النفقات بل ايضاً من جمع رأس مال مهم . فما المانع من مثل هذه الاعمال في الشرق ؟

وعلى كل فهذه خطرات افكار حرية بان تستلفت الابصار وتحل محل البحث . وان كان يتعذر المباشرة في جميع الامور المذكورة فلا باس من الشروع في السهل الممكن منها والتدرج شيئاً فشيئاً . والله خير نصير لكل مشروع حميد

الادلة المثبتة دوران الارض

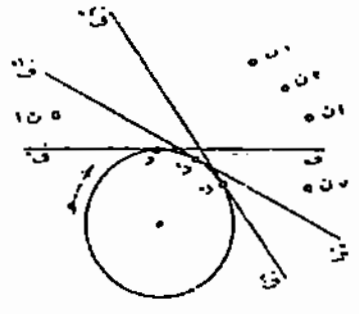
للاب غدفريد زنّونن مدرّس الطبيعيّات في كلية القديس يوسف

(اقترح علينا هذه المقالة جناب الاديب رفعتلو م . ل .)

اما ان تكون الارض ثابتة والكواكب تدور حولها واما ان تكون الكواكب ثابتة والارض تدور على محورها من الغرب الى الشرق . بيد ان علماء الهيأة يذهبون الى صحّة الرأي الثاني دون الاوّل ولهم على ذلك ادلّة كثيرة سننظر فيها بايجاز

ولكن قبل الشروع في الكلام لا مندوحة عن القول بانّ الظواهر لا تتغيّر على كلا الرأيين

فاذا كنا نعتقد أن الارض ثابتة نرى بعض النجوم تبدو بادئ بدء فوق الأفق بناحية الشرق وتأخذ بعد ذلك في الارتفاع تدريجاً حتى تبلغ اعلى درجة في الأوج ثمّ تستأنف مسيرها فتنخفض شيئاً فشيئاً نحو الافق حتى تتوارى من جهة الغرب الى ان تظهر من جديد في الشرق . وهكذا تتراءى الكواكب راسمةً دوائر متوازية ومتفاوتة من حيث طول نصف قطرها في مدّة ٢٤ ساعة فلكيّة



شكل (١)

اما اذا افترضنا ان الكواكب ثابتة ومستقرّة في القبّة الزرقاء وانّ الارض تدور على محورها من الغرب الى الشرق اي من اليسار الى اليمين فانهُ اذا وقف راصد في (د) وكان أفقهُ عند (ف فْ) يرى كل النجوم التي تعلو المسطح (ف فْ) ولكن أفق الراصد يتغير على توالي الدقائق بسبب حركة دوران الارض فمتى صار الى (دْ)

يصير أفقه (ف ف'') فيرى النجم (ن) بينما لا يعود يرى النجم (ن') لانّ الاول يكون قد أشرق لهُ بينما يكون الثاني قد غرب . وعند ما يصير الى (د'') يصير افقه (ف' ف'') فيكون النجم (ن) قد صعد في السماء بينما يُشاهد بعض نجوم اخرى (ن' ن'' ن'') تنخفض نحو الأفق وتقرب الى الزوال . فجملة القول اذًا ان الظواهر تبقى واحدةً على كلا الحالين لاننا في هذا الافتراض كما في تقدير ثبوت الارض نشاهد الكواكب تطلع في الشرق وتصعد حتى تتوارى في الغرب كما هو مُعايَن كل يوم

ألا ترى ان راكب الباخرة التي تسير في الانهار يتوهّم اذا خلا سيرُهُ من الاهتزاز والاضطراب انهُ ثابت في مكانه وينسب الحركة الى الشواطئ الثابتة التي تتراءى لعينَيهِ سائرة الى عكس الجهة التي يسير هو اليها

