا النموذج الظواهر المتعلقة بالسرعة والإبطاء والتوقف والتراجع؛ لكنه فشل في حل مشكلة اختلاف اللمعان الراجعة إلى تغير المسافة (أي قرب الكوكب تارة من الأرض وبعده عنها تارة).

تعزز اتجاه الفلك الرياضي كثيرا في العصر الهيلينستي. لقد كان الفلكيون الإسكندرانيون رُصّادا بارعين، إذ امتلكوا آلات للرصد بالغة الدقة؛ واهتموا بمواقع النجوم وتصنيفها وتحديد حركاتها. ولقد كان سجل النجوم المنسوب إلى **هيبارخوس** (Hipparque)[4]، وكانت أزياج **بطلميوس**[5] الخاصة بحساب حركات الكواكب، دقيقين بحيث إن كولومبوس وفاسكودي غاما استخدماها في الإبحار مع تعديلات طفيفة. وفضلا عن ذلك كان هؤلاء رياضيين بارعين. لقد أصبح علم الفلك معهم هندسة سماوية (géométrie céleste) مجردة مفصولة عن الواقع الفيزيائي. إنه مجرد منهج مفيد في حساب حركات ومواقع الكواكب المتحيرة، ولكنه لا يقول شيئا عن طبيعة الكون. لا يهتم علم الفلك الرياضي إذن لا بالأسباب والعلل، ولا بطبيعة الأجرام السماوية أو ماهيتها، بل يسعى فقط إلى رد الظواهر إلى نظام معقول بأكثر من طريقة.

يقول **بطلميوس:** « إننا نرى أن هدف علم الفلك هو الاجتهاد في البرهنة على أن جميع ظواهر السماء تحدث عن حركات دائرية ومتشاكلة». كما يقول أيضا، إن مهمة عالم الفلك تتمثل في البرهنة على أن الاختلالات الظاهرة الخاصة بالكواكب الخمسة والشمس والقمر، «يمكن ردها إلى حركات دائرية متشاكلة، لأن هذه الحركات هي الوحيدة التي تلائم طبيعتها

---

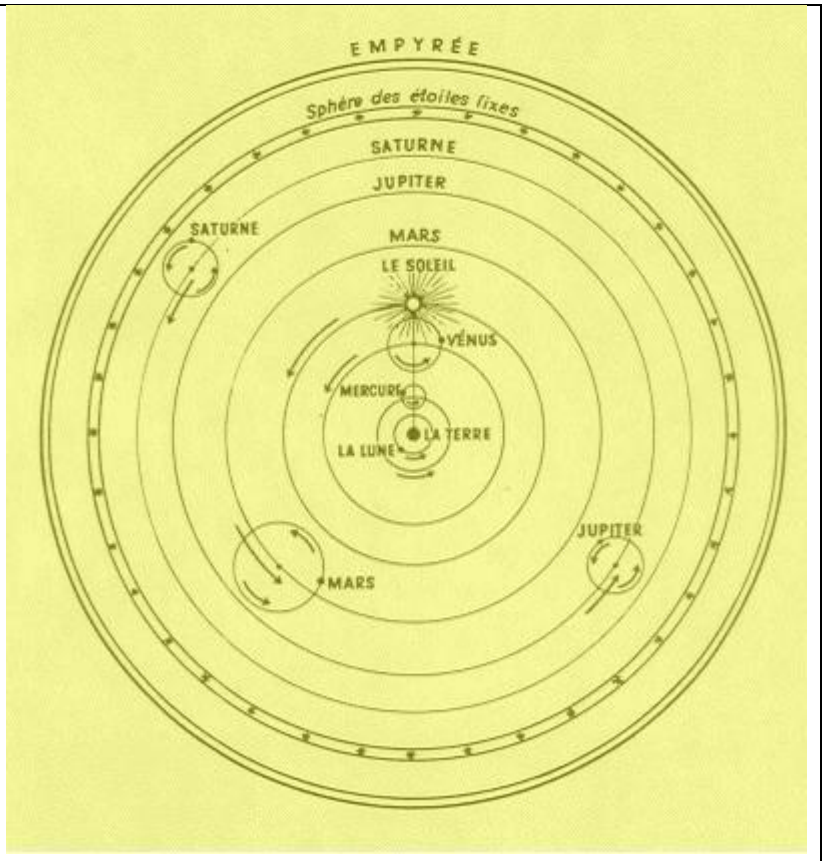
3. فلكي يوناني تلميذ لأودوكسوس وأرسطو، وصديق لهذا الأخير.

