جامعة مولاي إسماعيل — الموسم الدراسي 2019-2020

كلية الآداب والعلوم الإنسانية — الدورة الربيعية

شعبة الفلسفة — الفصل الرابع

وحدة: نشأة العلم الحديث — الأستاذ: محمد منادي إدريسي

**محاور الوحدة:**

**I. العلم القديم**

**1. الفلك الرياضي: مسلماته وفرضياته وأغراضه.**

**2. الفيزياء المشائية: معالمها ونواقصها.**

**II. العلم الحديث:**

**1. النواة الكوبيرنيكية: الإصلاح الفلكي**

**2. مسار انتصار الكوبيرنيكية**

## II. العلم الحديث

كانت النواة الأساسية للثورة الكوبيرنيكية عبارة عن تحول مفهومي مَسَّ أساسا التفاصيل الدقيقة لعلم الفلك الذي كان إلى ذلك الحين يُعَدُّ واحدا من الصنائع الرياضية[1]. لكن الهزَّة المفهومية التي أصابت هذا العلم أفضت إلى تغيرات مست تصور الإنسان للعالم والطبيعة والألوهية، أي أنها أدت إلى حصول تحول مفهومي مس الكوصمولوجيا والفيزياء والفلسفة (بقسميها النظري والعملي) والدين.

يكمن جوهر الإصلاح الكوبيرنيكي لعلم الفلك الرياضي في نقل وظائف عديدة كانت تُنسب إلى الأرض إلى الشمس. كانت الأرض منذ زمن طويل وحتى ذلك الوقت تُعدُّ المركز الثابت الذي بالنسبة إليه يَحْسِب الفلكيون حركات ومواقع النجوم والكواكب. أما في الإصلاح الجديد، فقد فقدت الأرض هذا الوضع الفلكي الخاص، وصارت كوكبا سيارا كسائر الكواكب السيارة الأخرى.

لكن ميزة الثورة الكوبيرنيكية تتمثل في أنه لا يمكن اختزالها إلى هذا الإصلاح الفلكي. ذلك أن تغيرات جذرية أخرى ترتبت على هذا الإصلاح، بحيث أصبح الإنسان الحديث يتمثل الطبيعة والعالم والألوهية على نحو يختلف تماما عن تمثله لهذه الأمور قبل نشر كتاب "دورات الأفلاك السماوية" سنة 1543. لم تحصل هذه التحولات بين عشية وضحاها، بل اقتضت مدة زمنية تمتد من سنة 1543 إلى سنة 1687 تاريخ نشر كتاب كتاب **نيوتن** (Newton) "المبادئ الأساسية للفلسفة الطبيعية"، مرورا بأعمال غاليلي وكبلر وديكارت وآخرين. وهذا يبين أن الثورات الفكرية لها تاريخ.

---

1. طوال العصور الوسطى اعتُبر علم الفلك واحدا من الصنائع الرباعية (quadrivium) إلى جانب الحساب والهندسة والموسيقى؛ وهذه العلوم مجتمعة كانت تسمى في العالم الإسلامي بعلوم التعاليم.

يرى **ألكسندر كويري** أن التحولات الفكرية الكبرى التي أفضى إليها الإصلاح الفلكي الكوبيرنيكي يمكن رَدُّها إلى عنصرين هامّين تربط بينهما صلة وثيقة، وهما انهيار الكُوصموص (la destruction du Cosmos) وإسباغ الطابع الهندسي على المكان ( la géométrisation de l'espace)، أي:

أ. انهيار العالم الذي اعتُبِر كلّاً متناهيا مُحكم التنظيم، العالم الذي كانت فيه بنية المكان تُجسد تراتب القيم والكمال، وكانت فيه الأفلاك السماوية والكواكب المُضيئة التي لا وزن لها ولا يصيبها تغير ولا فساد، "تعلو فوق" الأرض المُعْتِمَة والثقيلة التي هي مركز نِطاقِ التغير والفساد (=نطاق ما تحت القمر)، وتعويضه بِكَوْنٍ (Univers) غير محدود، لا بل غير متناه، لا ينطوي على أي تراتب طبيعي ولا يستمد وحدته إلا من هوية القوانين الناظمة له في سائر أجزائه، ومن هوية مكوناته الأخيرة المتموضعة في نفس المستوى الأنطلوجي.

**ب.** استبدال مكان الهندسة الأقليدية بالتصور الأرسطي للمكان. فالمكان الأرسطي عبارة عن مجموعة مواضع متمايزة داخل العالم؛ بينما المكان الهندسي الأقليدي عبارة عن امتداد متجانس وغير متناه بالضرورة. وتبعا لهذا الاستبدال اعتُبِر هذا الأخير منذ ذلك الحين متماهيا في بنيته مع المكان الواقعي للكون. وهذا ما ترتب عليه بدوره **رفض الفكر العلمي لجميع الاعتبارات القائمة على مفاهيم القيمة والكمال والتناغم والمعنى والغاية، وأخيرا انتزاع القيمة من الوجود انتزاعا تاما، والطلاق البائن بين عالم القيم وعالم الوقائع.**

## 1. النواة الكوبيرنيكية: الإصلاح الفلكي

لم يكن كوبيرنيك[2] أول القائلين بأن الشمس ثابتة في مركز العالم، وأن الأرض وسائر الكواكب تدور حولها (l'univers héliocentrique)، بل إن هذه الفكرة معروفة منذ العصر القديم في علم الفلك اليوناني؛ وأبرز من قال بها صراحة من بين القدماء هو أرسطارخوس الساموسي في القرن الثالث قبل الميلاد[3]. نحن لا نعرف عن نظرية هذا الفلكي إلا ما أخبرنا به **أرخميدس** في شذرة بقيت من كتاب مفقود جاء فيها ما يلي:

«لقد افترض [أرسطارخوس الساموسي] أن النجوم والشمس ثابتة، وأن الأرض تتحرك على نحو مستدير حول الشمس».

لم تُقبل فكرة ثبات الشمس وحركة الأرض طوال العصرين القديم والوسيط، لأنه لم يوجد إطار نظري (أوليات ومبادئ ومفاهيم...) يحتضنها ويجعلها معقولة، ولم يوجد أساس فيزيائي ملائم يسندها؛ ثم إن **أرسطارخوس** لم يستثمر فرضية دوران الأرض وثبات الشمس في حل مشكلة تحير الكواكب. وبعبارة أخرى، لم يقبل العلم القديم هذه الفكرة أبدا، **أولا**، لأن صياغتها لم تصل درجة من الكمال تجعل منها نظرية فلكية قابلة للاستخدام العملي، **وثانيا** لأنها لم تتمكن أبدا من تقديم أجوبة على الاعتراضات الفيزيائية على حركة الأرض. غير أن مصير فرضية ثبات الشمس وحركة الأرض كان مختلفا مع كوبيرنيك، لأن نظرية الميل قد وفرت الإطار النظري الذي جعلها قابلة للمناقشة (نيقولا الكوزي[4]، ونيكول أوريسم[5])؛ وفضلا عن ذلك فإن كوبيرنيك قد استثمر فكرة مركزية الشمس ودوران الأرض في تقديم حلول

---

2. Nicolaus Copernicus: (1473–1543) فلكي ورياضي وطبيب بولندي

3. Aristarque de Samos: فلكي ورياضي يوناني عاش في النصف الأول من القرن الثالث قبل الميلاد.

4. Nicolas de Cues: لاهوتي وفيلسوف ولد في ألمانيا سنة 1401، وتوفي سنة 1464.

5. Nicole Oresme: لاهوتي وفيلسوف ورياضي ولد في ألمانيا حوالي 1320–1322، وتوفي سنة 1382. ناقش احتمال دوران الأرض حول محورها. لقد أكد أن جميع الحركات نسبية؛ وفي غياب نقطة مرجعية يستحيل تحديد ما إذا كانت الأرض هي التي تتحرك أم السماء هي التي تدور حولها. لكنه رجح ثبوت الأرض ودوران السماء.

لمشكلات فلكية متعلقة بالحسابات والتنبؤات الفلكية المتعلقة بمواقع الأجرام السماوية وحركاتها. وفي هذا درس إبستمولوجي كبير يتمثل في أن الفكرة لا تكون حقيقية في حد ذاتها، بل تكون كذلك إن وُجد إطار نظري يجعل منها قضية مُبرهنة، أو فرضية تحل مشكلات نظرية، أو فكرة معقولة تبررها حجج وجيهة.

تُعَدُّ سنة 1543 سنة مفصلية في تاريخ الفكر البشري؛ ففيها صدر كتاب "دورات الأفلاك السماوية" (*Des révolutions des orbes célestes*) لكوبيرنيك. إنها ترمز إلى نهاية عالم وبداية عالم آخر، نهاية العصرين القديم والوسيطي وبداية الأزمنة الحديثة، إذ مع كوبيرنيك كَفّت الأرض عن أن تكون أرضية، أي مركزا بالنظر إليه تُعرف اتجاهات المكان (فوق – تحت)، وتُحدَّد حركات الأجسام، فأصبحت كوكبا سيارا يجوب الآفاق.

لا يستمد عمل كوبيرنيك قيمته العظيمة من معطيات لم يكن للسابقين عهد بها. فهو لم يكن متفوقا على الفلكيين الإسكندرانيين لا فيما يتعلق بمعطيات الرصد، ولا في آلات الرصد، ولا في المهارة الهندسية، بل إنهم كانوا متفوقين عليه في هذه الجوانب كلها؛ ولكن الشروط النظرية في عصره جعلته يرى ما لم تسمح لهم شروط عصرهم برؤيته. إن عظمته تكمن في تصور وصياغة إطار نظري جديد تنتظم فيه المعطيات القديمة (التي كانت معروفة عند الإسكندرانيين) وتُؤَوّل على نحو مختلف عن الانتظام والتأويل المعروفين منذ بطلميوس.

بيد أن **نسق كوبيرنيك** –أو لنقل تأويله الجديد لمعطيات الرصد القديمة– لم يكن، فيما يخص الحساب على الأقل، أكثر اتفاقا مع الظواهر القابلة للملاحظة من **نسق بطلميوس**. وهكذا، إن نظرنا إلى النسقين من زاوية حساب مواقع الكواكب وحركاتها، وهو ما كان يَهُمُّ التوظيف

العملي[6]، فإن فلك بطلميوس كان يستجيب للحاجات العملية بطريقة مُرْضية، وبالكاد يمكن القول إن فلك كوبيرنيك أفضل منه من هذه الناحية.

لم يخترع كوبيرنيك أي جديد تقريبا من حيث التقنية الرياضية الموظفة في إنقاذ الظواهر، بل إن تبويبه وعرضه للمسائل الفلكية في "دورات الأفلاك السماوية، متطابقان مع تبويب وعرض هذه المسائل في "مجسطي" بطلميوس. لقد أدى نَقْلُ كوبيرنيك مركز الحركات من الأرض إلى الشمس إلى قلب نظام العالم، وليس إلى تغيير البنية الرياضية لعلم الفلك. ومن هذه الزاوية ظل كوبيرنيك تلميذا، تلميذا نجيبا لبطلميوس، ولم يمتز على الإسكندرانيين إلا في كونه وظف الجيوب (les sinus) في حساب المثلثات على غرار الفلكيين في العالم الإسلامي.

لكن علم الفلك ليس علما رياضيا بحتا: لأن الشمس والقمر والكواكب ليست كائنات رياضية (دوائر ومدارات)، بل هي أجسام فيزيائية. وإذ كان فلك بطلميوس مُرْضِيا من الناحية الهندسية، ومفيدا من الناحية العملية، فإن الأمر يختلف عندما ننتقل إلى ساحة الكوصمولوجيا، حيث يواجه الفلكي معضلات تتعلق بأجرام فعلية في مكان فيزيائي. ولذلك كانت تُوجَّه إلى الفلك الرياضي انتقادات فيزيائية من أهمها أن دوائر ومدارات الفلكيين الرياضيين تدور حول نفسها دون أن يحتل مراكزها شيء. وهذا ما كان يتعارض مع كوصمولوجيا **أرسطو** الذي اعتبر تلك الحركات مستحيلة، فوضع الأرض في مركز العالم ونسب لحركات كل كوكب من الكواكب المتحيرة مجموعة من الأفلاك المتداخلة المركز. ولذلك أدى التعارض بين الفلاسفة والرياضيين منذ العصر القديم، وخصوصا منذ تجدد الدراسات الفلكية ابتداء من النصف الثاني من القرن الخامس عشر، إلى:

أ. ظهور محاولات للتوفيق بين نسقي أرسطو وبطلميوس؛

6. من أهم الاستخدامات العملية للحسابات الفلكية نجد: تحديد المواقيت (الفصول- الصلوات- الأعياد...)، الاهتداء بالنجوم في الصحاري والبحار...

ب. ظهور محاولات لإلغاء المشكلة تماما عن طريق اعتبار الفلك الرياضي إجراء حسابيا بحتا لا يسعى بتاتا إلى تمثل حقيقة النظام الكوني، بل يسعى فقط إلى أن يحسب مسبقا، أي أن "يتوقع"، مواقع الكواكب.

## العرض الأول لنظرية كوبيرنيك في الـ "***Commentariolus***"

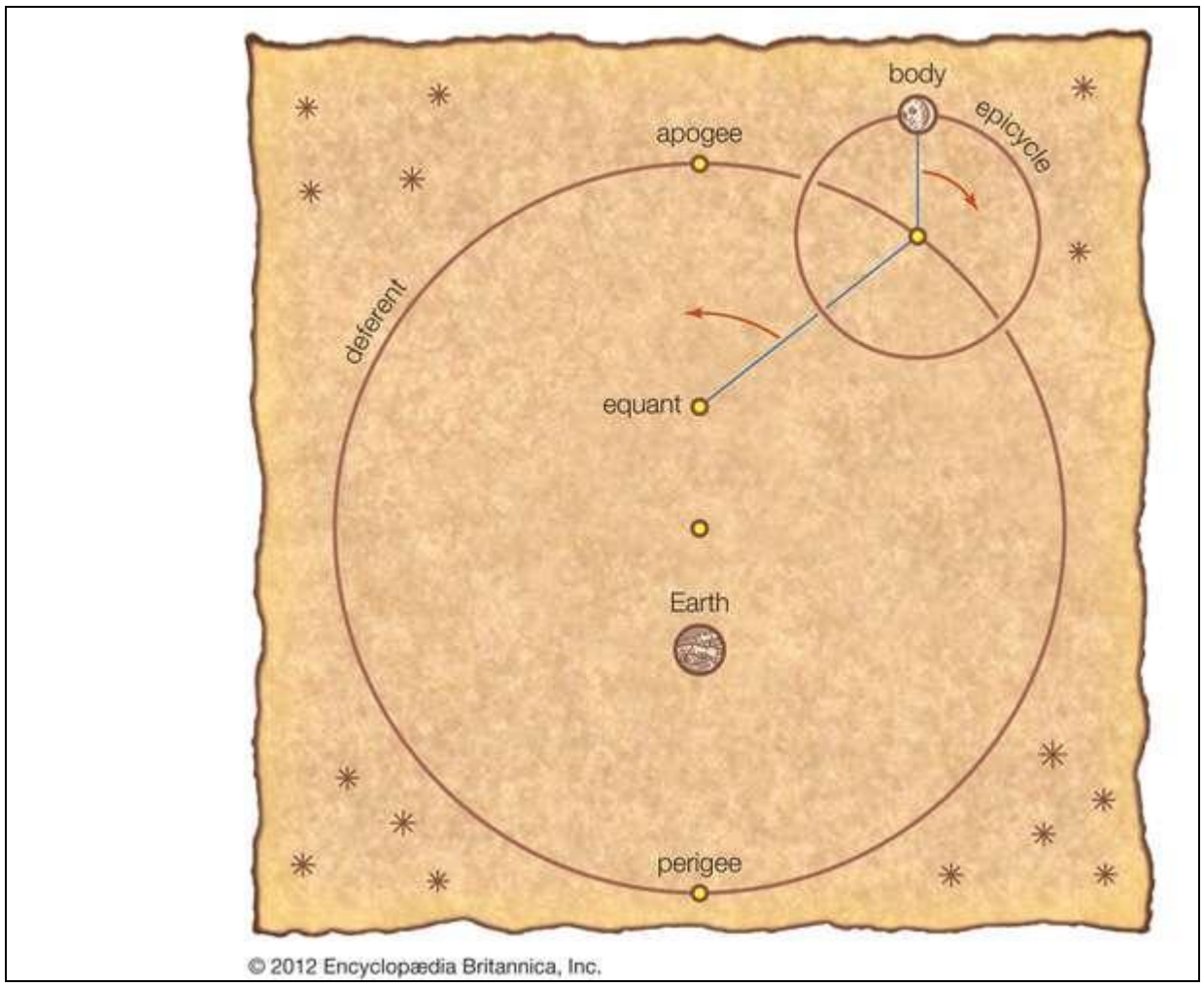
قبل صدور كتاب كوبيرنيك الأساسي "الدورات"[7]، بوقت طويل (بين 1515–1518) ألف كوبيرنيك عرضا موجزا وأوليا لتصوره للعالم في كتيب راج بين أصدقائه، وعُرف تحت عنوان « Commentariolus».