وهكذا الراصد في كرتنا الارضيَّة عند دورانها يتخيَّل انهُ لا يتحرَّك وينسب الحركة الى الكواكب التي هي ثابتة . وبما ان الظواهر لا تتغير على كلا التقديرَين لم تكن تصلح برهانًا لترجيح احد القولَين اي دوران الارض او ثبوتها . ومثَل ذلك مثَل المسافر في قطار حديدي فانَّهُ اذا مرَّ على قطار واقف وقريب منهُ يتردَّد في ما اذا كان قطارهُ هو الذي يسير بهِ الى امام او ان القطار الواقف هو الذي يسير الى الجهة المعاكسة . وحتى يتأكد على ان قطاره هو المتحرِّك يجب ان يتخذ علمًا يستعين بهِ على التحقيق كبناء قريب منهُ او الارض المحاطة لهُ وهذا هو الذي ينقصنا لمعرفة حركة الارض او ثبوتها

ومع ذلك توجد بيِّنات عديدة توضح ان دوران الارض هو أرجح جدًّا من تقدير ثبوتها

ان الارض منفردة في الفضاء كما تؤيد ذلك الاسفار التي تمَّت حولها فلا مانع اذًا من دورانها حول محورها . ثم انَّ الارض هي سيَّارة من جملة السيَّارات كما يؤيدهُ كل ما فيها مثل قياساتها وكثافتها وجبالها وبحارها وجوّها ومتجمّداتها القطبية وتسطُّحها في ناحية القطبَين . والحال ان السيَّارات تدور كالشمس والقمر على محاورها فما من سبب اذًا يوجب اخراج الارض عن هذه القاعدة العمومية

وما خلا ذلك فان طول دائرة الارض عند خطّ الاستواء يبلغ نحوًا من اربعين الف كيلومتر . فاذا كانت تدور على محورها فان أيَّة نقطة كانت من خطّ الاستواء تقطع اربعين الف كيلومتر في ٢٤ ساعة وتكون سرعتها ٢٨ كيلومترًا في الدقيقة ونحو نصف كيلومتر في الثانية . اما اذا كانت الكواكب هي التي تدور فيا ان بعدها يزيد على ثمانية

تريليونات من الساعات (ويحتمل وجود كواكب يزيد بعدها الف مرّة على هذا البعد)(١ يلزمها ان تقطع في مدّة ٢٤ ساعة محيطاً مسافتهُ ٤٨ الف تريليون ساعة اي اكثر من ٥٥٠ بليون ساعة في الثانية. ويستحيل تصوُّر مثل هذه السرعة بل هي مغايرة لكلّ ما يُشاهد في العوالم لان أعظم سرعة امكن الوقوف عليها حقيقةً في الاجرام السماويّة لا تتجاوز ٦٤ كيلومترًا في الثانية (٢

وقد اثبت علماء الميكانيكيات ان الجرم لا يقوى على ان يتحرّك في دائرة حركةً لا تتغير سرعتها ما لم يُجتذَب الى المركز بقوّة مناسبة لحجمهِ ولبعدهِ عنهُ. فاذا ثبت ذلك لزم الكواكب اذا فرض كونها تتحرّك حول الارض قوّات لا قياس لها لاجل إمساكها في افلاكها. وفضلًا عن ذلك لا يمكن ان نعقل كيف ان أجرامًا عظيمةً للغاية تدور حول جرم صغير جدًّا بالنسبة لها

هذا بشأن ارجحيَّة دوران الارض. والآن نقول ان دوران الارض وثبوت الكواكب ليس هو الارجح فقط بل انهُ أمر مقرّر بالادلّة والبراهين العديدة

١ الرياح الدائمة او الرياح التجاريَّة. وهي التي تهبّ في مدار السنة الى جهة واحدة بعيدةً عن السواحل بين دائرتي القيظ من جهتي خطّ الاستواء حتى الدرجة الثلاثين من العرض ويكون هبوبها في نصف الكرة الشمالي من الشمال الشرقي الى الجنوب الغربي. اما في نصف الكرة الجنوبي فمن الجنوب الشرقي الى الشمال الغربي. وتتسبَّب عن وفرة سخونة الهواء في المنطقة الواقعة بين دائرتي القيظ. وبما ان المياه تشغل في هذه المنطقة مسافات شاسعة يحدث فيها تبخُّر قويّ فينتج عن ذلك ان الهواء يكون هناك مشبعاً من البخار فتقلّ كثافتهُ. وهاتان العلّتان تعملان بتنقيصهما ثقل الهواء على صعوده من الطبقات