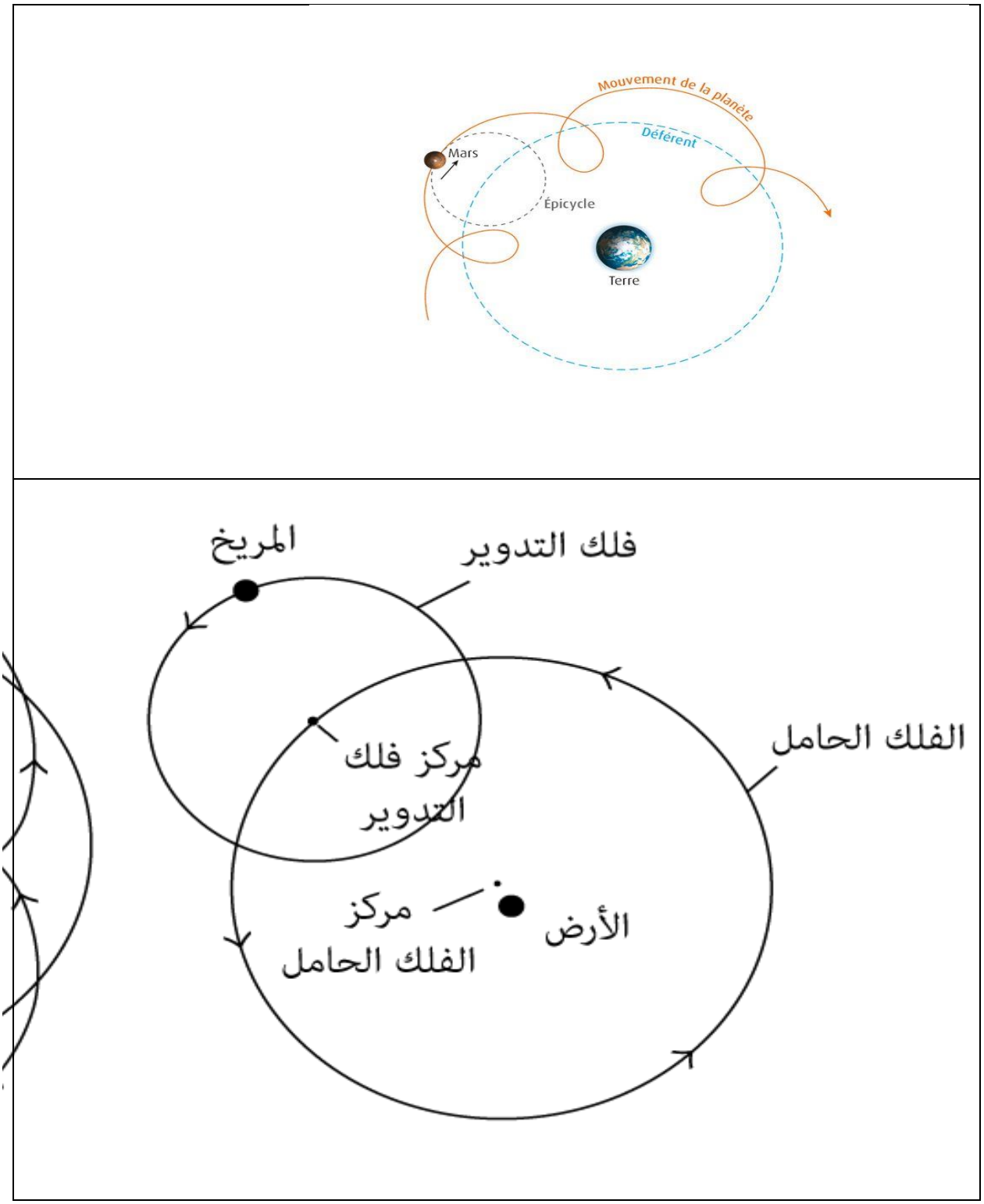
4. فلكي ورياضي يوناني عاش في القرن الثاني قبل الميلاد.