ابتدأ **كوبيرنيك** هذا الكتيب بتذكيرنا بأن هدف علم الفلك، كما تصوره أسلافنا، هو رَدُّ الحركات الظاهرة للكواكب المتحيرة إلى حركات مُطّردة (mouvements réguliers)[8]، نظرا لأنه بدا من غير المعقول أن لا تتحرك الأجرام السماوية، والتي هي تامة الاستدارة، على نحو منتظم. لم تنجح **فرضية الأفلاك المتداخلة المركز** التي عمل بها كل من **أودوكسوس وكاليب**، نظرا لإخفاقها في تفسير تغير المسافات بين الكواكب المتحيرة والأرض. أما **نسق بطلميوس**، فقد حقق نجاحا باهرا من الناحية الحسابية، ولكنه يعاني من عيب خطير يتمثل في أنه لم يعرض حركات الكواكب المتحيرة باعتبارها مؤلفة من حركات مستديرة منتظمة (mouvements circulaires uniformes). ذلك أن حركة الكواكب المتحيرة لا تبدو لمن يراها على الأرض منتظمة؛ ومن أجل "إنقاذ" هذه المظاهر اضطر بطلميوس إلى إدخال نقطة تكون هذه الحركة بالنسبة إليها منتظمة. تسمى هذه النقطة التي يكون بعدها عن مركز الفلك الحامل مساوٍ لبعد مركز الفلك الحامل عن مركز الأرض بـ"مُعَدِّل المَسِير"(équant). ووفقا لهذا الافتراض تكون السرعة الزاوية ( vitesse

7. من الآن وصاعدا سنعتبر هذه الكلمة "الدورات" اختصارا لعنوان عمل كوبيرنيك "دورات الأفلاك السماوية".

8. اطَّردَ يطَّرِد ، اطِّرادًا ، فهو مُطَّرِد؛ واطَّرَدَتِ الأحْداثُ : تَتابَعَتْ، تَثالَتْ، تَوَاتَرَتْ. واطراد الحركات السماوية يعني خلوها من مظاهر التوقف والتراجع.

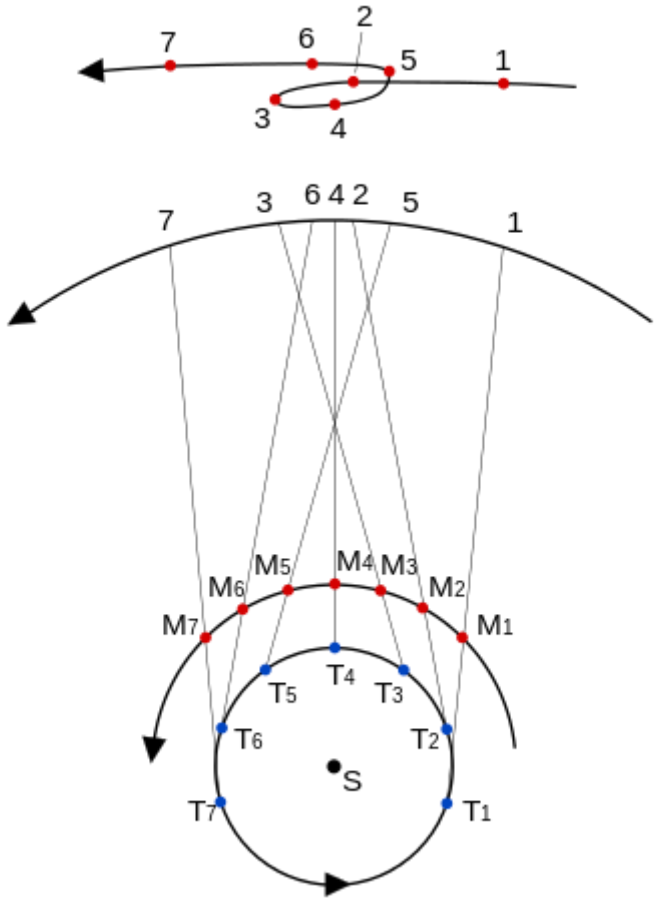
angulaire) لجرم سماوي (body) منتظمة بالنسبة إلى معدل المسير (equant)، وليس بالنسبة إلى مركز الفلك الحامل (deferent)، ولا بالنسبة إلى الأرض (Earth)، وهذا ما يوضحه الشكل الآتي:




لا تتحرك الكواكب المتحيرة إذن، في نسق بطلميوس، بنفس السرعة لا على أفلاكها الحاملة، ولا بالنظر إلى مراكزها الخاصة، وهذا مخالف للعقل. إن هذا النسق لا يستجيب للشرط الأفلاطوني الذي نَصَّ على وجوب أن يتحرك كل كوكب بسرعة منتظمة وأن يرسم دائرة متكاملة. إن كواكب بطلميوس ترسم دوائر، ولكن سرعتها غير منتظمة. ولذلك، على علم الفلك أن يبحث عن بديل، عن توليفة من الدوائر التي بواسطتها يمكن حفظ انتظام الحركات. وتلك مهمة عويصة ادعى كوبيرنيك أنه قام بها باقتدار مستعملا وسائل أنسب

وأبسط من تلك التي استعملها أسلافه. وَحلُّه يقتضي القبول بمجموعة من "الأوليات" أو "المصادرات التي على أساسها يمكن بناء نسق للحركات السماوية يتحرك فيه كل شيء بانتظام حول مركزه (كويري، 1961، ص. 27). وهذه الأوليات التي يصل عددها إلى سبع هي:

- 1) ليس هناك مركز واحد (مشترك) لجميع الأجرام أو الأفلاك السماوية.
- 2) ليس مركز الأرض مركزا الكون، بل هو فقط مركز للثقالة ولفلك القمر.
- 3) تدور كل الأفلاك حول الشمس باعتبارها مركزها، ولذلك كانت الشمس هي مركز الكون.
- 4) المسافة التي تفصل الأرض عن الشمس لا تستحق الذكر مقارنة بالمسافة التي تفصل الشمس عن فلك النجوم الثابتة.
- 5) حركة الظواهر السماوية اليومية لا يعود سببها إلى حركة القبة السماوية، وإنما إلى دوران الأرض حول محورها.
- 6) الدوران السنوي الظاهري للشمس سببه هو حركة الأرض حول الشمس؛ وهذا يعني أن الشمس ثابتة، وأن حركتها الظاهرة ما هي إلا إسقاط لحركة الأرض على السماء.
- 7) ما يظهر من تحير في حركة الكواكب (توقف وتقهقر) ليس حركات حقيقية لهذه الكواكب، بل هو مجرد مظاهر ناتجة عن إسقاط حركة الأرض السنوية على قبة السماء. (انظر الشكل أسفله)




مسارا حركة المريخ والأرض على مداريهما حول الشمس، وتغير موقع المريخ كما يبدو لملاحظ على الأرض لا يأخذ في الحسبان حركة الأرض.

## العرض الثاني لنظرية كوبيرنيك في"*Narratio Prima*" لريتيكوس

انعقدت الصلة الوثيقة بين جورج يواكيم ريتيكوس[9]، الأستاذ الجامعي الشاب المختص في علم الفلك، وكوبيرنيك ابتداء من 1539. لقد جاء مبعوثا من جامعة فيتنبرج بأمر من

[9]. Georg Joachim Rheticus: (1514–1574) فلكي ورياضي جرماني، اشتهر بأنه هو من جعل كوبيرنيك يقرر نشر عمله "دورات الأفلاك السماوية"، وقد قام قبل نشر العمل بعرض مبادئ نظرية مركزية الشمس المبسوطة في هذا العمل في كتيب ظهر سنة 1540 تحت عنوان " *De libris revolutionum Nicolai Copernici narratio prima*"، وعُرف اختصارا ب: "*narratio prima*" .

ميلانكتون ليدرس على يد كوبيرنيك. أُعجب ريتيكوس بسمو فكر كوبيرنيك وبشخصيته، وسَحَرَهُ جمال عمله. وفي وقت وجيز بعد لقائه بكوبيرنيك أنجز تقريرا ملخصا عن كتابه على شكل رسالة إلى الرياضي والفلكي يوهان شونر (Johann Schöner) يخبره فيها بأن معلمه قد ألف عملا (هو "الدورات") من ستة مقالات غطى فيها، على غرار بطلميوس، مجالات علم الفلك جميعها من خلال تعليم القضايا الجزئية والبرهنة عليها رياضيا وبالمنهج الهندسي. تتضمن المقالة الأولى وصفا عاما للكون وعرضا للأسس التي اعتمادا عليها عمل المعلم على إنقاذ المظاهر والملاحظات. وتتضمن الثانية نظرية الحركة الأولى وكل ما له صلة بالنجوم الثابتة. والثالثة تناول فيها الحركة الظاهرية للشمس. والرابعة مخصصة لحركة القمر والكسوف؛ والخامسة مخصصة لتناول حركات الكواكب الأخرى والسادسة لدوائر العرض.

يعترف ريتيكوس بأنه لم يستوعب العمل كله استيعابا تاما؛ لقد درس جيدا المقالات الثلاث الأولى، وفهم الفكرة العامة للرابعة، وشرع في فهم فرضيات المقالتين الأخيرتين. غير أنه لا يريد أن ينتظر؛ فالنور لا ينبغي أن يبقى مخفيا.

ذاعت أنباء النظرية الجديدة لكوبيرنيك بين الناس من خلال هذه الرسالة، بعد أن قام بنشرها سنة 1540 تحت عنوان مختصره هو "*Narratio Prima*". لقد كان نجاحها كبيرا، إذ طُبعت مرة ثانية سنة 1541، ومن خلالها تعرف العلماء على المبادئ الأولى لنظرية كوبيرنيك، وصارت فيما بعد من مرفقات كل نشرات "دورات الأفلاك السماوية"؛ ذلك أنها تعتبر مدخلا ممتازا للفلك الكوبيرنيكي، وتتضمن معطيات بيوغرافية هامة، وتفسيرات تنجيمية مثيرة للفضول.

برأ ريتيكوس معلمه من تهمة أنه أراد التجديد وسعى إلى الظهور. فهو قد اتبع طريق القدماء، وعلى رأسهم بطلميوس، وجعل من الهدف الذي ابتغوه هدفا له، وما خالفهم إلا لمبررات وجيهة. ورسالته تشدد أكثر مما فعل كوبيرنيك على أن الفلك الجديد وفي لمبدأ

الحركة المستديرة المنتظمة (uniforme) للأجرام السماوية. فنظرية معلمه تغنينا عن استعمال مُعدِّل المسير بخصوص الكواكب المتحيرة، وعلى أساسها فقط يمكننا أن نصل إلى تدوير كل كرات الكون على نحو منتظم ومُطّرد (uniforme et régulière) حول مراكزها الخاصة وليس حول مراكز أخرى. وهذه هي الخاصية الأساسية للحركة الدائرية. ثم إن الفلك الكوبيرنيكي يسمح بتفادي عدم انتظام حركات الكواكب من خلال ردها إلى مظهر بحت:

«إن الكواكب كما تُرصد في كل السنوات تبدو في حركة في اتجاه مستقيم، ومتوقفة ومتراجعة، قريبة من الأرض وبعيدة عنها. هذه الظواهر، وبدلا من أن ننسبها إلى الكواكب، يمكن تفسيرها بطريقة أخرى كما يبرهن على ذلك، أي بحركة منتظمة (uniforme) للأرض الكروية، وترك الشمس تشغل مركز العالم؛ بينما الأرض، بدلا من الشمس، تتحرك حولها على مدار خارج عن المركز يروق لمعلمي أن يدعوه بالفلك الكبير( le grand orbe). وبالتأكيد ثمة شيء إلهي في كون أن الإدراك الأكيد للأشياء السماوية ينبغي أن يتوقف على الحركات المُطردة والمنتظمة للفلك الأرضي وحده».

بعد نشر رسالة ريتيكوس لم يعد هناك مسوغات لعدم نشر "دورات الأفلاك السماوية". فقد أذعن كوبيرنيك في نهاية المطاف لإلحاح أصدقائه، فأودع عند ريتيكوس مخطوطة "دورات الأفلاك السماوية" وعهد إليه بالإشراف على طباعتها. والأسقف تيدمان غيز (Tiedemann Giese)، أحد المقربين من كوبيرنيك، يخبرنا أن مؤلف "دورات الأفلاك السماوية" توصل بالنموذج الأول المطبوع من عمله هذا وهو على فراش الموت بتاريخ 24 ماي 1543.

كان ريتيكوس هو المشرف على طبع الكتاب في نورمبرغ (Nüremberg)، إلا أن ظروفا اضطرته إلى مغادرة المدينة، فأسند مهمة الإشراف إلى صديقه أندرياس أوزياندر، وهو لاهوتي لوثري شهير. لقد رأى هذا اللاهوتي أن هناك خطر في تأكيد الأطروحة التي يقدمها

الفلك الجديد، وخشي من ردة فعل اللاهوتيين والأرسطيين. ذلك أن التصور الجديد للعالم كان مناقضا للكتاب المقدس، وهذا ما كان يدركه أوزياندر، وهو ما حمله على اتخاذ بعض الاحتياطات.

لقد اقترح قبل هذا التاريخ على كوبيرنيك، في رسالة وجهها إليه بتاريخ 20 أبريل 1541، حلا ذكيا لهذه المعضلة من خلال رؤية إبستمولوجية للعلم مفادها أن العلم عموما، والفلك تخصيصا، ليس له إلا هدف واحد وموضوع واحد هو "إنقاذ الظواهر". إن مهمة الفلكي وهدفه ليست هي العثور على الأسباب الخفية ولا على الحركات الحقيقية للأجرام السماوية – وهو ما لا يستطيع فعله– بل هي الربط بين الأرصاد وتنظيمها بواسطة فرضيات تسمح بحساب مواقع الكواكب (المواقع المرئية والظاهرة)، وبالتالي توقعها والتنبؤ بها. وهذه الفرضيات، سواء أكانت لكوبيرنيك أو لغيره من الفلكيين، لا ينبغي لها أن أن تزعم أنها حقيقية ولا حتى أن صدقها راجح. فما هي إلا وسائل حسابية، والأفضل من بينها ليست هي الأكثر صدقا، بل هي فقط الأكثر بساطة والأكثر تلاؤما مع الحسابات.

وبهذا التاريخ نفسه، وجه رسالة إلى ريتيكوس يقول فيها إن المشائين واللاهوتيين سيهدأ روعهم إن سمعوا أنه يمكن أن تكون هناك فرضيات مختلفة، وأن الفرضيات الحالية اقترحت لا لأنها صادقة حقا، وإنما لأنها تعطينا قواعد لحساب الحركات الظاهرة والمركبة بأيسر نحو ممكن؛ وأنه يمكن لآخرين أن يقدموا فرضيات أخرى، وأنه يمكن لشخص أن يضع نسقا من الفرضيات، ولشخص آخر أن يضع آخر... ومنهما تُستنبط نفس الحركات الظاهرة، وأن الجميع أحرار في ابتكار فرضيات أكثر وجاهة ويجب تهنئة أحدهم إن أفلح...

لم يصلنا رد كوبيرنيك. ولكن كبلر الذي ندين له بمعرفة هذه المراسلة يخبرنا جازما أن كوبيرنيك تمسك بنشر آرائه دون إخفاء أي شيء منها، بل نجده في رسالته إلى البابا بولس الثالث (التي عوضت مقدمة المخطوطة في العمل المطبوع) يلح على حقوق الفكر العلمي والواجب الذي يلزم الفلكي بأن يبحث عن تمثيل صحيح للواقع.

غير أن معارضة كوبيرنيك لم تثن أوزياندر –الذي استغل فرصة نشره لكتاب "الدورات"، فصدره بتمهيد عنوانه "إلى القارئ: حول فرضيات هذا العمل"– عن إعلان الطابع "الافتراضي" للنظرية الجديدة، ولكل النظريات الفلكية عموما. ومما جاء في التمهيد:

«إن مؤلف هذا العمل لم يرتكب شيئا يستحق اللوم. ذلك أن ما يختص به الفلكي هو تسجيل الحركات السماوية وجمعها من خلال رصد فيه حرص ومهارة؛ ثم البحث عن أسبابها أو – بما أنه لا يستطيع بأي طريقة أن يعين أسبابها الحقيقية– تخيل وابتكار فرضيات يمكن بمعونتها حساب هذه الحركات (في المستقبل كما في الماضي) حسابا دقيقا طبقا لمبادئ الهندسة. والحال أن مؤلف هذا العمل قد أنجز هاتين المهمتين بطريقة ممتازة. ذلك أنه ليس من الضروري أن تكون هذه الفرضيات صادقة، ولا حتى راجحة الصدق، بل يكفي شيء واحد، وهو أن تقدم حسابات تتوافق مع الأرصاد...

فمن الواضح بما فيه الكفاية أن هذا الفن يجهل جهلا كليا وبحتا أسباب الحركات [السماوية] الظاهرة غير المنتظمة. وإذا ابتكر [الفلكي] على سبيل التخيل بعضا منها [من هذه الأسباب] –مثلما ابتكر عددا كبيرا منها– فإنه مع ذلك لا يبتكرها البتة لكي يقنع أيا كان بأن الأمر يجري على هذا النحو في الواقع، بل فقط لكي يجعل منها أساسا لحساب دقيق.»