١) يمكن ان ندرك بوجه التقريب المسافة التي تفصل النجوم عن الارض بان نختار سرعة انتشار النور مثل وحدة قياس. فتبعاً لامتحانات فيزو ينتشر النور بسرعة ٧٥ الف ميل في الثانية. وعليهِ فان نور الشمس يلزمهُ ثمان دقائق و ١٤ ثانية حتَّى يصلنا. واقرب نجمة من الثوابت الى الارض وهي «الفا (α) قنطوروس» يلزمها ثلاث سنوات ونصف حتَّى يبلغنا نورها. ونجمة النسر الواقع يلزمها ١٢ سنة وثمانية اعشار السنة. والشعرى اليمانية يلزمها ٢١ سنة و ٣ اعشار. ونجمة القطب ٣٠ سنة و ٦ اعشار. ونجمة البُوق ٧٠ سنة و ٥ اعشار. وتبعاً لحساب ستروف يجب للنجوم التي تتجاوز في كبرها الدرجة التاسعة ٣٥٤١ سنة حتى يصل الى ارضنا نورها

٢) Tombeck تمبك في علم الهيئة ص ١٢

الواطئة فيأتي مكانهُ هواء آخر يجري من المنطقتين المعتدلتين . وهكذا يتكوَّن في كل نصف من الارض مجريان من الهواء احدهما حارّ يتَّجه من خطّ الاستواء الى القطبين في طبقات الجوّ العالية والثاني بارد يتجه من القطبين الى خط الاستواء ويكون بسبب وفرة كثافته في الطبقات الواطية . فلو كانت الارض ثابتة لكانت هذه الاهوية تتَّجه على خط الاستقامة اي بموازاة الهواجر من خط الاستواء الى القطبين ومنهما الى خط الاستواء . والحال ان الامر ليس كذلك لان الهواء القطبي يهبّ بادئ بدء من الشمال ثم من الشمال الشرقي ثم من الشرق . فتغيير جهات مجراهُ اذًا مسبَّب عن دوران الارض من الغرب الى الشرق

ولا غرو فانهُ اذا كانت الارض تدور على محورها تعظُم سرعة كل نقطة منها بحسب اقترابها من خطّ الاستواء . وبما ان الهواء يلامس كل نقطة من المحور تكون سرعتهُ كسرعة تلك النقطة وبالتالي فما يهبّ منهُ في المنطقة المعتدلة يكتسب سرعة دوران تلك المنطقة فاذا جرى نحو خط الاستواء كانت حركة سرعة دورانهِ اقلّ من سرعة المنطقة الحارَّة وهكذا يبطئ ويميل الى الغرب ازيد فأزيد كلما اقترب من خط الاستواء حيث يكون هبوبه من الشرق . اما مجرى الهواء الذي يتجه من خط الاستواء الى القطبين شاغلًا طبقات الجوّ العليا فيصل الى ما فوق المنطقتين المعتدلتين ولهُ من سرعة الدوران ما يزيد على سرعة تينك المنطقتين ويحدث في طبقات الجوّ العليا مجرًى جنوبيًّا غربيًّا في نصف الكرة الذي نحن فيه . ولك ان تتحقَّق ذلك من مراقبة مسير الغيوم في الطبقات العليا . ومتى وصل بالقرب من الدرجة ٣٥ و٤٠ يكون قد برد فينخفض ويسدّ مسدّ الهواء الذي نقص من هناك . ولا يمكن تعليل مجاري الاهوية هذه الَّا اذا قلنا ان الارض تدور

٢ تسطيح ناحيتي القطبين . للارض شكل اهليلجي مسطح من ناحيتي القطبين . وتبعًا لحساب المسيو فاي يبلغ طول شعاع او نصف قطر الارض عند خط الاستواء ٦،٣٧٨،٣٩٣ مترًا وفي القطبين ٦،٣٥٦،٥٤٩ مترًا فالفرق اذًا نحو من ٢١ كيلومترًا