5. كلوديوس بطوليمايوس (*Claúdios Ptolemaîos*): فلكي ومنجم ورياضي إسكندراني عاش في القرن الثاني بعد الميلاد، وهو مؤلف "المجسطي" الذي ظل أهم كتاب فلكي حتى ظهور كتاب كوبيرنيكوس "في دورات الأفلاك السماوية".

الإلهية... ونحن محقون في القول بأن إنجاز هذه المهمة هو الهدف الأقصى للعلم الرياضي القائم على الفلسفة».

إن أبرز أعلام المدرسة الإسكندرانية هو بطلميوس. عمم بطلميوس، في سعيه لتعليل اختلال حركات الكواكب، الفرضية التي قدمها أبولونيوس (Apollonius de Perga) لتعليل تحير كوكب كوكب واحد، وهي فرضية فلك التدوير. تتميز فرضية حركة التدوير عن فرضية تعدد الأفلاك بقدرتها على تقديم تعليل معقول لاختلاف اللمعان والحجم وتغير المسافة، فضلا عن قدرتها على تعليل التحير. استعاد بطلميوس كوصمولوجيا أرسطو مع تخليه عن فيزيائه. فالأرض في نظامه الفلكي ذات شكل يكاد يكون كرويا، ويقع في وسط السماء، أي قرب مركز العالم؛ والكواكب تدور حولها محمولة على أفلاك تدوير (épicycles) ترسم مراكزها دوائر خارجة المركز، أي أنها ترسم في دورانها دوائر صغرى مركزها هو الأفلاك الحاملة (les déférents). انظر الأشكال الآتية أسفله.





وهكذا فإن الأفلاك المتعددة ذات المركز الواحد أو الأفلاك الخارجة المركز أو أفلاك التدوير ما هي إلا حِيَلٌ هندسية يتم افتراضها لإنقاذ الحركات الظاهرة للكواكب. إن الهدف منها ليس

هو وصف واقع حقيقي، أو تحديد ماهية الأجرام السماوية وتحديد حركاتها الحقيية، وإنما بناء نموذج هندسي يقدم صورة تقريبية عنها، صورة تتوافق مع الأرصاد فقط.

ب: الفيزياء المشائية: معالمها ونواقصها.

كان **أرسطو** يعرف جيدا نظرية **أودوكسوس**، كما كان صديقا **لكاليب** الذي تمم عمل أستاذه أودوكسوس؛ الأمر الذي يترتب عنه أنه كان يعرف جيدا منهج عالم الفلك كما حدده أفلاطون. غير أن المعلم الأول طالب النظرية الفلكية بأن لا تقتصر على "إنقاذ المظاهر"، بل عليها أيضا أن تستند إلى فرضيات مطابقة لطبيعة الأشياء، أي تطابق الواقع. وهكذا طالب الفلكيين بتقديم فرضيات تستجيب لشروط فيزيائية هي:

- الكون كروي؛
- الأفلاك السماوية الحاملة للكواكب والمحركة لها هي أجسام صلبة؛
- للأفلاك حركة دائرية منتظمة حول مركز العالم؛
- مركز العالم تشغله الأرض التي لا تتحرك.

إن هذه الاعتبارات كلها هي اعتبارات فيزيائية تتعلق بطبيعة الأجسام: فالأرض ثقيلة، ومكانها الطبيعي هو مركز العالم؛ أما الأجرام السماوية، فهي كاملة وشريفة، ولا يليق بها إلا أكمل الحركات، وهي الحركة الدائرية. عبر **ابن رشد** عن هذا المطلب الفيزيائي عندما طالب علم الفلك بأن يستمد مبادئه من علم الطبيعة الأرسطي الذي اعتبره علما حقا، ورفض فلك بطليموس، لأن «القول بفلك التدوير والخارج المركز أمر خارج عن الطبع». هكذا حكم ابن رشد على فلك عصره الذي كان يستند إلى نظرية بطلميوس:

«إن علم الهيئة [=علم الفلك] في وقتنا هذا ليس منه شيء موجود، وإنما الهيئة الموجودة في وقتنا هذا هي هيئة موافقة للحساب لا للوجود».