لم يقبل أصدقاء كوبيرنيك هذه التمهيد الوجيز الذي قدم رؤية إبستمولوجية ذات منزع وضعي وبرغماتي، رؤية تبدو حديثة جدا وبالغة الأهمية ومليئة بالدلالة من زاوية نظر فلسفية وعلمية. فصديقه تيدمان غيز رأى فيها حسد وجبن رجل رفض هو نفسه التخلي عن الرؤى والمعتقدات التقليدية، ووجه رسالة إلى ريتيكوس طالب فيها بإعادة طبع الصفحات الأولى من كتاب "الدورات" مع إضافة نقطة تشرح الملابسات. ويبدو أن ريتيكوس لم يستجب للطلب فطويت القضية. وهكذا ظن أغلب قراء "الدورات" أن التمهيد من يد كوبيرنيك نفسه، فاتهمه البعض بالنفاق والجبن، وذهب آخرون إلى أنه قد أخذ احتياطاته.

## العرض الثالث لنظرية كوبيرنيك في الـ"دورات"

شرح كوبيرنيك في مقدمة الدورات أيضا لماذا حاول إنشاء نظرية جديدة لحركات الكواكب. فما حمله على ذلك هو عدم الاتفاق بين الرياضيين، وتنوع وكثرة الأنساق الفلكية (نسق الأفلاك المتحدة المركز، ونسق أفلاك التدوير والأفلاك الخارجة المركز)، وكذلك عجز هذه الأنساق كلها عن أن تمثل الحركات الظاهرة تمثيلا دقيقا، وعن أن تظل وفية لمبدأ الحركة المستديرة المنتظمة (uniforme) للأجرام السماوية. وهكذا فإن إخفاق هذه الأنساق حمله على البحث عن مكمن الخطأ، فطالع كل ما بين يديه مما كتبه الأقدمون في هذه المسألة، فوجد أن الكثيرين منهم قد ذهبوا إلى أن الأرض تتحرك، ومنهم: هيكيتاس (Hicétas) وفيلولاوس وهيراقليدس البنطي وإكفانتوس، وهذا ما شجعه على فحص هذه الفرضية بنفسه، رغم أنها تبدو غير معقولة، ساعيا إلى أن يجد تفسيرا أحسن للظواهر السماوية. وهكذا توصل إلى أن التفاوتات والاختلالات الظاهرة في الحركات السماوية آتية من كوننا نعتبر الأرض ثابتة؛ والحال أن حركات الأجرام السماوية منتظمة تماما، وأن حركة الأرض التي لا نأخذها في الحسبان هي التي توهمنا بأن حركات هذه الأجرام غير منتظمة. وفضلا عن ذلك فإن تحريك الأرض يفضي إلى بناء عالم منظم تنظيما عقلانيا تاما. يقول كوبيرنيك:

«إن تَمّ رَدُّ حركات الكواكب المتحيرة إلى الحركة المدارية للأرض، وأُخذت هذه الحركة أساسا لدوران كل واحد من الكواكب، فسينجم عن ذلك لا الحركات الظاهرة لهذه فقط، بل كذلك نظام كل الكواكب والأفلاك وأبعادها، ويتم العثور في السماء على ترابط لا يمكننا معه أن نغير أي شيء في أي جزء من أجزائه دون أن يترتب على ذلك تشويش كل الأجزاء الأخرى والعالم برمته».

وهكذا فإن عيوب الأنساق الفلكية كلها تتمثل في: **أولا**، عجزها عن البقاء وفية لمبدأ انتظام (uniformité) الحركة المستديرة للأجرام السماوية؛ **وثانيا**، تقديمها صورة عن العالم

مفككة الأوصال وغير عقلانية. ومن هنا يتضح أن خطأ الرياضيين كان هو وضعهم الأرض مركزا للعالم وللحركات السماوية. فمن الأفضل إذن القبول بحركة الأرض، حتى لو بدت غير معقولة، بدلا من ترك الذهن تائها وممزقا بين كثرة تكاد لا تحصى من دوائر وكرات علم الفلك المتمركز على الأرض.

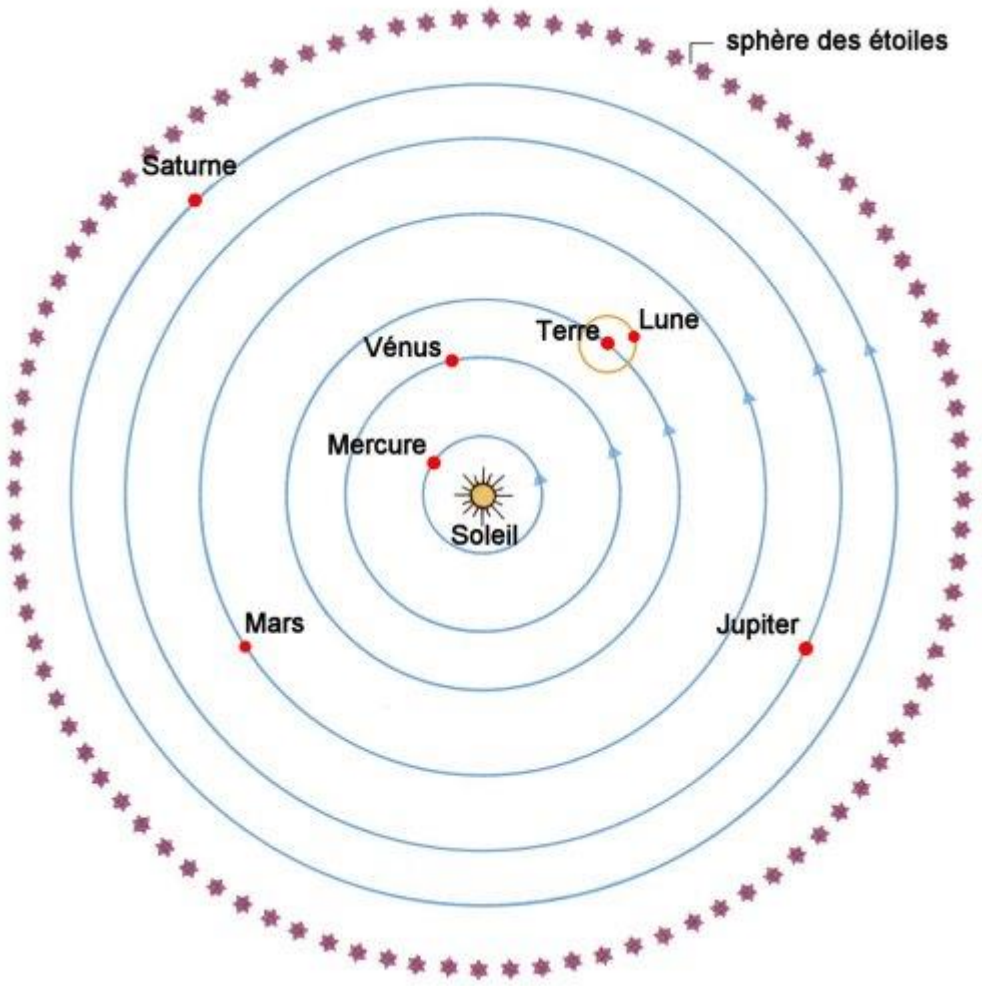
لقد شدد **ريتيكوس** في رسالته، أكثر مما فعل معلمه، على أهمية فرضية حركة الأرض، فقد كان لها دور كبير جدا في تبسيط تفسير الظواهر السماوية وتنظيمها نسقيا. أما كوبيرنيك، فيرى أن تفوق نسقه لا يعود إلى هذه المزايا، وإنما يعود إلى الحفاظ على المبدأ الأساسي لانتظام (uniformité) حركات الأفلاك (وبالتالي استبعاد معدلات المسير)، وكذلك إلى إبراز مبدأ النظام الناظم للكون، أي اتفاق مسافات الكواكب –انطلاقا من الشمس– مع مدة دورانها.

يستجيب نسق كوبيرنيك حقا للمبدأ الأول، أي مبدأ الحركات الدائرية المنتظمة (uniformes) للكواكب؛ ولذلك رأى فيه واحدا من مزايا هذا النسق؛ وهذا ما لم يحترمه بطلميوس **الرياضي** عندما اضطر إلى إدخال حيلة مُعدِّل المسير (le point équant)؛ غير أن هذه الحيلة الهندسية تفضي إلى إسقاط مبدأ الحركة المستديرة المنتظمة الذي هو **مبدأ فيزيائي**. وبخلاف ذلك، رفض كوبيرنيك معدل المسير لأسباب **فيزيائية**، فاضطر إلى أن يُدخل في آلية حركات الكواكب أفلاك تدوير خاصة بكل واحد من الكواكب (ما عدا الأرض)؛ وبذلك أضاع جانبا من المزايا الصورية لنسقه، أي استبعاد أفلاك التدوير البطلميوسية. غير أن أفلاك تدوير كوبيرنيك هي أولا أصغر بكثير من نظيرتها البطلميوسية، وثانيا مدة دورتها ليست مساوية لدورة الأرض، بل لمدة دورة الفلك الحامل لها.

فلننتقل إلى المبدأ الأساسي الثاني لنسق كوبيرنيك، مبدأ التوافق بين مسافات الكواكب (انطلاقا من الشمس) وبين زمن دورتها. هنا يتضح تفوق الفلك الكوبيرنيكي على نظيره البطلميوسي. لا ريب في أن فلك بطلميوس قد طبق المبدأ الأرسطي القائل إن زمن الدورة

الأكثر طولا يتناسب مع مسافة أكبر. ولكنه لم يتمكن من تطبيقه إلا على الكواكب العليا، وليس على مجموع الكواكب. ولهذا يصرح كوبيرنيك للبابا بولس الثالث بثقة بأنه لا يمكن تعديل أي جزء من هذا النظام دون أن يختل البناء بكامله. ولهذا حق له أن يقول إن مقدار المدارات يقاس بمقدار الزمن، ويترتب على ذلك نظام الأفلاك، بدءا بأعلاها على النحو الآتي:

«إن أول الأفلاك كلها وأعلاها هو فلك النجوم الثابتة، الذي يحوي كل شيء ويحوي نفسه، وهو لذلك ساكن لا يتحرك. إنه بالتأكيد الموضع الذي ترتد إليه حركة كل الكواكب الأخرى ومواقعها. فإذا كان البعض يرون أنه أيضا يتحرك بطريقة ما، فنحن بخلافهم [لا نقبل بذلك]... ويليه أول الكواكب، وهو **زحل** (Saturne) الذي يُكمل دورته في مدة قدرها ثلاثون سنة؛ وبعده المشتري (Jupiter) الذي يُتِمُّها في اثنتي عشرة سنة؛ ثم المريخ (Mars) الذي يكملها في سنتين. والموضع الرابع في الترتيب تشغله الدورة السنوية للمدار الذي يتضمن كلا من الأرض وكرة القمر. وفي الخامس الزهرة (Vénus) التي تكمل دورتها في تسعة أشهر. وأخيرا الموضع السادس الذي يحتله عطارد (Mercure) الذي يُتِمّ دورته في ثمانين يوما. ووسط الكل تسكن الشمس (كويري، 1961، ص. 54-55). (انظر الشكل أسفله)




وهكذا فإن حجج كوبيرنيك لصالح الفلك الجديد من نوعين: أ) إنه يُمكّننا من تفسير بعض الظواهر السماوية (الحركات الظاهرة لعطارد والزهرة والمريخ) تفسيرا أفضل من تفسير الفلك القديم؛ ب) ويقدم لنا صورة عن العالم أكثر نسقية وأكثر انتظاما مما فعل بطلميوس وأرسطو(كويري، 1961، ص. 56).

## المشكلة الفيزيائية

وجه كوبيرنيك انتقادات للمتمسكين بالتصور الأرسطي البطلميوسي للعالم. ليس لهذه الانتقادات ولا للأجوبة التي قدمها على الاعتراضات الأرسطية على حركة الأرض أهمية من

زاوية نظر أرسطية. ولكنها هامة جدا من جهة أنها تحمل بذرة الأجوبة التي سيصوغها غاليلي لا حقا.

إن الاعتراض الأساسي لكوبيرنيك على المتمسكين بمركزية الأرض، وخصوصا الأرسطيين، يبدو لأول وهلة قويا. ومفاده أنه من غير المعقول تحريك جسم هائل للغاية (=العالم) بدل تحريك جسم صغير (=الأرض)، أي تحريك المكان بدلا من المتمكن، الحاوي بدلا من المحتوى، وتبعا لذلك فإن سماء النجوم الثابتة (التي هي حسب أرسطو الفلك الذي يحوي العالم) يجب اعتبارها غير متحركة.

تبدو الحجة معقولة، وقد استعملها نيوتن. ذلك أنه يبدو لنا أنه من غير المعقول أن نجعل الأماكن أو المواضع التي توجد فيها الأشياء هي نفسها متحركة؛ ومن غير المعقول حسب نيوتن أن ندع هذا الكون الهائل (اللامتناهي في الفلك النيوتوني) يدور حول حبّة غبار صغيرة جدا. غير أن الأرسطي (والبطلميوسي أيضا) لن يقتنع بحجة كهذه. فعالمه ليس غير متناه ولا هو هائل، أي يتخطى كل قياس (كما هو عالم كوبيرنيك)؛ بل هو متناه وقابل للقياس رغم كبره. وفضلا عن ذلك، ثمة، بالنسبة إليه، فرق كيفي بين الأرض والسماوات: الأرض ثقيلة وعاطلة (inerte)، بينما السماوات لا ثقل لها بتاتا. ولهذا إذا كانت الحجة التي تقول بأنه من الأفضل تحريك المحتوى بدلا من الحاوي حجة وجيهة عموما، فإنها ليست كذلك في هذه الحالة: فلتحريك الأرض الثقيلة جدا (ولو حركة دوران على المكان فقط) سوف نحتاج إلى محرك خارجي ومادي ذي قوة هائلة. بينما حركة السماوات لا تتطلب شيئا كهذا؛ لأنها تدور بفضل طبيعتها الخاصة وكمالها الخاص، أو تحركها محركات روحانية، بل يمكنها في نظرية الميل أن تدور بفضل الميل الذي طبعه الله فيها عند الخلق كما يرى ذلك بوريدان مثلا، نظرا لأن الأفلاك السماوية لا ثقل ولا وزن لها (impondérables)، ولا تواجه مقاومة حسية.

ومن الواضح أنه سيكون من الصعوبة بمكان أيضا منح حركة مدارية للأرض حول مركز العالم. فالأرض كما قلنا ثقيلة، وتنزع بطبيعتها، ككل الأجسام الثقيلة، إلى مركز العالم (وهو ما لا تفعله الكواكب، لأنها غير ثقيلة). فكيف يمكن إخراجها منه إن وجدت فيه، أو الحيلولة دون أن تنزع نحوه إن أُبعدت عنه بمعجزة؟ أليس من المعقول التسليم بأنها ساكنة في مركز العالم؟ ألا يُدخل التصور الكوبيرنيكي فوضى في الكون عندما يُطوِّح بالأرض خارج موضعها الطبيعي؟[10]

يجيب كوبيرنيك برفض فكرة الثقالة (la gravité) كما تقدمها فيزياء أرسطو. فالثقل ( la pesanteur) ليس نزوعا للأجسام الثقيلة نحو موضعها الطبيعي في العالم (=المركز)؛ وإنما هو بخلاف ذلك نزوع خاص بكل جرم سماوي (وبالأرض أيضا) يجعله يسعى إلى أن يشكل كُلّاً. إن الثقالة ما هي إلا نزوع طبيعي بثته العناية الإلهية في الأجزاء يجعلها تسعى إلى وحدتها بأن تتجمع على شكل جسم كروي. وهذا النزوع ينتمي أيضا إلى الشمس والقمر وسائر الكواكب المتحيرة. وهكذا يشكل كل كوكب نسقا مختلفا من حيث الكيف عن الكواكب الأخرى. إن هذا النزوع الطبيعي للأجزاء المتشابهة إلى التجمع لكي تشكل كلا واحدا، بعيد جدا بلا شك عن الجاذبية الكونية؛ ولكنه يشق الطريق إليه، وفضلا عن ذلك ينطوي ضمنا على نفي فكرة "الموضع الطبيعي"؛ وتلك هي الخطوة الأولى نحو إضفاء الطابع الهندسي على المكان (la géométrisation de l’espace) الذي سيشكل واحدة من ركائز الفيزياء الحديثة.

ردّ كوبيرنيك على الاعتراض الفيزيائي القائل بأن دوران الأرض سيفضي إلى توليد قوة طاردة (force centrifuge) هائلة من شأنها أن تفجر الأرض إلى شظايا، بأن هذا الاعتراض

10. يقلب الفلك الكوبيرنيكي أيضا النظام اللاهوتي للعالم عندما يضع الأرض في السماوات والشمس في الدرك الأسفل من العالم، حيث يجب أن يوجد الجحيم.

نفسه يمكن أن يُثار ضد حركة السماوات أيضا، طالما أن سرعة حركتها أكبر بما لا يقاس من سرعة حركة الأرض.

من زاوية نظر بطلميوس أو أرسطو، كوبيرنيك مخطئ؛ لأن حركة الأفلاك السماوية، باعتبارها لا ثقل لها ولا وزن، من طبيعة مختلفة عن حركة الأرض، ولا يمكن أن تتولد عنها قوة طاردة. ثم إن الحركة المستديرة للأجرام السماوية إنما هي حركة طبيعية لهذه الأجرام؛ وبالتالي لا يمكن أن تكون سببا لتأثير من شأنه أن يُعرّض بقاءها ووجودها للخطر. وكوبيرنيك نفسه يوظف مفهوم الحركة الطبيعية –الذي هو مفهوم أرسطي– لكي يبرهن على أن حركة الأرض حول محورها هي حركة طبيعية؛ وبالتالي فإن الآثار المدمرة التي استنبطها بطلميوس (على سبيل الافتراض)، مفترضا أن هذه الحركة ستكون قسرية، لا يمكن أن تحدث.