ويبرهن الجيولوجيون ان الارض كانت في بداءتها مصهورة بالنار الى مسافة ما من عمقها على الاقلّ . فاذا كانت تدور فبفعل القوَّة الدافعة الناشئة عن دورانها تتجمَّع المواد المائعة فيها صوب خط الاستواء حيث حركة الدوران أعظم وهكذا تحدث في الخط المذكور انتفاخًا او امتدادًا وفي القطبين تسطيحًا مثل ما يحدث لكل مادَّة مائعة اذا طرأت عليها حركة دوريَّة كما تثبت ذلك تجارب المسيو بلاتو فانك اذا اسقطتَ كمِّيَّة من الزيت في مزيج من الماء

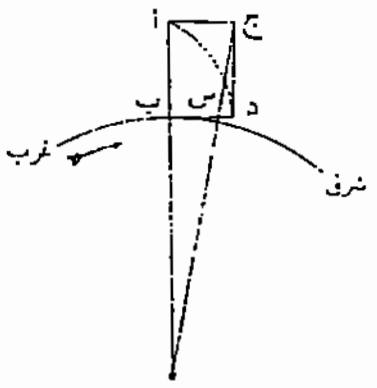
والكحول تأخذ في بادئ الامر هيئة كرة. فاذا جعلت هذه الكرة تدور على محور لا تلبث ان تأخذ شكلاً اهليلجياً مسطحاً من القطبين كشكل ما يرى الارض. ثم ان التسطح يزيد كلما زادت سرعة الدوران. فاذاً وجود هذا التسطيح المقرَّر بالادلة هو برهان جلي ومستقيم على دوران الارض

ويمكن بيان التسطيح عند القطبين والانتفاخ عند خطّ الاستواء بتجربة اخرى وهي ان تؤخذ أربعة أنصاف دوائر دقيقة لينة من فولاذ وتوصل من اطرافها حتى تصير على هيأة كرة وتُعطى حركةً فترى انها تتسطح في القطبين وتتضخم عند خط الاستواء بمقدار سرعة دورانها

٣ نقصان الثقل. لقد بيّنت تجارب الرقّاص ان وزن الجسم هو انقص في خطّ الاستواء منهُ في القطبين وان مجموع النقصان هو كسر يوازي $\frac{1}{١٦٤}$ من الثقل بنوع ان ثقل الجسم الذي يُنقل من القطب الى خطّ الاستواء ينقص خمسة غرامات في الكيلوغرام. فان الجسم الكائن في الخطّ المذكور يبعد عن مركز الارض ٢١ كيلومترًا اكثر مما لو كان في احد القطبين. وعليهِ فالجاذبية في خط الاستواء يجب ان تكون انقص وكذلك الثقل. وقد تبيَّن بالحسابات ان نقص الجاذبيَّة الناشئة عن اختلاف شماعَي الارض في القطب وفي خط الاستواء يساوي $\frac{1}{٥٩٠}$ فهذا الكسر ليس الّا عبارة عن جزء يسير من مجموع نقصان الثقل. فيجب اذًا البحث عن علَّة اخرى لهذا النقص لانَّ الاولى وحدها غير كافية. فنجدها في دوران الارض. وعلى افتراض هذا الدوران فان سرعة الحركة الحادثة على سطح الارض وغير الموجودة في نقطتي القطبين تتزايد بقدر البعد عنهما الى خط الاستواء حيث هي بالغة معظمها وهي مضادّة على خط مستقيم للثقل فتُنقص اذًا الجاذبيةَ. وقد برهن الحساب ان هذا النقصان يعادل $\frac{1}{٢٨٩}$ فاذا اضفنا الى نقصان الثقل المتسبب عن التمدد الاستوائي النقصان المتسبب عن القوَّة الدافعة عن المركز الناشئة عن دورة الارض نجد مجموع النقصان $\frac{1}{٥٩٠} + \frac{1}{٢٨٩} = \frac{1}{١٦٤}$ وهو النقصان الذي تحققنا وجوده في خطّ الاستواء. ولولا دورة الارض لما امكننا ان نعلله