وحتى نأخذ فكرة وافية عن هذه الشروط المقيِّدة لعمل علماء الفلك، لابد من تقديم تصور مجمل عن طبيعيات (فيزياء) أرسطو.

تستند فيزياء المعلم الأول إلى معطيات ووقائع بسيطة نقبلها جميعا. فسقوط جسم ثقيل أمر يبدو لنا "طبيعيا"؛ أما صعوده إلى أعلى بحرية –إن حصل– فهو الذي سيثير دهشتنا باعتباره أمرا مضاد للطبيعة. واتجاه لهبِ شُعلةٍ نحو "الأعلى" يبدو لنا أمرا "طبيعيا"، ولذلك نضع الطناجر "فوق" النار؛ أما اتجاهه نحو "الأسفل" –إن حصل– فهو الذي سيثير دهشتنا ويدعونا إلى البحث عن تفسير..

يبدأ العلم حسب **أرسطو** عندما نسعى إلى تفسير الأشياء التي تبدو طبيعية. وتمييزه بين الحركات "الطبيعية" والحركات "القسرية" يقع داخل تصور شامل للواقع الفيزيائي. وأهم مبادئ هذا التصور الشامل هي:

- الاعتقاد في وجود "طبائع" محددة كيفيا؛
- الاعتقاد في وجود "كوصموص": أي الاعتقاد في أن كل الأشياء والكائنات خاضعة لمبادئ تجعلها تشكل كلا منظما تنظيما تراتبيا.

لقد كان "**الطبيعي**"، في التصور الأرسطي الذي ظل مهيمنا حتى مشارف الأزمنة الحديثة، يدل على نمط وجود مقابل "**للمصنوع**". ليس للشيء المصنوع طبيعة مخصوصة؛ فمبدأ حركته (أي انتقاله من القوة إلى الفعل مثلا) يوجد في الصانع. أما الطبيعي، فله **طبيعة** تخصه. وطبيعته هذه هي مبدأ حركاته (أي أن نموه أو نقصانه، وتغير حاله، وتنقله في المكان، أمور تحدث له وفيه من تلقاء ذاته). ولذلك اعتُبرت **الطبيعة** مبدأ محدِّدا لحركة

الأجسام الطبيعية، أي مبدأ يفسر سكون الأجسام الطبيعية وحركاتها المختلفة (التغيرات التي تمس كمَّ الجسم زيادةً ونقصانا، وكيفَهُ استحالةً، وموضعَهُ نَقْلةً).

يتألف مجموع الواقع الفيزيائي [=العالم]، بحسب هذا التصور، من كائنات لها "طبائع" مختلفة نوعيا. وتلك الطبائع تحدد نوعَ حركةِ هذه الكائنات ومواضعها التي تسكن فيها وتجد فيها كمالها. تحتل الأرض، مركز العالم؛ الأمر الذي يجعلها تصلح نقطة مرجعية لتحديد حركات باقي كائنات الطبيعة:

- فهي مرجع لتقدير حركات **الأجسام الأرضية** المركبة من العناصر الأربعة (التراب والماء والهواء والنار). بما أن هذه الأجسام بسيطة، فإن حركاتها لا بد وأن تكون بسيطة. إن حركاتها جميعا تختلف باختلاف ثقلها وخفتها. ولما كان التراب هو العنصر الثقيل بإطلاق، فإن حركته الطبيعية تكون من أعلى إلى أسفل (نحو المركز). ولما كانت النار هي العنصر الخفيف بإطلاق، فإن حركتها الطبيعية تكون من أسفل إلى أعلى (من المركز). ولما كان الماء أثقل من الهواء وأخف من التراب، وكان الهواء أخف من الماء وأثقل من الهواء، فإن موضعهما كائن بين فلكي التراب والنار، بحيث يكون الهواء تحت النار وفوق الماء؛ وكل منهما يتحرك إلى موضعه على نحو طبيعي. وهكذا فإن جميع حركات هذه الأجرام البسيطة هي حركات مستقيمة تتجه إما إلى فوق وإما إلى تحت، أي إما من المركز وإما نحو المركز.
- وهي أيضا مرجع لتحديد حركات **الأجرام السماوية**. وبما أن هذه أجسام شريفة مكونة من مادة خامسة (=الأثير) لا تتوارد عليها الأضداد، فإن أليق الحركات بها هي الحركة المستديرة حول المركز.