وفيما يخص الدليل التقليدي الذي يقول بأن الأجسام المنفصلة عن الأرض، كالسحب والطيور...، من شأنها "أن تبقى في الخلف" في حالة ما إذا ما كانت الأرض تتحرك، أو الدليل القائل بأن الجسم المقذوف به عموديا في الهواء لا يمكن أبدا، في الحالة نفسها، أن يسقط في المكان الذي قذف به منه، يعترض كوبيرنيك بأن هذه الأجسام لما كانت "أرضية"، وتشارك بذلك في طبيعة الأرض، فإنها تشارك أيضا في حركة دورانها "الطبيعية" التي توجد فيها جنبا إلى جنب مع حركاتها الخاصة. إن الهواء المحيط بالأرض ملتصق بها ويدور بدورانها. وتبعا لذلك فإن الأجسام الموجودة في الجو، لها حركة مشتركة مع الأرض إلى جانب حركاتها الخاصة.

لقد قبل كوبيرنيك –كجميع الناس قبل غاليلي وديكارت– بالتمييز بين الحركة الطبيعية (mouvement naturel) والحركة القسرية (mouvement violent)؛ إلا أنه في مقابل ذلك أكد أن نفس القوانين تنطبق على السماء والأرض، وبذلك وضع أساس التحول العميق الذي شهده الفكر البشري، والذي سمي بالثورة الكوبيرنيكية.

لقد كان كوبيرنيك عالما رياضيا، ومهندسا كبيرا، ومن زاوية نظر المهندس رأى العالم؛ وفيزياؤه هندسية إلى حد كبير. صحيح أنه كما رأينا لم يتخلَّ عن فكرة "الطبيعة"، بل هو ينسب إلى الأرض وإلى كل واحد من الأجرام السماوية "طبائع" خاصة وجزئية؛ غير أن الطابع الهندسي لفكره قوي وعميق إلى درجة أنه قد غيّر فكرة الصورة (la forme) الأرسطية. وهكذا، عندما كانت الفيزياء القديمة والوسيطة تتحدث عن "الصور" فإنها كانت تقصد عموما الصور الجوهرانية. أما كوبيرنيك، فيقصد الصورة الهندسية (=الشكل الهندسي).

إن النتائج التي تلزم عن هذا الموقف الجديد كثيرة، ولها أثر على المدى البعيد. وهكذا، إذا كانت الطبيعة النوعية، أي الصورة الجوهرانية (وبالتالي المادة المطابقة لها) هي التي تحدد نوع الحركة الطبيعية الخاصة بأي جسم (أي الحركة على الاستقامة لأجسام عالم ما تحت القمر، والحركة المستديرة للأجرام السماوية)، فإن الصورة الهندسية هي التي تلعب هذا الدور عند كوبيرنيك. إذا كانت الأجرام السماوية تتحرك حول نفسها، فليس لأن لها طبيعة نوعية، بل لأنها ببساطة كروية.

يعتقد كوبيرنيك على ما يبدو أن الشكل الكروي، وهو الشكل الأتم هندسيا والذي تسعى إليه كل الأجسام الطبيعية بسبب هذا الكمال نفسه. إنه ليس فقط مؤهلا للحركة، بل إنه علة كافية للحركة، ويُولِّد **على نحو طبيعي أتم الحركات وأكثرها طبيعية، أي الحركة المستديرة.**

وهكذا فإن الطابع الهندسي لمفهوم الصورة يضع الأرض بين النجوم ويرفعها عاليا في السماوات. وفي هذه الحالة

- يسمح لنا نفس الاستدلال، بل ويجبرنا على أن ننسب إلى الأرض حركة مستديرة مشابهة لتلك التي تحرك الكواكب؛ ولذلك عالج كوبيرنيك بإسهاب كروية الأرض وحاجج لصالحها، مع أنه لا أحد شكك فيها في عصره؛

- نفس قوانين الحركة التي تنطبق على الكواكب تنطبق أيضا على الأرض؛
- لم تعد الأرض، التي لها نفس الشكل المستدير وتخضع لنفس قوانين الحركة، مقابلة للأجرام السماوية وكأنها تشكل عالما آخر – عالم ما تحت القمر، العالم السفلي، بالوعة الفساد– بل تشكل معها كونا واحدا ووحيدا.

يتبين لنا الآن لماذا عزا كوبيرنيك مثل هذه الأهمية لمبدأ الحركة المستديرة المنتظمة (uniforme) ولماذا اعتبره بمثابة أساس للميكانيكا السماوية برمتها. إنه بالنسبة إليه الوسيلة الوحيدة لتحريك ماكينة العالم. ففي ديناميكا كوبيرنيك يعود سبب الحركة (المستديرة) إلى الشكل (الكروي) الخاص بالأجسام. والأجسام تدور لأنها مستديرة، دون أن تحتاج لفعل ذلك إلى محرك خارجي، ولا حتى إلى محرك داخلي. إن الجسم المستدير أو الكروي عندما يوضع في المكان يدور. وكذلك الفلك، يدور حول نفسه بدون أن يكون بحاجة إلى محرك يُبقي عليه متحركا ولا إلى مركز فيزيائي (وهو ما لا يمكن الاستغناء عنه في نظرية أرسطو). ولكنه لا يمكن أن يدور إلا بحركة منتظمة تماما ( parfaitement uniforme)؛ ولذلك ينبغي استبعاد تصور "معدل المسير" بأي ثمن.

رأينا أن كوبيرنيك يضع الشمس في مركز العالم، ولكنه لا يضعها في مركز الحركات السماوية: ذلك أن مركز مدار الأرض، وكذلك مراكز مدارات الكواكب لم توضع أبدا في الشمس، بل فقط بقربها؛ وتبعا لذلك، فإن هذه المدارات أو الأفلاك هي خارجة المركز بالنسبة إلى الشمس. وهذا ما تترتب عليه مفارقة مفادها أن الشمس لا تقوم بأي دور فيزيائي في الميكانيكا السماوية لكوبيرنيك. بيد أن لها دور كبير وذو أهمية كبيرة بالنسبة إلى كوبيرنيك، وهو إنارة العالم؛ وهذا الدور هو الذي يفسر المكانة التي تحتلها في العالم: فهي الأولى في المنزلة والمركزية في الموقع. إنها منارة العالم وروحه، وما وُضعت في المركز إلا لكي تمنح النور والحياة والحركة للعالم، والمركز هو الموقع الأنسب لهذا الغرض. ومن هذا

الموقع تنشر نورها في كل أرجاء هذا الهيكل الفخم البهي. إنها قلب العالم، وهي التي تحكم أسرة الكواكب المحيطة بها.

هذا هو السبب العميق الذي ألهم كوبيرنيك، فجعله يضع الشمس في المركز. إن ما يفسر العاطفة الجياشة التي بها يتحدث عن الشمس بتوقير يصل حد العبادة والتأليه (بؤبؤ العالم وروحه، والإله المرئي...) هو فقط التقاليد العتيقة مثل ميتافيزيقا الضوء التي صاحبت البصريات وحملتها طيلة العصر الوسيط، وإحياء الأفلاطونية المحدثة والفيثاغورية المحدثة (الشمس المرئية تمثل الشمس غير المرئية، الشمس التي هي سيدة العالم المرئي هي إذن رمز الإله).

**خلاصة**

إن كوبيرنيك ليس كوبيرنيكيا. إذا ما استثنينا فرضية تحريك الأرض ووضع الشمس في المركز، فإن كتابه العمدة ("دورات الأفلاك السماوية") يبدو من جميع النواحي أقرب إلى الأعمال الفلكية في العصرين القديم والوسيطي. وقد ذهبت أغلب التأويلات حتى نهاية القرن 16، إلى أن الغاية من تأليفه هي حل مشكلة الكواكب من ناحية حساب حركاتها ومواقعها حسابا دقيقا، ومن ثمة التنبؤ بهما. وبناء على ذلك لم تعتبر فرضية دوران الأرض وثبات الشمس غرضا رئيسيا، بل حيلة هندسية متخيلة، الغاية منها هي تسهيل الحساب والتنبؤ. إن كوبيرنيك ليس "حديثا" (moderne): فقد تمسك بمعتقدات فلكية قديمة، مثل انتظام الحركات السماوية واستدارتها التامة، ووجود أفلاك أو كرات مادية تحمل الكواكب وتسندها، والتي تدور بسبب شكلها، فتحمل معها الكواكب المتحيرة المحشورة فيها كانحشار الفصوص الثمينة (الأحجار الكريمة) في الخواتم. وعالمه ليس هو المكان اللامتناهي الذي قالت به الفيزياء الكلاسيكية، بل إن له حدودا مثل عالم أرسطو. إنه بالتأكيد أكبر من هذا بكثير إلى درجة أنه هائل جدا، غير أنه متناه أو محدود، لأنه محتوى في كرة النجوم الثابتة، ومركز هذه الكرة الهائلة هو الشمس.

إذا نظرنا إلى كتاب "الدورات" من زاوية النتائج التي أفضى إليها، فلا بد من القول بأنه كان عملا ثوريا. فلقد كان نقطة انطلاق لمقاربة جديدة للفلك المتعلق بالكواكب، وقدم الحل الأول البسيط لمشكلة الكواكب، وانطوى على البذور الأساسية لكوصمولوجيا جديدة. غير أنه لم ينطو حتى من زاوية النظر هذه على معظم العناصر الأساسية التي من خلالها نعرف الثورة الكوبيرنيكية، وهي: الحسابات البسيطة والدقيقة لمواقع الكواكب، إلغاء أفلاك التدوير والأفلاك الخارجة المركز، زوال الأفلاك، الشمس باعتبارها نجما، التوسع اللانهائي للكون. فباستثناء حركة الأرض ، يبدو "الدورات" من جميع النواحي أقرب إلى أعمال فلكيي العصرين القديم والوسيط أكثر من قربه من أعمال الفكيين اللاحقين عليه ممن أسسوا أعمالهم على عمله، وبسطوا النتائج الجذرية التي لم يتمكن كوبيرنيك من رؤيتها في عمله. (كون، 181–182)

كوبيرنيك ليس كوبيرنيكيا. لقد كان مراده هو إصلاح النسق الفلكي إصلاحا يجعله أكثر دقة في حساب حركات الأفلاك ومواقع الكواكب. لقد بنى فلكا جديدا في إطار الفيزياء الأرسطية. تقوم جدة النظرية الكوبيرنيكية على فرضية ثبات الشمس وحركة الأرض. والحال أن ثبات الأرض في مركز العالم كان أحد ثوابت الفيزياء الأرسطية. وما كان من الممكن للكوبيرنيكية أن تُقبل إلا ببناء فيزياء جديدة تجعل من حركة الأجسام الثقيلة في الفضاء بسرعة كبيرة أمرا معقولا، أي فيزياء قادرة على الرد على الاعتراضات الكلاسيكية القوية على حركة الأرض. فلو أمكن لكوبيرنيك أن يتنبأ بتطور الفلك المتمركز على الشمس، لأصابه الهلع والسخط. فهذا الأخير قد بدأ بعد كوبيرنيك بالتخلي عن المبدأ الأساسي الذي شدد عليه كوبيرنيك كثيرا، وهو القائل بأن حركات الكرات السماوية لا بد أن تكون مستديرة ومنتظمة (circulaires et uniformes)، وواصل المسيرة بالتخلي عن مبدأ استدارة حركات الكواكب، ومحا الكرات الحاملة للكواكب (=الأفلاك) بل والقبة السماوية (فلك الثوابت). يمكننا أن نقول إن الفلك الكوبيرنيكي قد تطور ضد كوبيرنيك، مع أنه ابتدأ معه وانطلق منه...

## تلقي الفلك الكوبيرنيكي

يصعب علينا اليوم أن ندرك ونُقدِّر مقدار الجهد الذهني والجرأة الفكرية التي اقتضاها عمل كوبيرنيك لمواجهة اليقين الساذج والقاطع الذي قبل به الحس المشترك ثبات الأرض وحركة السماوات باعتباره أمرا بديهيا. وفضلا عن ذلك كانت قوة هذه البداهة قد تعززت بتقاليد علمية (الفلك الرياضي وفيزياء أرسطو) وفلسفية (فلسفة أرسطو السائدة) ولاهوتية (سلطة الكتاب المقدس). إذا أخذنا في الحسبان سلطان البداهة الحسية وثقل هذه التقاليد الثلاثة، يمكننا عندئذ أن ندرك جرأة كوبيرنيك الهائلة التي انتزعت الأرض من سكونها ورمت بها في السماوات.

ويصعب علينا أيضا أن ندرك الانطباع الغريب والعميق الذي شعر به قراء عمله في ذلك الوقت: فعندما انتزع الأرض من مركز العالم وطوّح بها في السماوات، حطّم عالما كان العلماء والفلاسفة واللاهوتيون يعتبرونه متمركزا على الإنسان وخُلق من أجله، وحطّم بذلك نظاما تراتبيا كان يقيم تقابلا صوريا وماديا ومكانيا بين عالم ما تحت القمر وعالم السماوات. وقد ترتب على انهيار الكوصموص فقدان القدرة على التوجه، وانتشار الشك والحيرة. وما تهمة الإلحاد التي وُجِّهت كثيرا إلى الكوبيرنيكيين إلا دليل على أن تصور أرض تجوب فضاء السماء بدا للكثير من المتدينين ومرهفي الحس تهديدا لنظام القيم الدينية والأخلاقية القائم.

لا ريب في أن صدمة قراء الكتاب كانت شديدة. غير أن هؤلاء كانوا قلة قليلة جدا، لأن عمل كوبيرنيك مكتوب بلغة لا يحلُّ شيفرتها إلا من كانوا ضليعين في علم الفلك. فخارج الدائرة الضيقة لعلماء الفلك لم يُثِر عمل كوبيرنيك في البداية ضجيجا كبيرا. وقبل أن يثير رجال الدين ضجة كبيرة حول العمل فيما بعد، لم يجد كبار الفلكيين، الذين كان عمل كوبيرنيك موجها إليهم، مفرا من استخدام هذه التقنية الرياضية أو تلك من تقنيات كوبيرنيك.

قبل نشر الكتاب سنة 1543 كانت مبادئ النظرية الفلكية الجديدة وفرضياتها الأساسية معلومة بين المختصين، فكانوا ينتظرون بصبر نشره. قد يكون تعقيد النظرية وفرضيتها الأساسية قد خيّب أملهم. ولكنهم كانوا مضطرين إلى الاعتراف بأن عمل كوبيرنيك هو أول عمل يقدم نظرية يمكن أن تنافس نظرية بطلميوس المبسوطة في "المجسطي" من حيث العمق والكمال. وقد كتبت في السنوات الخمسين التي تلت صدور العمل عدد من المصنفات الفلكية العالية المستوى تحيل على كوبيرنيك بوصفه "بطلميوس الثاني"، وتقتبس من "الدورات" معطيات وحسابات وخطاطات، وخصوصا من الأقسام التي لا صلة لها بحركة الأرض. وبذلك صار كتاب "الدورات" في النصف الثاني من القرن 16 عملا مرجعيا بالنسبة إلى الذين ينشغلون بالمشكلات الأساسية في علم الفلك. غير أن نجاح عمل كوبيرنيك لا يلزم عنه نجاح الفرضية الأساسية التي تشكل مرتكز التجديد الكوبيرنيكي. فإيمان معظم الفلكيين بثبات الأرض ومركزيتها لم يتزعزع، وحركتها ظلت بالنسبة إليهم مُحالاً لا يقبله العقل.

لكن النظرية الجديدة كسبت مع ذلك قلة قليلة من الأنصار مثل ريتيكوس الذي قدم "العرض الأول" لنظرية كوبيرنيك سنة 1540، والفلكي الإنجليزي توماس ديغز[11] الذي قدم عرضا مبسطا للكوبيرنيكية ساهم كثيرا في إذاعة مفهوم حركة الأرض خارج دائرة الفلكيين الضيقة، وأستاذ علم الفلك بجامعة توبنغن (Tübingen) ميخائيل ميستلان[12] معلم كبلر (Kepler). هكذا بدأت الكوبيرنيكية تنتشر وتكسب المؤيدين تدريجيا بفضل أعمال مثل هؤلاء. ولكن الفلكيين الذين يجاهرون بتبني حركة الأرض ظلوا أقلية صغيرة جدا.