٤ سقوط الاجرام. لو كانت الارض ثابتة لكان الجسم اذا أُسقط من علوّ يسقط

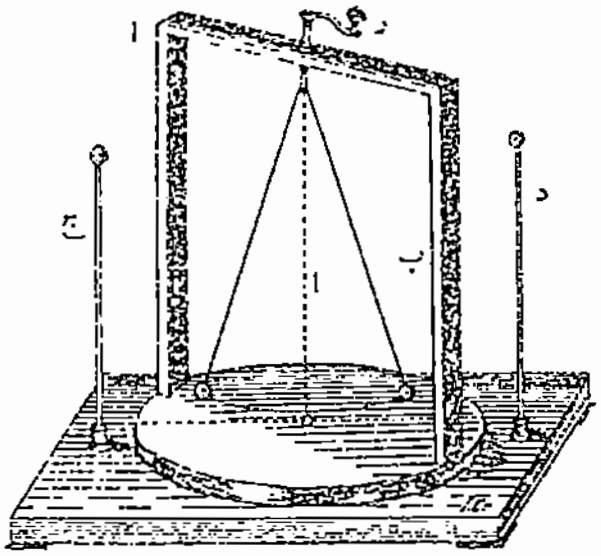
عمودياً ولكن بما انها تدور ينحرف عن الخط العمودي فيسقط جهة الشرق منهُ واليك ايضاح المسألة



الشكل (٢)

على تقدير ان الارض تدور يكون الجسم الموضوع في (ا) (شكل ٢) مكتسباً بسبب دورانها سرعة افقيَّة متجهةً الى الشرق ولسبب عَجز المادَّة يحفظ هذه السرعة كل مدَّة سقوطهِ . فاذا أشرنا بحرفي (ا ج) الى المسافة التي يقطعها الجسم بقوة السرعة المذكورة بينما هو يجتاز بقوة الثقل وحدها المسافة العمودية (ا ب) يصل في آخر الوقت بفعل امتزاج الحركتين (ا ج) و (ا ب) الى (د) قمَّة متوازي الاضلاع (ا ب د ج) . نعم ان (ب) قاعدة الخط العمودي الممدود من نقطة مبدإ السقوط الى سطح الارض هي ذات حركة متوازية ومتجهة الى الجهة عينها اي الى الشرق غير ان هذه السرعة هي اقلّ من سرعة الجسم الساقط لانها اقرب الى محور الدوران . فالنقطة (ب) ترسم اذاً قوساً تساوي بالتقريب (ب س) اي أقصر من (ب د) فتتأخر اذاً النقطة (ب) ويقع الجسم في الموضع (د) شرقي الخط العمودي (ج س) وبناء على هذا تكررت الامتحانات الوف مرات في مناجم مقاطعة كورنوايل (انكلترة) فدلَّت على ان الجسم الثقيل يسقط دائماً شرقي الخط العمودي الذي كان الجسم في بدء سقوطه . وقد تبيَّن ايضاً بالحسابات ان الانحراف اذا كان العلوّ ١٥٨ متراً يلزم ان يكون (٠،٠٢٧٦) اي سنتيمترين وسبعة ميليمترات وستة اعشار الميليمتر . وقد برهنت اختبارات المسيو ريش في فريبرغ في بئر عمقها ١٥٨ متراً على ان الانحراف كان (٠،٠٢٨٣) وعلى هذا فان نتيجة الحسابات والامتحانات هي مرضية وتكاد تكون واحدة وعليهِ فلا بدَّ من التسليم بدوران الارض لانهُ هو وحده يكفل تفسير هذا الامر

٥ رقاص فوكو . اذا اردنا ان نحسن فهم هذا البرهان يتعين علينا ان نلاحظ اولاً رقاصاً يخطر في جهة مارة ما بين ساقين ثابتين (ج د) (شكل ٣) وهو معلق بخيط معدني في إطار (ا ب) ويمكن إدارة الإطار حول المحور العمودي (ا) فاذا أُدير نرى ان وجهة