فـ"الطبيعة" إذن، مبدأ في الجسم الطبيعي يحدد نوع حركته، واتجاهها، وغايتها، وتسارعها أو تباطؤها، وتوقفها. وهكذا، للأجرام السماوية البسيطة طبيعة خاصة هي السبب في حركاتها

المستديرة الدائمة حول المركز؛ وللأجسام الأرضية طبيعة مخصوصة هي السبب في حركاتها المستقيمة المؤقتة من المركز (إلى فوق) أو نحو المركز(إلى تحت)، وفي ما يطرأ عليها من تغيرات كمية وكيفية.

فلنلاحظ هنا أن مفهوم الحركة عند أرسطو لا يقتصر على الحركة الموضعية أو النقلة في المكان، بل يشمل أيضا التغيرات التي تطرأ على الأجسام من قبيل التغير في كم الشيء زيادة أو نقصانا، والتغير الكيفي الذي سماه قدماؤنا بـ"الاستحالة". وهكذا فإن نمو الشجرة، وتحوُّل لون أوراقها من الأخضر إلى البني مثلا، يُعتبر عند أرسطو حركة تحتاج إلى تفسير فيزيائي. والحركة، بهذا المعنى الواسع، محصورة دائما بين حدين: حد أولي وحد نهائي؛ فإذا ما تحققت الإمكانات التي ينطوي عليها الحد الأول بالقوة، انتهت بالسكون الذي هو الحد الثاني: ينمو الطفل مثلا من جهة أن فيه إمكان أن يصير راشدا؛ فإذا تحقق هذا الإمكان توقف النمو. وبعبارة أخرى إن كل حركة تحدث بين ضدين (أبيض↔ أسود، صغير↔ كبير، أسفل ↔ أعلى...). ثم إن الحركة هي تغير يصيب حال الجسم المتحرك أو بنيته الداخلية، أو لنقل إنها سيرورة تغير تؤدي إلى التأثير في بنية هذا الجسم (كونا أو فسادا، نموا أو نقصانا، استحالة...). وهذا التغير في حالة الجسم المتحرك لا يمكن أن يحدث من دون سبب داخلي أو محرك خارجي. إذا كانت **الحركة طبيعية**، فإن المحرك عندئذ هو طبيعة الجسم ذاتها التي تعيده إلى موضعه الطبيعي. أما إذا كانت حركة تخالف طبيعة الجسم المتحرك، أي **حركة قسرية**، فإن المحرك عندئذ يكون خارجيا، وهو يؤثر في هذا الجسم إما بالدفع وإما بالجر.

إن مجموع الواقع الفيزيائي، الذي سماه اليونانيون بالـ"كوصموص"، ليس مجرد نظام هندسي تتوزع فيه الأجرام وفقا لطبائعها الكيفية، بل هو كذلك نسق تتحدد فيه المكانة الأنطولوجية للكائن بحسب طبيعته التي تؤهله لأن يحتل أحد المواضع المعلومة داخل هذا المجموع المحكم الترتيب. للكوصموص شكل كروي، وهو يحوي أفلاكا عديدة تدور كلها حول

الأرض؛ وكل فلك يفوق في الشرف الفلك الذي دونه، وصولا إلى أعلاها شرفا، وهو الفلك المحيط أو فلك النجوم الثوابت. ينقسم هذا الكوصموص إلى عالمين متمايزين **مكانيا** (ما فوق القمر، وما تحت القمر)، **وماديا** (الأثير لأجرام العالم العلوي، والعناصر الأربعة لأجسام ما دون فلك القمر)، **وصوريا** (الحركة المستديرة للسماوات، والحركة المستقيمة للأرض). وبين العالمين فارق أنطولوجي وقيمي راجح طبعا لصالح السماء.