خارج هذه الفئة القليلة، من الذين جاهروا بكوبيرنيكيتهم، وَجَد كثير من الفلكيين سبيلا لاستخدام النسق الرياضي لكوبيرنيك دون أن يتبنوا حركة الأرض. وقد وجدوا في شعار "انقاذ

---

11. Thomas Digges (1546–1595)

12. Michael Maestlin (1550–1631) رياضي وفلكي ألماني اشتهر برعايته لكبلر.

الظواهر" مخرجا بموجبه يمكنهم اعتبار الدائرة التي تمثل مدار الأرض تخيلا رياضيا تقتصر فائدته على تسهيل الحسابات. وبذلك كان بإمكانهم حساب مواقع الكواكب كما لو أن الأرض تتحرك، بدون أن يعتبروا هذه الحركة واقعية من الناحية الفيزيائية. والحق أن هذا التأويل الذي مفاده أن فكرة ثبات الشمس وحركة الأرض ما هي إلا مجرد فرضية، أي إنها مجرد حيلة هندسية الغاية منها تبسيط الحسابات وإنقاذ المظاهر فقط، هي التي سادت بين الفلكيين طوال النصف الثاني من القرن 16. لقد كان للتمهيد الذي كتبه الناشر أندرياس أوزياندر، وصَدَّر به كتاب "دورات الأفلاك السماوية" دون أن يوقعه باسمه، ودون إذن من كوبيرنيك، دور كبير في انتشار هذا التأويل. لقد أتاح هذا التمهيد فرصة للفلكيين المحترفين لكي يستعملوا معطيات النسق الرياضي الكوبيرنيكي ومناهجه، مع رفض الحقيقة الكوصمولوجية لهذا النسق.

أما فيما يخص غير الرياضيين، أي غير القادرين على تقدير عظمة عمل كوبيرنيك وقيمته، فإن العوام سخروا من رجل حمله حمقه على الشك في ثبات الأرض؛ والفلاسفة عارضوه بالحجج الأرسطية على استحالة حركة الأرض الثقيلة.

غير أن أقوى الأسلحة التي كانت بين يدي أعداء الكوبيرنيكية لم تكن هي الحجج القوية ضد حركة الأرض رغم أهميتها، بل إن الدين والكتب المقدسة هما اللذان زودا هؤلاء بأكثر الأسلحة إثارة للرعب. فحتى قبل طبع "الدورات"، كانت شائعات نبأ النظرية الجديدة قد تناهت إلى سمع **مارتن لوثر**[13] سنة 1539، فلم يتردد في إدانتها بقسوة قائلا حسب رواية أحد تلامذته[14]:

---

[13]. Martin Luther (1483–1546): راهب ألماني، وأستاذ اللاهوت الذي أطلق شرارة الإصلاح الديني في أوربا سنة 1517.

[14]. أورد توماس كون جزءا من هذا النص (ص. 261)؛ ويوجد بكامله في:

- Michel-Pierre Lerner, « Aux origines de la polémique anticopernicienne (II) : Martin Luther, Andreas Osiander et Philipp Melanchthon », Revue des Sciences philosophiques et théologiques, Vol. 90, No. 3 (Juill.-Sept. 2006), p. 411 ;

«لقد ذكر البعض أن مُنجِّماً حديث العهد يسعى إلى إثبات أن الأرض هي التي تدور وتتحرك، وليس السماء أو القبة السماوية، ولا الشمس والقمر... إن من يود أن يكون خبيثا لا يعجبه شيء مما يفعله الآخرون، بل يسعى إلى فعل شيء فريد أفضل من كل شيء، كما يفعل هذا الرجل. **هذا الأحمق يريد قلب علم الفلك بكامله رأسا على عقب. لكن الكتاب المقدس يقول لنا إن يشوع (Josué) أمر الشمس بالتوقف وليس الأرض»** [15].

وكذلك كانت ردة فعل الملازم الأول للوثر فيليب ميلانكتون[16] أكثر قسوة، فلم يكتف بالإدانة، بل طالب باتخاذ تدابير صارمة لردع كفر الكوبيرنيكيين. ولم يشذ **جون كالفان**[17] عن قاعدة زعماء الإصلاح الديني؛ فقد احتج في تفسيره لسفر التكوين بالآية الأولى من الإصحاح 93: « الرَّبُّ قَدْ مَلَكَ مُرْتَدِياً الْجَلالَ. مُتَنَطِّقاً بِجِزَامِ الْقُوَّةِ. الأَرْضُ تَثَبَّتَتْ فَلَنْ تَتَزَعْزَعَ»؛ ثم تساءل: «من يتجرأ على وضع سلطة كوبيرنيك فوق سلطان الروح القدس؟»

وهكذا أصبحت الإحالة على الكتاب المقدس شيئا فشيئا إجراء يحظى بالأفضلية عند الاعتراض على كوبيرنيك، وصار رجال الدين من كل الطوائف في العقود الأولى من القرن السابع عشر يفتشون الكتاب المقدس سطرا سطرا باحثين عن آية جديدة من شأنها أن تدحض مناصري حركة الأرض. وبالتدريج صار الكوبيرنيكيون يعامَلون في الغالب على أنهم "كفار" و"ملاحدة". وعندما انضمت الكنيسة الكاثوليكية رسميا إلى المعركة ضد الكوبيرنيكية بعد 1610، فإنها وصمت هذه بالهرطقة. وفي سنة 1616 وضعت كتاب

---

15. «حِينَئِذٍ كَلَّمَ يَشُوعُ الرَّبَّ، يَوْمَ أَسْلَمَ الرَّبُّ الأَمُورِيِّينَ أَمَامَ بَنِي إِسْرَائِيلَ، وَقَالَ أَمَامَ عُيُونِ إِسْرَائِيلَ: «يَا شَمْسُ دُومِي عَلَى جِبْعُونَ، وَيَا قَمَرُ عَلَى وَادِي أَيَّلُونَ. فَدَامَتِ الشَّمْسُ وَوَقَفَ الْقَمَرُ حَتَّى انْتَقَمَ الشَّعْبُ مِنْ أَعْدَائِهِ. أَلَيْسَ هذَا مَكْتُوبًا فِي سِفْرِ يَاشَرَ؟ فَوَقَفَتِ الشَّمْسُ فِي كَبِدِ السَّمَاءِ وَلَمْ تَعْجَلْ لِلْغُرُوبِ نَحْوَ يَوْمٍ كَامِلٍ. وَلَمْ يَكُنْ مِثْلُ ذلِكَ الْيَوْمِ قَبْلَهُ وَلاَ بَعْدَهُ سَمِعَ فِيهِ الرَّبُّ صَوْتَ إِنْسَانٍ، لأَنَّ الرَّبَّ حَارَبَ عَنْ إِسْرَائِيلَ.» (سفر يشوع، 10، 12–14).

16. Philippe Mélanchthon (1497–1560): لاهوتي بروتستاني ألماني، تلميذ مارتن لوثر، ومن أبز وجوه الإصلاح البروتستاني.

17. Jean Calvin (1509–1564): عالم لاهوت، وقس، ومصلح فرنسي في جنيف خلال حركة الإصلاح البروتستانتي.

"الدورات" وكل المصنفات التي تثبت حركة الأرض في "دليل الكتب المحرمة" (l'Index)، وحرّمت على الكاثوليك تعليم، بل وقراءة النظريات الكوبيرنيكية، اللهم إلا إذا طُهِّرت من كل إحالة على أرض تتحرك وشمس ثابتة في المركز.

إن نظرية كوبيرنيك عندما تُؤخذ على محمل الجد، تطرح مشكلات هائلة على المسيحيين. فمثلا، إن كانت الأرض مجرد واحد من الكواكب الستة، فماذا سيحدث لقصة السقوط والخلاص التي لها تأثير هام في الحياة المسيحية؟ إن كان هناك أجرام سماوية أخرى شبيهة بالأرض، فإن طيبة الله من شأنها أن تجعله يقرر إعمارها أيضا. ولكن إن وُجِد بشر على كواكب أخرى، كيف أمكنهم أن يتحدروا من آدم وحواء، وكيف أمكن لهم أن يرثوا الخطيئة الأصلية التي تفسر العنت والمشقة اللذين يلقاهما الإنسان على الأرض من جراء الشغل؟ إن كانت الأرض كوكبا، وبالتالي جرما سماويا يقع خارج مركز العالم، ماذا عن الموقع الوسطي، ولكن المركزي، للإنسان بين الجن والملائكة؟ إن كانت الأرض بوصفها كوكبا تشارك في طبيعة الأجرام السماوية، فإنها لا يمكن أن تكون هاوية الظلم التي ينتظر الإنسان بفارغ الصبر أن يفر منها لكي يلاقي ربه في السماوات الطاهرة. والسماوات لا يمكنها كذلك أن تكون مقاما ملائما للرب والملائكة إن كان فيها نصيب من الشرور والنقائص الواضح مرآها على كوكب الأرض. وأسوأ من ذلك، إن كان العالم لامتناهيا، كما يرى الكثير من الكوبيرنيكيين، فأين يمكن وضع عرش الإله؟ (كون 263–264).

لم يكن الجواب عن أسئلة من هذا القبيل أمرا سهلا. وقد ساهم طرحها، ومحاولات الإجابة عنها في تغيير التدين حتى عند الإنسان العادي. فنظريات كوبيرنيك تستلزم تحولا يطول الكيفية التي كان الإنسان يتصور بها علاقته بالله وأسس أخلاقه. وما كان لمثل هذا التحول أن يحدث في يوم واحد، وما كان من الممكن أن تبدأ سيرورته إلا بعد تقديم أدلة حاسمة على صحة نظريات كوبيرنيك.

## 2. مسار انتصار الكوبيرنيكية

### تيكو براهي (Tycho Brahé : 1546-1601)

إذا كان كوبيرنيك أعظم فلكي في أوربا إبان النصف الأول من القرن 16، فإن **تيكو براهي** كان سلطة عليا في علم الفلك إبان النصف الثاني من هذا القرن. ظل **تيكو** من حيث هو منظر في الكوصمولوجيا وعلم الفلك تقليديا. وفي أعماله لا نلمس ذلك الانهمام الأفلاطوني والفيثاغوري بالتناغم الرياضي الذي قاد كوبيرنيك إلى إنشاء نسق بديل لنسق بطلميوس، وكان في البداية هو الحجة الحقيقية الوحيدة على حركة الأرض. عبر تيكو عن رفضه للكوبيرنيكية في رسالة وجهها إلى الفلكي بوسر (Peucer) بتاريخ 13 شتنبر 1588:

«رغم أن نظرية كوبيرنيك تعالج على نحو ملائم ألوانا من عدم الاتساق والأمور الزائدة عن اللزوم في نسق بطلميوس، وأنها لا تسيء بتاتا إلى المبادئ الرياضية، فإن جزمها يظل مع ذلك مريبا، لأنها تنسب إلى الأرض (هذا الجرم الثقيل والخسيس) حركة مطردة وتامة ليس فيها أي اضطراب، ولأنها على الخصوص تناقض صراحة الكتب المقدسة في جوانب عديدة»[18]

تعبر هذه الرسالة عن أن الحل الذي اقترحه كوبيرنيك لتجاوز معضلات النسق البطلميوسي كان يصطدم بمقاومة قوية تحالفت فيها مرجعيتان كان لهما سلطان كبير على العقول والنفوس، وهما كوصمولوجيا أرسطو ونصوص الكتاب المقدس. وقد ظل **تيكو** معارضا لكوبيرنيك طوال حياته؛ ونفوذه الهائل ساهم في إبطاء تبني الفلكيين للنظرية الجديدة.

ومع أن **تيكو** لم يُقدّم أي مفهوم فلكي جديد، فقد كان له فضل عظيم على علم الفلك فيما يخص تقنيات الرصد الفلكي وفيما يخص معايير الدقة المطلوبة في المعطيات الفلكية. لقد

---

[18]. انظر نص الرسالة في المقدمة التي كتبها مترجما العمل الآتي:

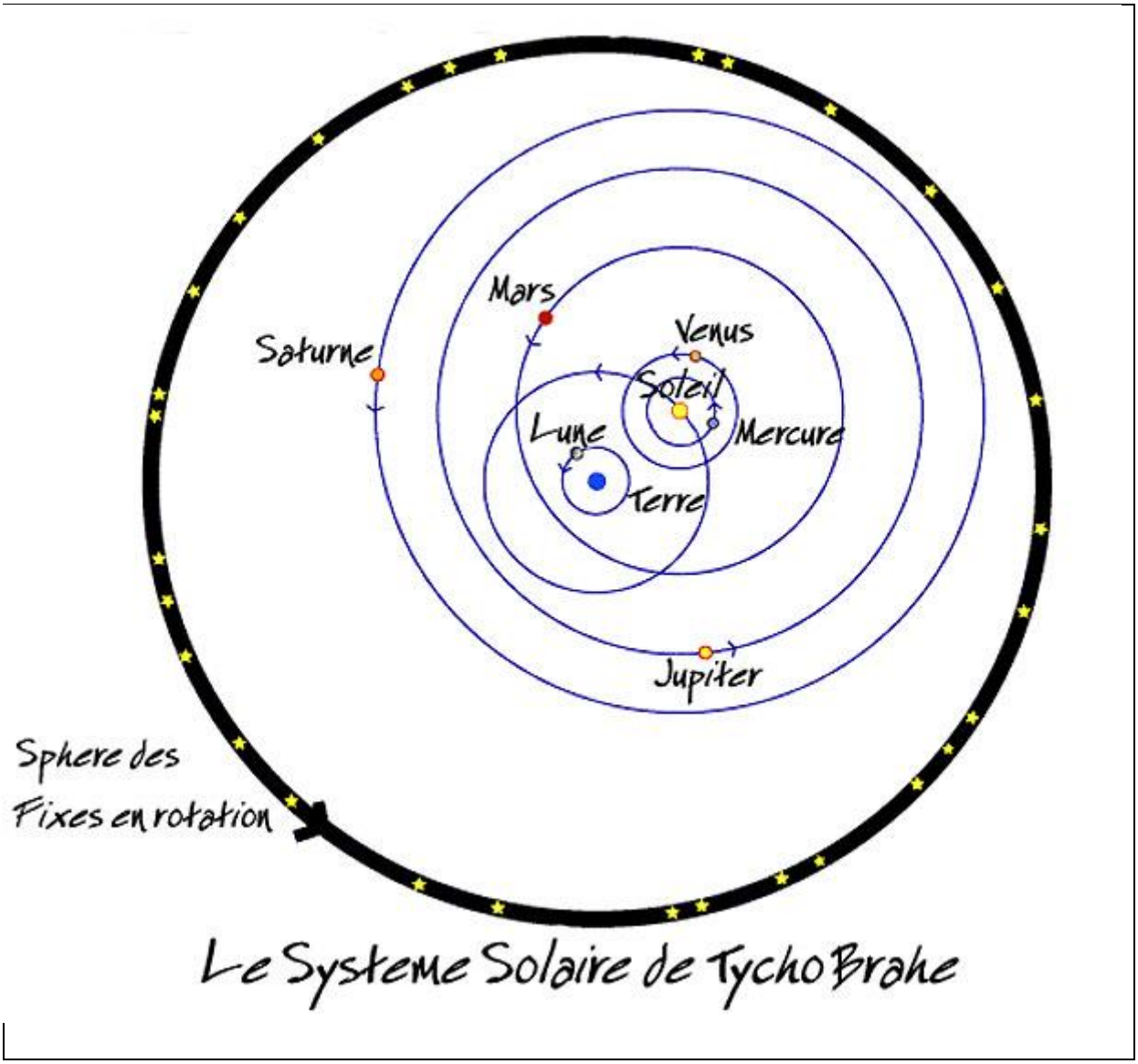
- Galilée, *Lettre à Christine de Lorraine et autres écrits coperniciens*, op.cit., p. 22.

كان أعظم راصد بين جميع الرصاد بالعين المجردة. فقد كان أول من قام برصد دؤوب ومنتظم للكواكب استمر مدة تفوق ثلاثين سنة. والأرصاد الحديثة بالتلسكوب تبين أن معطياته كانت أدق من معطيات أفضل الأرصاد السابقة عليه. تتمثل قيمة وأهمية المعطيات التي جمعها **تيكو** في أنها حررت علم الفلك في ذلك الوقت من تبعيته للمعطيات القديمة، واستبعدت عددا من المشكلات الوهمية التي تثيرها معطيات خاطئة. وقد صيغت مشكلة الكواكب المتحيرة بطريقة أفضل اعتمادا على أرصاده، وذلك كان شرطا مسبقا لحلها.

يقتصر الإسهام الأساسي لتيكو براهي في حل مشكلة الكواكب على تقديم معطيات دقيقة وكثيرة ومُحيَّنة. ولكنه قام بدور أهم في الثورة الكوبيرنيكية عندما أنشأ نسقا فلكيا سرعان ما حَلّ محل نسق بطلميوس وجمع حوله الفلكيين الذين لم يستطيعوا، مثل تيكو، القبول بحركة الأرض. ومعظم الأدلة التي ساقها ضد كوبيرنيك هي أدلة معاصريه بعد أن بسطها بالتفصيل. إلا أنه شدد بالخصوص على الفضاء الشاسع جدا الذي فتحته نظرية كوبيرنيك بين فلك زحل والنجوم الثابتة، وذلك فقط لكي تعلل غياب اختلاف المنظر (parallaxe) فيما يخص هذه النجوم. فلكي تكمل الأرض دورتها حول الشمس تحتاج، وفق فرضية كوبيرنيك، إلى سنة كاملة. وإذا كانت تحتاج إلى ستة أشهر لقطع نصف مدارها، فمن المفروض أن يتغير منظر النجوم المرئية بين الانقلابين الشتوي والصيفي. وقد بحث هو نفسه عن هذا الاختلاف في المنظر بأدواته الكبيرة الجديدة؛ ولما لم يجده، وجد نفسه مضطرا إلى رفض حركة الأرض.