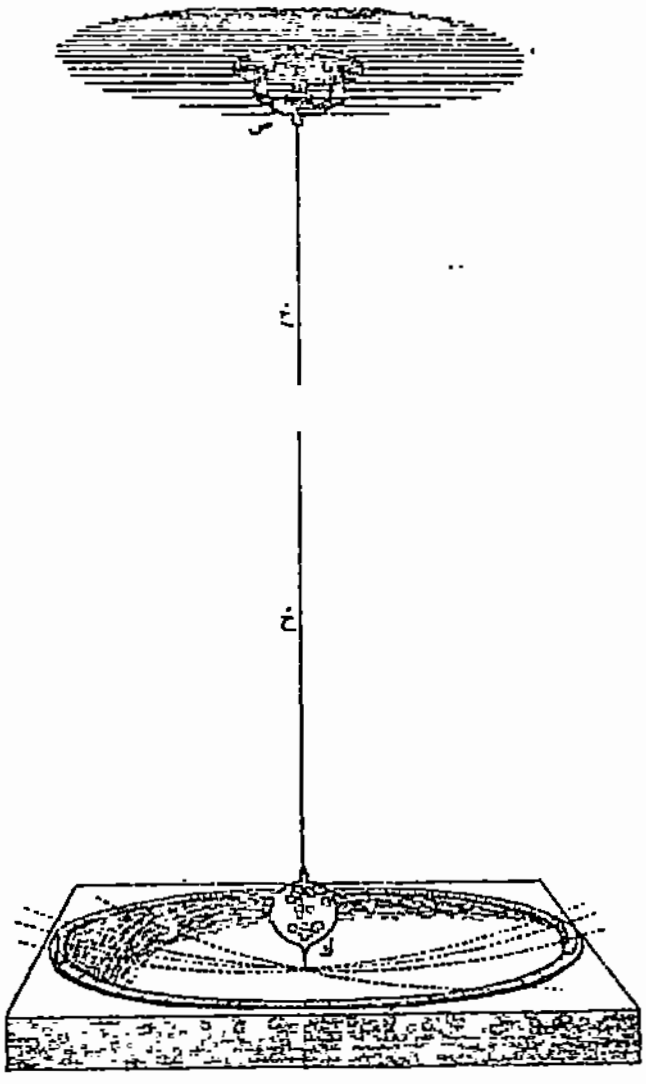


شكل (٣)

الخطران لا تتغير وانهُ يحصل دائمًا ما بين الساقين الثابتتين (ج د) وان بَرْم خيط التعليق الذي يمكن تكثيره او تقليله بواسطة القبضة (ر) لا يُغير النتيجة فان وجهة الخطران تبقى واحدة الامر الذي ينتج عن عجز المادة او خاصّية السكون

واجرى فوكو امتحانهُ في البانتيون بباريس عام ١٨٥١ فاتخذ خيطًا من فولاذ (خ خ) (شكل ٤) يزيد طولهُ على ٥٠ مترًا (١ وكان طرفهُ الاعلى مدخلًا في صفيحة معدنية (ص) مثبتة في السقف وفي طرف الخيط الاسفل كرة نحاسية (ك) ثقلها ٢٨ كيلوغرامًا منتهية في الاسفل بشوكة محدّدة وكان هذا الرقاص يخطر فوق طاولة عليها رسم دائرة منقسمة الى ٣٦٠ درجة فلاجل تحريكه أُزيغ اولًا عن الخط العمودي وثبت في هذه الحالة موقتًا بواسطة خيط كان محيطًا بالكرة. فلما أُحرق الخيط اندفع الرقاص يخطر دون حركة بدائية وبسبب طوله كانت تدوم كل خطرة ٨ ثوانٍ ولما اخذ يتحرك تأكد الحاضرون بواسطة الدائرة المنقسمة الى درجات ان وجهة الخطران بدلًا من ان تبقى هي ذاتها كانت تنحرف ببطء من الشرق الى الغرب (٢