تستطيع الرياضيات تحديد حركات الأجرام السماوية، وتبرير "تحيُّراتِها"، ولكن دون ادعاء أي شيء عن طبائعها؛ لأن عالم السماوات وحده ينطوي على انتظام وثبات لا نجد لهما نظيرا تحت فلك القمر. وبعبارة أخرى، يمكن التعويل على الرياضيات لـ"إنقاذ الظواهر" السماوية، من خلال بناء نماذج رياضية (هندسية) تردُّ الاختلالات الملحوظة في حركات الأجرام السماوية (التوقف والتراجع والإسراع والإبطاء) إلى نظام وانتظام غير ملحوظين. وباختصار، إن **علم الفلك الرياضي أمر ممكن**. أما عالم ما دون فلك القمر، فهو عالم التقلب: فأشياؤه تتكون، وتصير، وتفسد. وحركة هذه الأشياء ذات طابع كيفي، إذ هي ليست حالة، بل سيرورة تغيُّرٍ لها بداية، ولها غاية تقف عندها. كما أن لها تأثيرا على الجسم المتحرك، ولا يمكن أن تستمر تلقائيا وآليا في غياب الفعل المستمر لمحرك خارجي. لا تستطيع الرياضيات المجردة أن تقول شيئا عن هذا العالم الحسي الذي تتباين طبائعُ أشيائِه ومواضعُها وحركاتُها تباينا كيفيا، إذ «لا كَيْفَ ولا حركة في مملكة الأشكال والأعداد، التي لا يجري عليها زمانٌ». ليس ثمة تجانس بين **المكان الفيزيائي** و**الفضاء الهندسي**، إذ توجد في الأول اتجاهات ومواضع متباينة كيفيا ومتراتبة قيميا، وهو الإطار الأنسب الذي فيه يمكن للأجسام المختلفة في الطبيعة أن تتوجه وتهتدي إلى مواطنها حيث تسكن. أما الثاني، فإطار مجرد لا كيفَ فيه ولا حركة ولا مواضع مخصوصة ولا اتجاهات معلومة. وبالتالي فإن الجسم، إذا ما وُجد في هذا الفضاء، لن يكون لديه سبب يدفعه أن يذهب نحو اتجاه معين،

لا بل ليس لديه سبب لأن يتحرك على الإطلاق؛ وإذا تم تحريكه، فلن يكون هناك سبب لأن يتوقف هنا وليس هناك، لا بل ليس هناك سبب لأن يتوقف على الإطلاق.

لقد أدرك المعلم الأول أن **الفراغ أو الخلاء** (le vide)، أي الفضاء الهندسي، يحطم تماما نظام الكوصموص. ففي الفراغ لا توجد مواضع طبيعية، لا بل لا توجد مواضع بتاتا؛ لأن الفضاء الهندسي متجانس تماما. إن فكرة الفراغ تتعارض تماما مع مفهوم الحركة باعتبارها سيرورة تغير. إنه فضاء لا يصلح إلا للأجسام الهندسية المجردة من الطبائع والخصائص الكيفية. ولذلك أكد أرسطو أن الخلط بين الهندسة والفيزياء، وتطبيق المنهج والاستدلال الهندسيين في دراسة الواقع الطبيعي، أمران غير مقبولين.

غير أن الديناميكا الأرسطية، ورغم قوتها واتساقها النظريين، تضمنت نقطة ضعف انتبه إليها الكثيرون حتى في العصر القديم. يتعلق الأمر بتجربة يومية، ملحوظة من قبَل الجميع، عجزت هذه الديناميكا عن تقديم تفسير معقول لها: إنها تجربة **الرمي** (la projection)؛ والرمي حسب مبادئ الديناميكا الأرسطية حركة قسرية. عندما نرمي أو نقذف جسما يظل هذا الأخير يتحرك حتى بعد بعد انفصاله عن محركه الأصلي (حركة السهم بعد انفصاله عن القوس، حركة الحجر المقذوف، الدوران المستمر للعجلة...). تتعارض هذه الظاهرة مع المبدأ القائل إن استمرار الحركة القسرية يقتضي قوة خارجية مماسة للجسم المتحرك؛ ذلك أن الجسم المتحرك هنا ينفصل عن المحرك (الرامي)، ومع ذلك يواصل حركته في اتجاه مخالف لاتجاهه الطبيعي.