إن عدم اختلاف منظر النجوم يضعنا أمام خيارين لا ثالث لهما: فإما أن الأرض لا تدور؛ وإما إذا كانت تدور، فسيكون العالم شاسعا شسوعا غير معقول، بحيث لا تمثل المسافة التي تفصلنا عن النجوم شيئا مقارنة بشسوع الكون. ولذلك رفض **تيكو** الافتراض الثاني لعدم معقوليته.

غير أن براهي، وإن كان قد رفض حركة الأرض، لم يستطع أن يغض النظر عن ألوان التناغم الرياضي التي أدخلها كتاب "الدورات" في علم الفلك. لم تقنعه هذه التناغمات باعتناق الكوبيرنيكية، لأنها لا تقدم بحسبه دليلا كافيا يكافئ المعضلات التي تثيرها حركة الأرض؛ إلا أنها على الأقل جعلته يبتعد عن بطلميوس الذي رفضه في آخر المطاف لصالح نسق ثالث هجين قام هو بابتكاره. في هذا النسق أيضا، الأرض ثابتة في المركز الهندسي لفلك النجوم الذي يفسر دورانه اليومي الحركة اليومية للنجوم. وكما في نسق بطلميوس، تنجر الشمس والقمر والكواكب دوراتها نحو الغرب مع النجوم بواسطة الحركة اليومية للفلك الخارجي؛ ولها، فضلا عن ذلك، حركة مدارية نحو الغرب خاصة بها. ونسق براهي يقتضي أيضا أفلاك تدوير صغيرة جدا، ودوائر خارجة المركز ومُعّدلات مسير. وإلى هذا الحد لا يختلف نسقه عن نسق بطلميوس. لكن مركز مدارات الكواكب الخمسة الأخرى تم نقله من الأرض إلى الشمس. (انظر الشكل أسفله)




إن السمة المميزة والدالة لنسق تيكو براهي من الزاوية التاريخية هي أنه يقدم حلا وسطيا للمشكلات التي طرحها كتاب "الدورات". فبتثبيت الأرض وجعلها في مركز العالم، تنهار الأدلة الأساسية التي سيقت ضد كوبيرنيك. وهكذا وفَّق تيكو بين الكتب المقدسة وقوانين الحركة وعدم اختلاف منظر النجوم، دون أن يضحي لأجل ذلك بأي واحدة من التناغمات الرياضية الأساسية. والواقع أن نسق براهي مكافئ لنسق كوبيرنيك من الناحية الرياضية. فتحديد المسافات، وألوان الشذوذ الظاهرة في حركات الكواكب المتحيرة، وكل التناغمات الجديدة الأخرى التي أقنعت كوبيرنيك بحركة الأرض حاضرة في نسق تيكو براهي.

لكن نسق براهي له شناعاته الخاصة. فمعظم الكواكب ليس لها مركز، طالما أن المركز الهندسي للكون لم يعد مركزا لمعظم الحركات السماوية؛ ومن الصعوبة بمكان تخيل ميكانيزم فيزيائي من شأنه أن ينتج هذه الحركات. ولذلك لم يُقنع هذا النسق بعض الفلكيين ممن تأثروا بالأفلاطونية، مثل كبلر، الذين اجتذبهم التناظر العظيم (la symétrie) للنسق الكوبيرنيكي. غير أنه أقنع معظم الفلكيين المتمكنين من غير الكوبيرنيكيين في تلك الحقبة، لأنه سمح لهم بتفادي إحراج انتشر الشعور به: فهو قد احتفظ بالمزايا الرياضية لنسق كوبيرنيك من جهة، وحذف منه "العيوب" الفيزيائية والكوصمولوجية واللاهوتية. وفي ذلك تكمن أهمية نسق تيكو براهي. لقد جاء نتيجة للحاجة الماسة إلى المزايا الرياضية التي لا يمكن نكرانها في نسق كوبيرنيك، وتلبية للرغبة في تفادي الاعتراضات الفيزيائية واللاهوتية على حركة الأرض. وهكذا بدا نسق تيكو براهي، الذي بفضله تخلى معظم الفلكيين المتمكنين في القرن 17 عن نسق بطلميوس، بمثابة منتوج فرعي "للدورات". والنجاح المباشر لنسقه يبين قوة الحاجة التي استجاب لها من جهة، ويشكل دليلا على أن "الدورات" قد وضع مشكلات جديدة لم يكن بإمكان كل الفلكيين تجاهلها أو تفاديها أو إيجاد حلول لها من داخل النسق البطلميوسي.

إن الحلول التوفيقية التي قدمها تيكو براهي لمشكلة الكواكب المتحيرة تبين أنه كان غير قادر، كمعظم فلكيي عصره، على القطع مع أطر التفكير التقليدية فيما يخص حركة الأرض. فبين اللاحقين على كوبيرنيك عُدَّ من المحافظين؛ غير أن عمله كان له تأثير غير محافظ. ذلك أن نسقه وأرصاده الدقيقة أجبرت اللاحقين على التخلي عن بعض السمات الهامة للعالم الأرسطو–بطلميوسي، وأفضت بالتدريج إلى اعتناق نظريات كوبيرنيك. ففي المقام الأول، ساعد نسق تيكو الفلكيين على الاعتياد على المشكلات الرياضية للفلك الكوبيرنيكي، لأن نسقه ونسق كوبيرنيك متكافئين من الناحية الهندسية. ثم إن نسق تيكو المدعَّم برصده للمذنبات، أجبر الفلكيين على التخلي عن الأفلاك البلورية الصلدة التي كانت

منذ الماضي السحيق تحمل الكواكب وتنقلها على مداراتها. ففي نسق براهي يتقاطع مدار المريخ ومدار الشمس (انظر الشكل أعلاه). وتبعا لذلك لا يمكن أن يكون المريخ والشمس محويين في فلكين يحملانهما، وإلا للزم عندئذ أن يتداخلا دائما، ويتحرك كل منهما من خلال الآخر. ثم إن فلك الشمس يخترق فلك عطارد وفلك الزهرة. غير أن التخلي عن الأفلاك لا يكفي لأن يصير الفلكي كوبيرنيكيا؛ لأن كوبيرنيك نفسه قد استعمل الأفلاك لكي يفسر حركات الكواكب. ولكن الأفلاك كانت عنصرا أساسيا في التقليد الكوصمولوجي الأرسطي الذي كان العائق الأساسي أمام انتصار الكوبيرنيكية. وكل قطيعة مع هذا التقليد كانت تعمل لصالح الكوبيرنيكية؛ ونسق براهي رغم عناصره التقليدية كان قطيعة هامة.

على أن ما قاد معاصري تيكو براهي نحو كوصمولوجيا جديدة هو أرصاده البارعة أكثر من نسقه. لقد قدمت هذه الأرصاد الركيزة الأساسية لعمل كبلر الذي استخدم تجديدات كوبيرنيك ليقدم الحلول الأولى الوافية لمشكلة الكواكب. وحتى قبل أن تستعمل المعطيات الدقيقة التي جمعها تيكو براهي لمراجعة نسق كوبيرنيك، فإنها أوحت بضرورة تقديم مراجعة جديدة عميقة للكوصمولوجيا الكلاسيكية؛ لأنها شككت في أطروحة عدم تغير السماوات. ففي نهاية سنة 1572، عنما كانت مسيرة براهي الفلكي قد بدأت، ظهر جرم سماوي ساطع في كوكبة ذات الكرسي (constellation de Cassiopée) الواقعة قبالة كوكبة الدب الأكبر. وعندما رُصد هذا الجرم للمرة الأولى كان ساطعا جدا، مثل سطوع الزهرة في بريقها الأكبر. وطوال ثمانية عشر شهرا كان هذا الضيف السماوي يصير أكثر شحوبا، وانتهى بالاختفاء تماما في مطلع سنة 1574. راقب تيكو هذا الجرم الساطع، فلاحظ أنه لا يتحرك مثل الذنبات؛ كما لم يسجل لا هو ولا أي من الرصاد أي اختلاف في المنظر اليومي لهذا الجرم؛ الأمر الذي يعني أنه كان بعيدا جدا عن القمر. وهكذا استنتج هو وآخرين أن الزائر السماوي ليس مذنبا، لأنه كان بلا ذيل، وكان يحتل دائما نفس الموقع على فلك النجوم.

إن كلمة "نجم" هي مفتاح الدلالة الفلكية والكوصمولوجية لهذه الظاهرة الجديدة. إذا كان الأمر يتعلق بنجم، فعندئذ تكون السماوات الثابتة قد تغيرت، ويوضع التقابل الأساسي بين ما فوق القمر والنطاق الأرضي الذي يصيبه الفساد موضع سؤال. إذا كان الزائر الجديد نجما، يمكننا عندئذ أن نتصور بسهولة الأرض كوكبا؛ لأن سمة التغير (تكونا وفسادا، واستحالة ونموا) التي كانت حتى ذلك تعتبر خاصية مقتصرة على الأشياء الأرضية، قد اكتُشفت في السماء كذلك. وقد جزم تيكو براهي والنبهاء من معاصريه بأن الزائر نجم، وأشارت الأرصاد إلى أن موقعه لا يمكن أن يكون تحت فلك القمر، ولا قريبا من ما فوق القمر؛ وبالتالي تم ترجيح أنه يوجد بين النجوم، إذ لوحظ أنه ينتقل معها. وهكذا تم العثور على سبب آخر لحدوث انقلاب كوصمولوجي.

كان من الممكن أن يمر اكتشاف قابلية السماء للتغير في القرن 16 بدون أن يحدث أثرا، لو كان التغير المرصود في منطقة ما فوق القمر قد اقتصر على النجم الجديد سنة 1572. لكن لحسن الحظ قدمت المذنبات التي رصدها تيكو باهتمام سنوات 1577، و1580 و1585 و1590 و1593 و1596 أدلة إضافية وقارة على التغير الذي يصيب منطقة ما فوق القمر. وهنا أيضا لم يرصد أي تغير للمنظر قابل للقياس، وبالتالي نُقلت المذنبات أيضا إلى فلك القمر حيث وضعت في النطاق الذي كانت تملأه سابقا الأفلاك البلورية.[19] وهكذا قدمت هذه المذنبات دليلا آخر على حدوث تغيرات في السماء "الثابتة"، ودلت مواقعها على أنها تخترق "كرات" أو "أفلاك" لكواكب؛ الأمر الذي يعني أنه لا توجد أفلاك بلورية صلدة حاملة للكواكب، وأن مدارات الأجرام السماوية يمكن أن تتقاطع فيما بينها. لقد نجحت أدلة تيكو براهي في إقناع عدد كبير من الفلكيين بوجود عيب عميق في الرؤية الأرسطية للعالم.

---

19. علينا أن لا ننسى أن كوصمولوجيا أرسطو تؤكد أن المذنبات (والشهب والنيازك أيضا) ظواهر علوية، أي تحدث في الطبقات العليا دون فلك القمر نتيجة اشتعال أبخرة سريعة الاشتعال في طبقات الجو العليا. ولأنها أجسام شاردة متغيرة، فإنه لم يكن لها مكان في العالم السماوي البريء من التغيرات كلها ما عدا الحركة الموضعية.

يمكن القول إن مستجدات الرصد والنظرية الفلكيين، سواء أكانت من صنيع الكوبيرنيكيين أو غيرهم، في القرن الذي تلا وفاة كوبيرنيك، كانت تؤيد بهذا الكيفية أو تلك، نظرية مؤلف "الدورات". كانت هذه النظرية تثبت خصوبتها. ذلك أن النجوم الجديدة والمذنبات قد رُصدت مرارا قبل زمن تيكو براهي. ولم تكن أدوات **تيكو** المتقنة ضرورية لاكتشاف أن المذنبات والأجرام الجديدة تقع في نطاق ما فوق القمر. لكن هذه الظواهر وإن لوحظت من قبل، كان يتم إغفالها أو تأويلها على أنها ظواهر علوية. أما في النصف الثاني من القرن 16، فقد وجد هذا الإطار القادر على إعطاء دلالة جديدة لهذه الظواهر المعروفة منذ زمن طويل. ما كان لهذه التغيرات أن تحدث لو لم يوجد هذا المناخ العلمي الجديد الذي كان كوبيرنيك أحد أبرز ممثليه. لقد كان كتاب الدورات انعطافة كبرى في تاريخ الفكر البشري، ولم يكن ثمة إمكان للرجوع بعد ظهوره إلى الوراء.

## يوهانس كبلر (Johannes Kepler : 1571-1630)

تعد أعمال كبلر، أشهر رفاق تيكو براهي، خير دليل على المشكلات الجديدة التي فرضت نفسها على علم الفلك بعد كوبيرنيك. كان كبلر كوبيرنيكيا طوال حياته. ويبدو أن معلمه الفلكي والرياضي ميستلان هو الذي أدخله إلى نسق كوبيرنيك، عندما كان طالبا في جامعة توبينغن البروتستانية، فلم يَنْتَبْهُ الشك فيه بعد ذلك أبدا. فقد ظل طوال حياته يذكر بنبرة شاعرية ملاءمة الدور الذي منحه كوبيرنيك للشمس. وكتابه الأول الهام، "سر الكون"، المنشور سنة 1596، يبدأ بدفاع مطول عن النسق الكوبيرنيكي، يشدد فيه على كل الأدلة المستقاة من التناغم (l'harmonie). وأدلة كبلر هي نفسها أدلة كوبيرنيك، إلا أنها نُوّعت وفُصِّلت وأرفقت بخطاطات مفصلة. لقد بيّن كبلر بوضوح قوة الأدلة الرياضية في علم الفلك الجديد.

غير أن كبلر لا يتوانى عن نقد النسق الرياضي الذي أنشأه كوبيرنيك. فهو يلحُّ في أعماله باستمرار على أن كوبيرنيك لم يدرك أبدا كنوزه، وأنه بعد أن أنجز الخطوة الأولى بجرأة عندما حرّك الأرض وثبَّت الشمس، بقي قريبا من بطلميوس عندما بسط تفاصيل نسقه. كان كبلر يدرك بوضوح وبأسى البقايا القديمة في "الدورات"، فعزم على استبعادها من خلال استنباط كل النتائج المترتبة على اعتبار الأرض كوكبا محكوما من قِبَل الشمس، كباقي الكواكب السيارة، ولم يُبق لها على أي وظيفة خاصة تميزها عن الكواكب. كما ألح على ضرورة حساب جميع مدارات الكواكب الخارجة عن المركز بالطريقة نفسها انطلاقا من الشمس. وبتطبيق هذا المنهج تبددت كثير من التغيرات الظاهرة التي تطال المدارات الخارجة المركز، وتناقص عدد الدوائر التي كانت تُحتاج لحساب المواقع. وبذلك حسّن كبلر النسق الرياضي لكوبيرنيك من خلال تطبيق مبادئ النظرية الكوبيرنيكية نفسها.

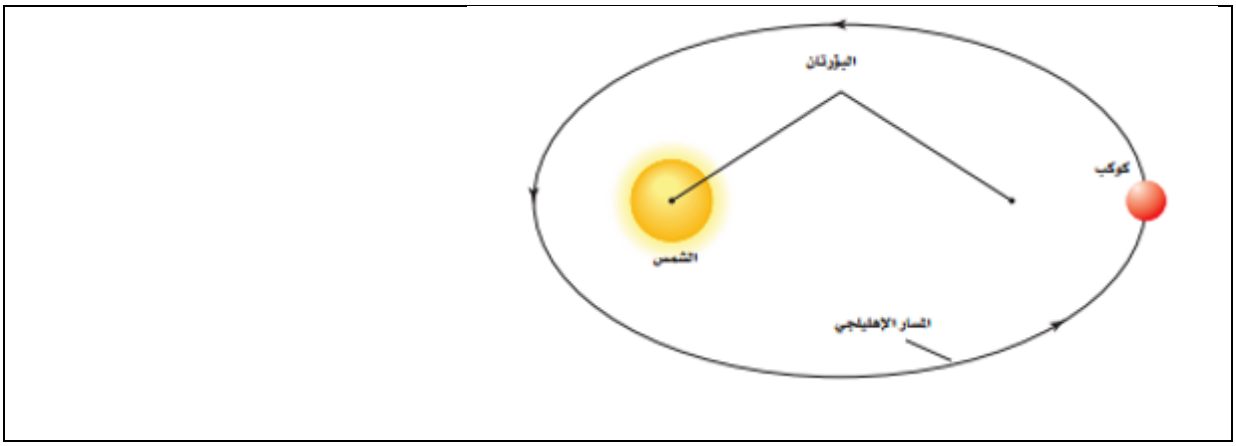
تُظهر التحسينات التي أدخلها كبلر على نسق كوبيرنيك أن همه كان هو مواءمة التقنيات الرياضية البطلميوسية التي وظفها كوبيرنيك مع الرؤية الكوبيرنيكية لعالم تحكمه الشمس. وبهذه الطريقة حلّ كبلر نهائيا مشكلة الكواكب، وحوّل النسق الكوبيرنيكي المعقّد والثقيل إلى تقنية لحساب مواقع الكواكب بالغة البساطة والدقة. لقد توصل إلى اكتشافاته الأساسية من خلال دراسته حركة المريخ الذي كانت كرته خارجة المركز واقترابه من الأرض مصدرا لكثير من أشكال عدم الاطراد التي شكلت دائما تحديا لبراعة الفلكيين الرياضيين. فقد عجز بطلميوس عن تفسير حركته تفسيرا مُرْضيا، ولم يُضِفْ كوبيرنيك شيئا ذا بال إلى عمل سابقه. أما تيكو براهي، فقد سعى إلى العثور على حل جديد، فخصص لهذا الغرض سلسلة طويلة من الأرصاد، ثم تخلى عن مسعاه بعد أن واجه كل معضلات المشكلة. وكبلر الذي عمل معه في آخر سنوات حياته، ورث الأرصاد الجديدة، وشرع في حل المشكلة بعد وفاة تيكو.