١) يتخذ الخيط الطول ما يمكن حتى يدوم خطران الرقاص مدة كافية للتأكيد على ظواهر اختلاف جهات الخطران ٢) لو انَّ هذا الامتحان نفسه أُجري في نصف الكرة الجنوبي لانعكست الظواهر اي ان وجهة الخطران تظهر انها تنحرف من الغرب الى الشرق

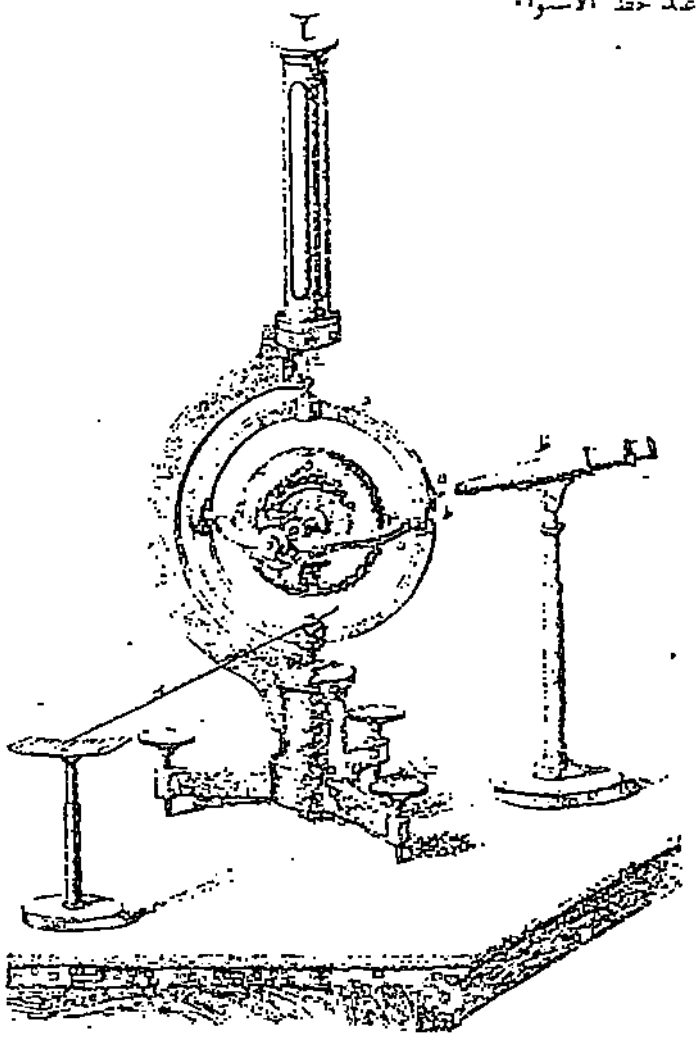


شكل (٤) رقّاص فوكو

ولاجل ايضاح هذا الانحراف اقاموا في طريق الكرة الخاطرة كوماً من الرمل كانت تخرقها تدريجاً بشوكتها حتى سوّتها . فمن هذا الاختبار يستنتج احدُ أمرين اما ان وجهة الخطران تختلف وتدور حقيقةً او انّ الارض هي التي تدور . والحال ان وجهة خطران الرقاص لا تدور وليس اختلاف حركتها الّا أمرًا ظاهرًا وتبقى الوجهة ثابتة لا تتغير . فاذًا الارض التي تحت الرقاص هي التي تدور من الغرب الى الشرق . واذا قلت ان نقطة تعليق الرقاص بالسقف هي مرتبطة مع الارض وتدور معها فاجيبك ان لا حركة نقطة التعليق ولا بُعد الخيط يؤثران في وجهة خطران الرقاص كما بيّنّا ذلك في بدء هذا البرهان

فلو أُجري هذا الامتحان في القطب لشاهدنا كل الهواجر الارضية بسبب دوران الارض تتفق بالتناوب مع وجهة حركة الرقاص التي هي ثابتة ثم تتباعد عنها شيئاً فشيئاً . فاذا