فسر المعلم الأول هذه الظاهرة برد فعل الهواء. فالهواء هو الوسط الذي يخترقه الجسم المرمي، وبما أن دفعه أسهل وأسرع، فإنه يجر معه المرمي. هكذا منح أرسطو للهواء ما امتنع عن نسبته إلى الرامي. تعرض هذا التفسير منذ **يوحنا النحوي** (القرن 6 م) لنقد مفاده أن الهواء ليس محركا بل مقاوما للحركة. فكيف يمكن للهواء أن يكون في الآن نفسه محركا

ومقاوما للحركة؟ لِمَ لا نفترض أن المحرك يَمُدُّ الجسم المتحرك بقوة غير مادية (*dynamis*) تجعله يواصل حركته إلى أن تضعف هذه القوة المطبوعة، فيرتد إلى موضعه الطبيعي؟

قدم يوحنا النحوي الملامح الأولى لهذه النظرية التي سميت **بفيزياء الدفع أو الميل** (la physique de l'impetus)، وقد تعرف عليها الفلاسفة والعلماء في العالم الإسلامي، فناصرها ابن سينا وابن باجة والبطروجي، وأدركت شكلها الأكثر تنسيقا وتعميما مع **جون بوريدان** (Jean Buridan) في القرن 14. إن هذه النظرية محاولة لتطوير فيزياء أرسطو وسَدِّ إحدى ثغراتها. ومبدأها الأساسي هو أن «العلة المحركة المسؤولة عن تواصل حركة القذيفة... [عبارة] عن قوة منطبعة قائمة كخاصية بحتة في المتحرك، يتلقاها من القاذف الأول ويحتفظ بها ويستعملها للحفاظ على حركته حتى نفاذها». وبعبارة أخرى، إن القاذف يطبع في المقذوف قوة يختزنها هذا، ثم يصرفها وهو يتحرك؛ وعندما تضعف هذه القوة وتصير مساوية للصفر، يعود المقذوف إلى موضعه الطبيعي.

تتوافق ديناميكا الدفع أو الميل أكثر من ديناميكا أرسطو مع الوقائع، وخصوصا مع تلك التي مفادها أن كل قذيفة تبدأ بتنامي سرعتها، وتحصل على أقصى سرعة في زمن يسير بعد انفصالها عن المحرك. إن المهم في ديناميكا الميل هو أنها لم تعد تعتبر الحركة سيرورة تحقق (processus d'actualisation)، ولكنها مع ذلك بقيت تغيرا؛ والتغير يحتاج إلى تفسير. إن القوة المطبوعة في المتحرك هي السبب المحايث الذي يُحدث الحركة (رغم أنه ليس داخليا مثل "الطبيعة"). ودورها لا يقتصر على التحريك، بل يشمل أيضا تخطي المقاومة التي يواجه بها الوسط الحركة.

يقول **بوريدان** بعد نقد التفسير الأرسطي لتواصل حركة القذيفة: «يبدو لي أن ما يجب قوله هو أنه عندما يحرك المحرك جسما ما، فإنه يطبع فيه ميلا أو قوة قادرة على تحريك المتحرك في الاتجاه نفسه الذي يدفعه إليه المحرك **سواء أكان هذا نحو الأعلى أو نحو الأسفل، إلى هذا الجانب أوذاك أو دائريا**... فهذا الميل هو الذي يجعل حركة المقذوفة

تتواصل بعد انفصالها عن المحرك. وبفعل مقاومة الهواء وتأثير الثقالة أيضا التي تدفع بالحجر المتحرك في اتجاه مخالف لاتجاه المحرك، يتناقص تأثير المحرك ويضعف إلى درجة تتغلب فيها عليه الثقالة، فيتجه المتحرك نحو مكانه الطبيعي».

يبين لنا نص بوريدان أن **الميل** أصبح مبدأ تفسيريا لا للحركة القسرية فقط، بل حتى للحركة الطبيعية مستقيمة كانت أو دائرية. ولهذا يخالف بوريدان أرسطو حتى في تفسير حركات الأفلاك السماوية. إن دوام هذه الحركات وانتظامها لا يعود إلى كونها مكونة من عنصر أزلي وبسيط (=الأثير)، بل إلى ميل طبعه الله فيها عندما خلق العالم. وبما أن العالم السماوي خال من الهواء ومن أي وسط مقاوم، فإن حركات الأفلاك فيه دائمة.

تكمن أهمية نظرية الميل في أنها هيأت الأرضية الميتافيزيقية الملائمة للقبول بفكرة وحدة العالم من جهة قوانين حركات أجسامه أرضية كانت أو سماوية.