كان ذلك عملا شاقا شغل كوبيرنيك مدة تقارب عشرة أعوام. كان لابد من حساب مدارين: مدار المريخ نفسه، ومدار الأرض التي منها يُرصد المريخ. كان كبلر يضطر في مرات عديدة إلى تغيير توليفة الدوائر التي كان يستعملها لحساب هذين المدارين. ولقد جرب توليفات كثيرة، واحدة تلو الأخرى، ثم رفضها بعد أن تبين له أنها لا تعطي نتائج تتوافق مع أرصاد تيكو الدقيقة. كانت هذه الحلول الوسطية أفضل من حلول نسقي بطلميوس وكوبيرنيك؛ والبعض منها كانت نسبة الخطأ فيه قليلة. ومعظم الحلول التي استبعدها كبلر كانت سترضي أسلافه في حساب مواقع الكواكب. غير أن هؤلاء عاشوا قبل تيكو براهي الذي كانت أرصاده عالية الدقة. وكبلر يقول إن العناية الربانية قد وهبتنا في تيكو براهي راصدا دقيقا لكي نكتشف البنية الحقيقية للحركات السماوية.

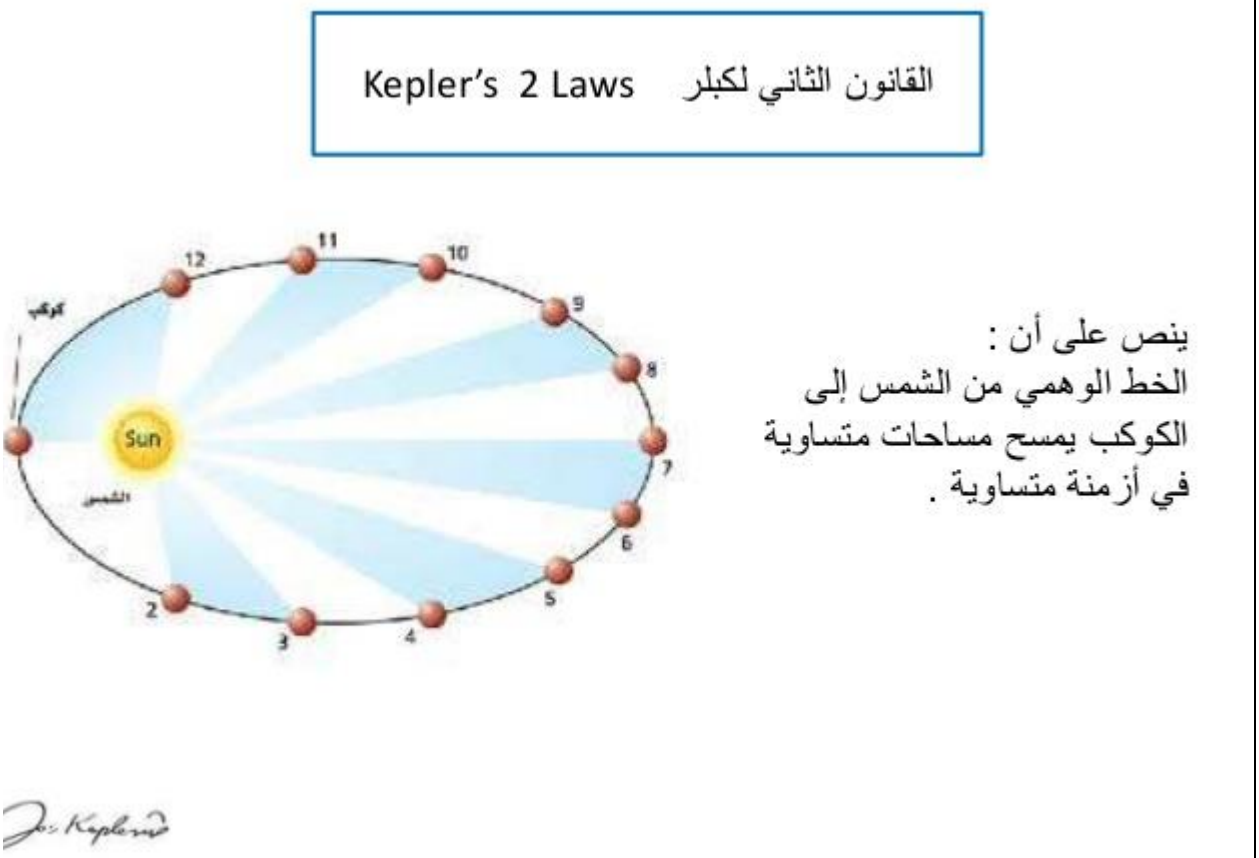
لقد أدرك كبلر بعد سلسلة طويلة من المحاولات غير المثمرة أن أي نسق قائم على التوليف بين الدوائر لن يحل المشكلة. ولذا، وجب البحث عن المفتاح في شكل هندسي آخر غير الدائرة. وقد جرب كثيرا من الأشكال البيضوية (les ovales)، ولكن أيّاً منها لم يُلْغ التباينات بين محاولاته النظرية والأرصاد. وفيما بعد لاحظ أن هذه التباينات تتغير هي نفسها بحسب قانون رياضي مألوف، فاكتشف بدراسة هذا الاطراد أنه يمكن التوفيق بين النظرية والأرصاد إن كانت الكواكب تتنقل على مدارات إهليلجية بسرعة متغيرة محكومة بقانون بسيط صاغة بدقة أيضا. تلك هي الخلاصات التي أعلن عنها كبلر في كتابه "علم الفلك الجديد" الذي نشر أول مرة في براغ (Prague) سنة 1609. لقد أفضت تقنية رياضية أبسط من تلك التي استعملت منذ أبولونيوس وهيبارخوس إلى توقعات أكثر دقة بكثير من تلك التي تم بناؤها من قبل. وهكذا حُلّت مشكلة الكواكب أخيرا، وقد حُلّت في إطار كون كوبيرنيكي.

حلل كبلر المعطيات التي جمعها تيكو براهي، فتوصل إلى صياغة ثلاثة قوانين قدمت حلا نهائيا لمشكلة حركة الكواكب:

- **القانون الأول** (=قانون المدارات): إن مدارات الكواكب السيارة ليست تامة الاستدارة كما اعتقد الفلكيون دائما، بل إن الكواكب ترسم خلال دورانها حول الشمس شكلا إهليلجيا (=قطْع ناقص) تحتل الشمس إحدى بؤرتيه. (انظر الشكل أسفله)




- **القانون الثاني** (=قانون المساحات): إن سرعة الكواكب السيارة تزداد عندما تقترب في مداراتها الإهليلجية من الشمس، وتقل عندما تبتعد عنها، بحيث إن المستقيم الوهمي الذي يربط مركز الكوكب بمركز الشمس يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية. (انظر الشكل أسفله)




عندما نستبدل المدارات الإهليلجية بالمدارات الدائرية التي شكلت قاعدة لعلم الفلك البطلميوسي والكوبيرنيكي، وقانون المساحات بقانون الحركة المنتظمة حول المركز أو حول نقطة تقع قرب المركز، تتبدد ضرورة الأفلاك خارجة المركز وأفلاك التدوير ومعدِّلات المسير وعناصر أخرى اعتمدها أسلاف كوبيرنيك من الفلكيين في النظرية الفلكية. ولأول مرة في تاريخ النظرية الفلكية أصبح منحنى هندسي وقانون سرعة وحدهما كافيين لتوقع مواقع الكواكب؛ ولأول مرة، أصبحت التوقعات متوافقة على نحو دقيق مع الأرصاد.

وهكذا فإن النسق الفلكي الكوبيرنيكي الذي ورثه العلم الحديث هو ثمرة لعمل كوبيرنيك وكبلر. فبفضل نسق كبلر أصبح علم الفلك المتمركز على الشمس قابلا للحياة، وكشف عن بساطة واقتصاد التجديد الكوبيرنيكي. وما كان لكبلر أن ينجز هذا الانتقال من النسق

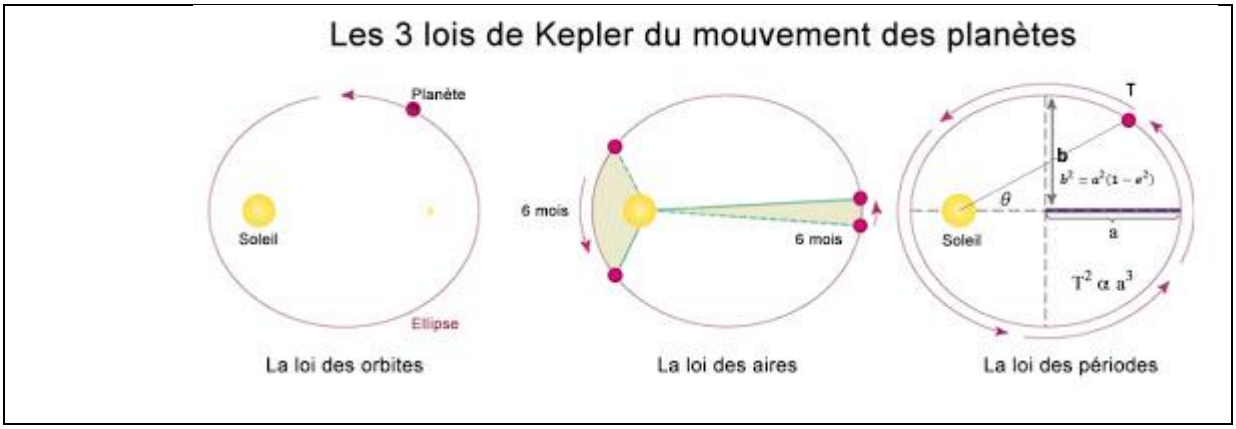
الكوبيرنيكي إلى الصورة الكبلرية إلا بتوفر شرطين: كان عليه **أولا** أن يكون كوبيرنيكيا مقتنعا، فيبدأ بحثه عن مدارات أنسب بالتعامل مع الأرض على أنها مجرد كوكب. **وثانيا**، كان بحاجة إلى معطيات تيكو براهي. فالمعطيات التي كانت بحوزة كوبيرنيك والسابقين كانت تشوبها أخطاء كثيرة إلى درجة أنه ما كان من الممكن اعتمادا عليها إيجاد مدارات أبسط تفسرها. لكن هذه المعطيات من جهة أخرى لم تكن كافية حتى بعد تخليصها من الشوائب. ذلك أن أرصادا أقل دقة من أرصاد تيكو براهي كان يمكن تفسيرها، كما بين ذلك كبلر نفسه، بتوليفة كلاسيكية من الدوائر.

ومع ذلك، فإن السيرورة التي بها توصل كبلر إلى قوانينه الشهيرة تستند إلى شيء أكثر من توافر معطيات دقيقة ومن التعامل مع الأرض على أنها مجرد كوكب بين الكواكب. فقد كان كبلر أفلاطونيا محدثا متحمسا. كان يعتقد أن **القوانين الرياضية البسيطة هي أساس كل الظواهر الطبيعية، وأن الشمس هي السبب الفيزيائي لكل الحركات السماوية**. وإسهاماته الفلكية الكثيرة، ما بقي منها وما اندثر، تنم عن هذا الإيمان الأفلاطوني المحدث الصوفي.

كتب كبلر في نهاية الفصل الرابع من "علم الفلك الجديد" واصفا الشمس: إنها الجرم «الوحيد الذي يبدو جديرا بفضل مكانته وقوته ... بتحريك الكواكب على مداراتها، وجديرا بأن يصير مقرا للرب نفسه، لكي لا نقول للمحرك الأول». إن هذه القناعة هي التي جعلته يرفض نسق تيكو براهي، إلى جانب نواحي أخرى لا اتساق فيها في هذا النسق.

- أما **القانون الثالث**، فهو قانون فلكي من طينة جديدة. فالقانونان الأول والثاني يصفان الحركة الفردية لكوكب على مداره، مثلما كانت تفعل ذلك قوانين الفلك القديم والوسيطي. أما القانون الثالث، فبخلاف ذلك يقيم علاقة بين سرعات الكواكب على مدارات مختلفة. وينص على أن مربع النسبة بين الزمنين اللازمين لكي يكمل كوكبان دورانهما حول الشمس تتناسب طرديا مع مكعب النسبه بين متوسطي بُعديهما عن الشمس.

إن القانون الثالث بالغ الأهمية من الناحية التاريخية، لأنه كشف لأول مرة عن اطراد في نسق الكواكب. ورغم أن تطبيقاته العملية كانت قليلة، فإنه أثار إعجاب كبلر كثيرا. فكبلر كان رياضيا ذا هوى فيثاغوري جديد أو أفلاطوني جديد، أي كان يعتقد أن كل شيء في الطبيعة صورة مجسدة لانتظامات رياضية يتعين على العلماء اكتشافها. وبالنسبة إليه، كما بالنسبة إلى آخرين شاركوه نفس الإيمان، كان الانتظام الرياضي في حد ذاته تفسيرا. والقانون الثالث حسب كبلر كان بذاته يفسر لِمَ نظم الله مدارات الكواكب في هيئتها المخصوصة. وهذا النوع من التفسير، المستنبط من التناغم الرياضي، هو ما كان كبلر يبحث عنه باستمرار في السماء. فقد اقترح عددا كبيرا من القوانين الأخرى من هذا الضرب، والتي نبذها الفلكيون من بعده، لأنها، وإن كانت تتصف بالتناغم، لم تكن تفسر الملاحظات تفسيرا كافيا. وهذا ما يبين أن الإيمان بوجود تناغم رياضي أودعه الرب في الطبيعة قد قاد كبلر إلى القطع مع التقليد الفلكي وأقنعه بحركة الأرض وبالدور الفيزيائي للشمس، كما أنه لعب دورا كبيرا في كشوف كوبيرنيك الفلكية.




## غاليليو غليلي (Galilée 1564-1642)

حل كبلر مشكلة الكواكب. والصيغة التي اتخذتها الكوبيرنيكية بفضله كان من شأنها أن تفضي في نهاية المطاف إلى اعتناق كل الفلكيين الكوبيرنيكية، وخصوصا بعد 1627،

وهي السنة التي نشر فيها الجداول الرودولفية (Tables rodolphines) المشتقة من نظريته الجديدة والمعتمدة على أرصاد تيكو براهي الدقيقة. لقد بات واضحا أن هذه الجداول متفوقة على كل الجداول الفلكية التي كانت مستعملة آنئذ، وأن عمل كبلر ينطوي على كل العناصر الضرورية لانتصار الثورة الكوبيرنيكية.

لكن لا يمكن الحديث عن تاريخ الثورة الكوبيرنيكية دون حجز مكان لغاليليو غاليلي ومنظاره. ففي سنة 1609 وجه غاليليو المنظار (la lunette) لأول مرة إلى السماء، وقدم بذلك إلى علم الفلك أولى المعطيات الكيفية الجديدة. لقد غير منظار غاليلي منظور الفلكيين للسماء، وساهم في تسريع وتيرة الانتصار الذي كان متوقعا.

كان المنظار أداة جديدة سنة 1609. علم غاليلي أن صقّالين هولنديين قد ألفوا بين عدستين، وأن الأداة التي حصلوا عليها بهذه الطريقة تُكَبّر الأشياء البعيدة. ولقد أقدم هو نفسه على تجريب تأليفات عديدة، حصل في آخرها على منظار كان تكبيره أكثر قليلا؛ ثم فعل ما لم يفعله، على ما يبدو، أحد قبله: لقد وَجّه منظاره نحو السماء، وكانت النتيجة مذهلة. فكل ملاحظة كانت تكشف في السماء عن أمور جديدة لا تخطر على البال. وحتى عندما وجه المنظار إلى الأجرام السماوية المألوفة، كالشمس والقمر والكواكب، اكتشف جوانب جديدة هامة. لم يتوان غاليلي، الذي صار كوبيرنيكيا منذ سنوات، عن أن يجعل من كل كشف جديد حجة لصالح الكوبيرنيكية.

أعلن غاليلي عن اكتشافاته في "رسالة النجوم" (*Sidereus nuncius*)، فكتب بفخر:

«أنا أعرض في هذه الرسالة الموجزة أشياء عظيمة ليلاحظها ويعتبرها جميع الذين يهتمون بدراسة الطبيعة. أعرض أشياء عظيمة باعتبار سُمُوّها بالذات وجِدّتها المطلقة، وكذلك باعتبار الأداة التي استعملتها لتصبح بواسطتها مرئية لحواسنا» (كويري، 2017، 137).