راقبهُ هناك مراقبٌ كان اتجاهُ الظاهر واحدًا كأنَّ الارض ثابتة وكأنَّ وجهة الرقاص هي التي تدور بعكس وجهة الارض. ويرسم الرقاص في القطب في مدة ٢٤ ساعة خطوطاً لو دام أقطارَ دائرةٍ كاملة على حساب ١٥ درجة كل ساعة. ومن القطب الى خط الاستواء يحدث الحادث نفسهُ الا ان الانحراف الظاهر في وجهة الرقاص يتناقص تدريجًا حتى يزول تمامًا عند خط الاستواء.



شكل (٥) جيروسكوب فوكو

٦ الجيروسكوب وهو آلة لرصد الدوران. قدَّم المسيو فوكو عام ١٨٥٢ الى جمعية

العلوم الافرنسية برهانًا آخر طبيعيًا على حركة دوران الارض وهو مبني لا على ثبوت وجهة خطران الرقاص بل على ثبوت وجهة دوران جسم معلق بمركز ثقله ودائر حول محوره. وتتركب هذه الآلة (شكل ٥) من قرص ضخم من البرونز او من النحاس (ق) يزن تقريبًا نحو كيلوغرام. والقرص المذكور محكم الصنع ومحمول على محور ينطبق على محور هيأته ومركز ثقله. ويركز طرفا المحور (ر ر) في دائرة من نحاس (ن) موضوعة بطرفي قطرها الافقي (ط ط) في دائرة اخرى خارجية وعمودية (د) معلقة بخيط غير مبروم (خ) ومستندة بالطاقة الى مركز (م). ويمكن للقرص ان يتحرك الى كل جهة حول مركز ثقله (١ الذي يجب ان يكون واقعًا بالتمام على امتداد الخيط. وهكذا نتأكد ان الثقل او جاذبية الارض لا تؤثر لا على حركة دوران القرص على محوره ولا على خضوع هذه الدوائر التي مر الكلام عليها. ومن ثمَّ فجهة دوران القرص تحفظ بنوع ثابت غير متغير في الجهة التي يوضع فيها بدءًا وهكذا لا يشارك الارض في ما لها من الحركة اليومية

ولاجراء الاختبار بهذه الآلة يُعطى القرص (ق) حركة يتم بها آلافًا من الدورات في الدقيقة ثم يوضع ضمن الدائرة العمودية (د) بواسطة الطرفين (ط ط) وحينئذٍ نشاهد الانتقال النسبي اما بواسطة نظارة (ظ) مكبرة تريك الميكرومتر (ك) بجانب الدائرة العمودية (د) مارةً درجاته بالتوالي امام مشبك النظارة من الشرق الى الغرب. واما بمراقبة حركة وانتقال ابرة طويلة (ب) معلقة بالدائرة نفسها (د) ومتجهة الى قوس سطحي (ح) مقسوم الى درجات

والحال ان الدائرة العمودية تبقى دائمًا غير متغيرة ومتجهة الى نقطة واحدة من السماء ويقتضي ذلك نستنتج ان الدائرة السموية هي ثابتة وان الارض التي تحمل النظارة او الطاولة المرسوم عليها قوس الدرجات السطحي هي التي تدور

واحسن ما ننهي به هذه المقالة كلمات الاب سكي اليسوعي الفلكي الشهير فقد قال: ان حركة دوران الارض على محورها هي حقيقة ثابتة لا تحتاج في ايامنا الى دليل لانها نتيجة تابعة لكل العلوم الفلكية (في بحثه على خطران الرقاص سنة ١٨٥١)

---

١) لان القرص يدور ضمن الدائرة النحاسية (ن) وهذه تدور في الدائرة العمودية (د) وهذه الاخيرة المعلقة بالخيط تدور من الشمال الى اليمين وبالعكس. وبهذه الواسطة يصير القرص مع الدائرتين الحاملتين له غير خاضع لحركة دوران الارض