وما كشف المنظار النقاب عنه أولا كان هو تلك العوالم الجديدة المتناثرة في قبة السماء. فحيثما وجه غاليلي منظاره في القبة السماوية اكتشف نجوما جديدة، والتجمعات النجمية التي بدت آهلة ازداد عددها. لقد اتضح بالمنظار أن درب التبانة أو الطريق اللبني ( la voie lactée)، الذي يبدو للعين المجردة مجرد وميض شاحب في السماء (وغالبا ما تم اعتباره ظاهرة تحدث تحت فلك القمر، مثل المذنبات والشهب، أو انعكاسا للضوء المنتشر من الشمس والقمر)، كان مجموعة هائلة من النجوم البالغة الصغر والقريبة جدا من بعضها البعض بحيث لا يمكن للعين المجردة التمييز بينها. هكذا صارت قبة السماء مزدحمة بزوار جدد لا حصر لعددهم؛ وبات اتساع الكون، بل وربما لاتناهيه الذي افترضه بعض الكوبيرنيكيين، ليس أمرا محالا؛ وتحولت الرؤية الباطنية لجيوردانو برونو لعالمٍ مأهول ومتسع على نحو لانهائي إلى معطى يكاد يكون محسوسا.

ولقد حلّ رصد النجوم أيضا مشكلة تقنية واجهها الكوبيرنيكيون. فالذين كانوا يمارسون الرصد بالعين المجردة قدَّروا القطر الزاوي (le diamètre angulaire) للنجوم، وبالاستعانة بالقيمة المقبولة فيما يخص بُعْد الأرض عن فلك النجوم، حوّلوا القطر الزاوي إلى تقدير الأبعاد الخطية. وفي عالم بطلميوسي، أعطت هذه الحسابات نتائج ليست بعيدة عن الحقيقة: قد تكون النجوم كبيرة ككبر الشمس، أو تكاد. ولكن تيكو براهي ألح في نقده للكوبيرنيكية على ما يلي: لو كان الكون الكوبيرنيكي واسعا بقدر ما يقتضي ذلك غياب اختلاف المنظر النجمي، للزم عندئذ أن يكون حجم النجوم كبيرا كبرا لا يصدق، ولوجب أن يكون مقدار نجوم السماء الأكثر سطوعا، وفقا لحسابات تيكو براهي، كبيرا جدا بحيث يمكنها أن تملأ كرة يساوي شعاعها مدار الأرض الذي تنجزه في دورتها السنوية، أو يفوقه. وهذا ما جعله يرفض نظرية كوبيرنيك. ولكن عندما وجه غاليلي المنظار إلى السماء، بدا أن مشكلة تيكو براهي مشكلة ظاهرة فقط. فليس من الضروري أن تكون النجوم كبيرة بمثل الحجم الذي قدره. إن المنظار يخلصنا من ضرورة الزيادة في حجمها لتكون أكبر من حجم الشمس، حينما يقلص

قطرها المرئي. فرغم أن المنظار زاد أضعافا مضاعفة عدد النجوم المرئية في السماء، فإنه لم يَزِدْ في أبعادها الظاهرة. وبخلاف الشمس والقمر والكواكب التي كبّرها منظارها غاليلي، حافظت النجوم على أبعادها.

ومع ذلك، ليست النجوم هي الدليل الوحيد، ولا هي الدليل الأفضل لصالح الكوبيرنيكية. عندما وجّه غاليلي منظاره نحو القمر، اكتشف أن سطحه ليس صقيلا كما كان يعتقد، بل مغطى بالتجاويف والفُوهات والوديان والجبال. وقد استطاع تقدير الارتفاعات والمنحدرات والنتوءات من خلال قياس طول الظلال، فقدم وصفا طبوغرافيا للقمر لا يختلف كثيرا عن طبوغرافيا الأرض. والنتيجة التي تترتب على ذلك هي أن ملاحظات القمر بالمنظار تثير الشكوك حول التمييز التقليدي بين الأرض والسماوات، وتبين أن القمر مُكوّن من نفس العناصر الأربعة، لا من جوهر خامس كما اعتقد أرسطو.

وملاحظات كوبيرنيك للشمس، بالمنظار طبعا، تزيد الشكوك السابقة حِدّة. فقد بينت أن في الشمس بقعا داكنة تظهر وتختفي على سطحها. ووجود هذه البقع في حد ذاته كان مناقضا لمعتقد كوصمولوجي تقليدي ينص على كمال السماوات؛ وظهورها واختفاؤها كان يتناقض مع معتقد براءة السماوات من كل تغير. وأدهى من ذلك، بين تحرك هذه البقع على قرص الشمس أن هذه تدور باستمرار حول نفسها، وبذلك تشكل نموذجا مرئيا لدوران الأرض حول محورها.

وجه غاليلي منظاره أيضا نحو المشتري، فاكتشف في السماء أربع نقط صغيرة مضيئة قريبة من هذا الكوكب. راقب هذه النقط لليالي متتابعة، فتأكد من أنها تغير مواقعها بطريقة ليس لها من تفسير بسيط غير كونها تدور باستمرار وبسرعة كبيرة حول المشتري. وهذه الأجرام هي أقمار المشتري الأربعة. بات واضحا أن هناك عوالم جديدة "في الكواكب" كما "في القبة السماوية". والأهم من ذلك، هو أنه لا يمكن أن نتصور لا في فرضية بطلميوس ولا في فرضية كوبيرنيك، هذه العوالم الجديدة وهي تتحرك على مدارات حول مركز الكون. إنها

تتحرك على ما يبدو حول كوكب، وتتصرف مثل القمر في فلك كوبيرنيك. وهكذا فإن اكتشاف أقمار المشتري أضعف أيضا اعتراضا قويا كان يوجه لفلك كوبيرنيك. كان على الفلك القديم، مثل الحديث، أن يقبل بوجود أقمار تدور حول كواكب. وفضلا عن ذلك قدمت الملاحظات الخاصة بالمشتري نموذجا مرئيا للنسق الشمسي الكوبيرنيكي. فهناك جرم سماوي محاط بـ"كواكبه" الخاصة، كحال الكواكب التي تدور حول الشمس بالضبط.

غير أن الملاحظات الخاصة بكوكب الزهرة هي التي قدمت دليلا مباشرا لصالح قضية كوبيرنيك. فهذا الأخير قد أكد في الفصل العاشر من المقالة الأولى من كتاب "الدورات" أن مظهر الزهرة لو كان قابلا للملاحظة المفصلة لأمكن أن يقدم لنا معلومة مباشرة عن مدار الكوكب. فإذا كان مدار الزهرة يحيط بالشمس فإنه يمكن لملاحظ على الأرض أن يرى دورة تامة من الأطوار (les phases) المشابهة لأطوار القمر. لا يمكن رؤية هذه الأطوار بالعين المجردة، لأن الكواكب لا تبدو للعين إلا مجرد نقط ليس لها بنية. غير أن منظار غاليلي كبّر الكواكب بما فيه الكفاية، وبين مختلف أوجه الزهرة، بحيث تكون طورا هلالا، وطورا تبدو كالبدر، وبين هذين الطورين أطوار كثيرة؛ وبين أيضا أنها تقع أحيانا بيننا وبين الشمس، وأحيانًا أخرى على الجانب البعيد من الشمس؛ وبالتالي فإنها تتحرك على مدار حول الشمس.

كانت الأدلة التي قدمها منظار غاليليو قوية، إلا أنها أيضا غريبة. فباستثناء الملاحظات المتعلقة بالزهرة، لم تقدم الملاحظات الأخرى دليلا مباشرا على صحة المبادئ الأساسية لنظرية كوبيرنيك، أي على كون الشمس تحتل المركز، وكون الكواكب تدور حولها. لقد كان في عالم بطلميوس وعالم تيكو براهي مُتّسع كاف لاستيعاب النجوم الجديدة المكتشفة. ومن الممكن تعديلهما معا لكي يقبلا بأن عالم السماوات غير كامل وغير ثابت، وبوجود أقمار مرتبطة بأجرام سماوية. كما أن نسق تيكو براهي كان باستطاعته تقديم تفسير جيد لأطوار الزهرة ولبعدها مثله مثل نسق كوبيرنيك. وهكذا لم يقدم المنظار دليلا على وجاهة الشبكة

المفهومية الكوبيرنيكية. غير أنه كان سلاحا فعالا في المعركة. لم يقدم دليلا حاسما، ولكنه كان أداة فعالة للدعاية.

بعد 1609 فَقَدَ نسق بطلميوس سلطانه النفساني وأصبح محافظا. كانت "الهجرة" نحو الكوبيرنيكية أيسر من ترقيع نسق بطلميوس؛ وذلك ما فعله عدد كبير ممن حملوا ملاحظات غاليلي على محمل الجِد. وقد يكون هؤلاء كذلك تأثروا باعتبار آخر: فقد توقع بعض الكوبيرنيكيين، وخصوصا الجذريين منهم، نوع الكون الذي كشف المنظار النقاب عنه. لقد تنبأوا بدقة بأطوار الزهرة؛ والأهم هو أنهم تنبأوا، وإن بغموض، بأن السماء مأهولة وبأنها غير كاملة. لقد تطابقت رؤيتهم للكون مع ما جعله المنظار محسوسا.

لقد كان الدور الأكبر للمنظار هو تقديم مستندات غير رياضية في متناول غير النتخصصين تتوافق مع زاوية النظر الكوبيرنيكية. بعد سنة 1609 أصبح بإمكان أناس ليسوا ملمين جيدا بمفاهيم علم الفلك النظر بالمنظار والاقتناع بأن الكون لا يتطابق والتصورات الساذجة للحس المشترك. فلا غرابة إذن أن تعود أصول التبسيط العلمي والخيال العلمي إلى القرن 17. وقد كان المنظار والكشوفات التي سمح بها هي أهم موضوعاتهما. هنا تكمن الأهمية الحقيقية للعمل الفلكي الذي أنجزه غاليلي الذي بسّط علم الفلك الكوبيرنيكي.

## انتصار الفلك الكوبيرنيكي

لم تقض مدارات كبلر الإهليلجية ولا منظار غاليلي مباشرة على معارضة الكوبيرنيكية. ذلك أن المعارضة الأكثر شراسة وتشويشا لم تظهر إلا بعد أن قدّم كبلر وغاليلي اكتشافاتهما. فعمل كبلر ما كان فهمه متاحا إلا للفلكيين الأكفاء؛ ورغم دقته الرياضية البالغة، فإن مداراته غير الدائرية والتقنيات الجديدة التي أتى بها لتحديد سرعات الكواكب بدت لكثير من الفلكيين أكثر سماجة وغرابة من أن تحظى بالقبول منذ البداية. فإلى حدود 1650، يمكننا العثور

على عدد كبير من الفلكيين المرموقين الذين كانوا يسعون جاهدين إلى بيان أنه من الممكن مضارعة دقة كبلر بأنساق رياضية أقل جذرية. وهكذا نجد أحدهم يحاول العودة إلى أفلاك التدوير؛ وآخر يسلم بالإهليلج، ولكنه يؤكد أن سرعة كوكب ما ثابتة بالنظر إلى بؤرة الإهليلج التي لا تحتلها الشمس. وآخرون جربوا أيضا مدارات ذات شكل آخر؛ لكن لم يكتب النجاح لأي من هذه البحوث؛ وفي نهاية القرن صارت المحاولات في هذا الاتجاه نادرة أكثر فأكثر. وعلينا أن ننتظر العقود الأخيرة من القرن 17 لكي تصير قوانين كبلر الأساس المقبول عموما للحسابات المتعلقة بالكواكب.

أما ملاحظات غاليلي، فقد اصطدمت في البداية بمعارضة قوية أتت من زمرة أخرى. فبمجيء المنظار، لم تعد الكوبيرنيكية شأنا سريا مقصورا على فئة معينة هي فئة الفلكيين المتمرسين على التقنيات الرياضية؛ ومن ثمة صارت أكثر إثارة للقلق والتوجس. بعد 1610، أي السنة التي أعلن فيها غاليلي عن اكتشافاته، ما عاد من الممكن استبعاد الكوبيرنيكية باعتبارها مجرد نسق رياضي مفيد، إلا أنه بدون أهمية أو سند فيزيائي. ما عاد من الممكن اعتبار حركة الأرض حماقة ظرفية سيتكفل الزمن بتبديدها. هكذا وجدت المكتشفات القائمة على الملاحظة بالمنظار نفسها في قلب معمعة معارضة قضية كوبيرنيك، وتبين معها الرهان الكوصمولوجي الحقيقي أكثر مما بينته التقنيات الرياضية.

اتخذت هذه المعارضة صورا شتى. فبعض معارضي غاليلي الأشد تعصبا رفضوا حتى النظر في الأداة الجديدة، معلنين أنه لو شاء الله أن يستعمل الإنسان مثل هذه الوسيلة لتحصيل المعرفة، لكان منحه نظارات فلكية بدل العينين. وآخرون قادهم فضولهم إلى النظر بالمنظار، وسلموا بالظواهر الجديدة، ولكنهم زعموا أن هذه الأشياء الجديدة ما هي إلا أوهام يتسبب فيها المنظار نفسه. غير أن موقف معظم معارضي غاليلي كان متزنا وعقلانيا. لقد قبلوا، مثل الكاردينال بيلارمين، بأن هذه الظواهر توجد حقا في السماء، ولكن نفوا أن تكون دليلا على ادعاءات غاليليو. لقد سلموا بالوقائع التي كشف عنها المنظار، ولكنهم رفضوا

تأويل غاليلي لها، وفي ذلك كانوا محقين. فالمنظار قدم حججا جيدة، ولكنه لم يبرهن على شيء.

كانت المعارضة المستمرة التي ووجهت بها نتائج الملاحظات بالمنظار عَرَضا دالا على المعارضة الراسخة والعنيدة التي ووجهت بها الكوبيرنيكية في القرن 17. والأصل المزدوج لهذه المعارضة هو تلكؤ يكاد يكون غير واع في الإقرار بتحطم كوصمولوجيا كانت طوال قرون أساس الحياة اليومية العملية والروحية. والتوجه المفهومي الجديد الذي كان بعد كبلر وغاليلي مرادفا للاقتصاد بالنسبة إلى العلماء، لم يكن بالنسبة إلى أناس تشغلهم أمور أخرى إلا فقدانا لاتساق مفهومي. والبعض من هؤلاء ممن كانوا يهتمون قبل كل شيء بالدين والأخلاق والجماليات، استمروا مدة طويلة في معارضة الكوبيرنيكية بضراوة. فبالكاد خفت وتيرة الهجومات إبان منتصف القرن 17. وعدد كبير من الكراسات الهامة التي تشدد على التأويل الحرفي لمقاطع الكتب المقدسة التي لها صلة بدوران الشمس، وعلى عدم معقولية حركة الأرض، ظلت تظهر في العقود الأولى من القرن 18. وحتى اليوم يظهر بين الفينة والأخرى من يهذون بأن الأرض ثابتة بلا حراك، بينما الشمس هي التي تدور حولها، ويأتون بحجج تذكرنا باعتراضات أرسطو وبطلميوس وخصوم كوبيرنيك، من الفيزيائيين واللاهوتيين، على حركة الأرض؛ مما يدل على أن الخطاطات المفهومية القديمة لم تمت أبدا.

إن الاختفاء التدريجي لمفهوم واحدية الأرض وعدم حركتها يرتد ولا شك إلى أعمال كبلر وغاليلي. فطوال قرن ونصف بعد وفاة غاليلي سنة 1642، تحول الاعتقاد في كون متمركز على الأرض بالتدريج من علامة على قوة الحس السليم إلى أمارة دالة على نزعة محافظة عنيدة، وفيما بعد على تشدد، وأخيرا على تعصب أعمى. ومن الصعوبة بمكان العثور في أواسط القرن 17 على فلكي كبير ليس كوبيرنيكيا؛ وفي نهاية القرن صار ذلك مستحيلا. ظلت كبريات الجامعات البروتستانية تعلم أنساق كوبيرنيك وبطلميوس وتيكو براهي كلها في العقود الأخيرة من هذا القرن. وفي القرن 18، تم التخلي تدريجيا عن تعليم نسقي بطلميوس

وتيكو براهي. أما فيما يخص الكوصمولوجيا الشعبية، فقد كان تأثرها بالكوبيرنيكية أكثر بطئا. فقد احتاج منح الكون الكوبيرنيكي دلالات أخلاقية ودينية وقتا أطول، فكان من اللازم انتظار مرور الجزء الأكبر من القرن 18 لمنح الشعب ومعلميه وسادته حسا مشتركا جديدا وجعل الكون الكوبيرنيكي إرثا مشتركا للغرب. وهكذا فإن انتصار الكوبيرنيكية كان أمرا محتوما في نهاية المطاف.

غير أن الكون الكوبيرنيكي الذي تم استيعابه وإعادة سبكه إبان قرن ونصف بعد وفاة غاليلي لم يكن مع ذلك هو كون كوبيرنيك، ولا حتى كون غاليلي وكبلر. فبنيته الجديدة لم تُستنبط بشكل أساسي من دليل فلكي. لقد كان كوبيرنيك ومن تلاه من الفلكيين هم صناع القطيعة الأولى الهامة والناجحة مع الكوصمولوجيا الأرسطية، وهم الذين شرعوا في بناء الكون الجديد. غير أن الكوبيرنيكيين الأوائل لم يدركوا بوضوح ما سيؤول إليه عملهم. إبان القرن 17 تضافرت كثير من التيارات العلمية والكوصمولوجية من أجل تعديل وتتميم الإطار الكوصمولوجي الذي كان يوجه تفكيرهم. والكوبيرنيكية التي ورثتها القرون اللاحقة ابتداء من القرن 18 هي كوبيرنيكية خضعت للمراجعة والتكييف مع التصور النيوتوني للعالم.