

2020.3.22.

"A Short History of Astronomy", Autur Berry, M. A., 1898

9章 万有引力

「自然と自然の法則は夜に隠れていた。
神は「ニュートンになろう！」すべてが軽かった。」

Pope.

【google そのままで置いておく】

164.

ニュートンの人生は便利に3つの部分に分けられます。

22年(1643~1665)の少年時代と学部生活が最初に来ました。

その後、ほぼ同じ長さの彼の偉大な生産期間に続き、1687年のプリンキピアの出版に至りました。

一方、彼の残りの人生(1687-1727)は、他の2つの期間がほぼ同じ期間続いたが、公式の仕事と非科学的な性格の研究で大部分が占められており、中期に、彼の初期の作品のいくつかは重要な発展を遂げ、決定された興味のいくつかの新しい結果が得られました。

165.

アイザック・ニュートンは、1643年1月4日、リンカンシャー州グランサム近くのウールソープで生まれた; [1]

これはガリレイの死後1年近く、南北戦争の開始から数か月後のことでした。

彼の研究に対する嗜好は人生の非常に早い段階で発達したようには見えませんが、最終的に彼を農民にしようとするいくつかの失敗した後、彼は1661年にケンブリッジのトリニティカレッジに入学しました。

おそらく最初はほとんどの学部学生よりもかなり遅れていましたが、彼は数学と関連科目で非常に急速な進歩を遂げ、彼がほとんど知らなかったものを吸収した速さによって教師にいくつかの問題を与えたようです。

彼は学部在学中に初めてユークリッドの幾何学の要素に出会

いましたが、より高度な読書を支持して、すぐにそれを「些細な本」であると断念したと報告されています。1665年1月、彼は芸術学士として通常のコースを卒業しました。

166.

次の22年間のニュートンの生涯の外的出来事は、非常に簡単に却下されるかもしれません。

彼は1667年にフェローに選出され、翌年にははやがてM.A.になり、1669年に友人のIsaac Barrowに引き継がれ、数学のLucasian教授に任命されました。

3年後、彼は最近設立された王立協会のフェローに選出されました。

彼のリンカンシャーの家へのいくつかの訪問を除いて、彼はケンブリッジでの静かな研究でほぼ全期間を過ごしたようであり、彼の人生の歴史はほとんど独占的に彼の連続した発見の歴史です。

167.

彼の科学研究は、天文学(力学を含む)、光学、純粋数学の3つの主要なグループに分類されます。

彼はまた、化学の実験的研究や熱やその他の物理学の分野にも多くの時間を費やし、彼の人生の後半では年代学と神学の問題に多くの注意を向けました。

しかし、これらの被験者のいずれにおいても、彼は非常に重要な結果を出さなかった。

168.

ニュートンの天才の見積もりを作成する際には、もちろん、彼が扱った対象の範囲を念頭に置くことが重要です。

しかし、私たちの現在の観点から、彼の数学は天文学の仕事

で使用されるツールとしてそれ自身を提示するだけです。

ここで言及する必要があるのは、天文学的に重要な彼の光学的発見のみです。

1668年、彼は反射望遠鏡、すなわち、ガリレイとケプラーの屈折望遠鏡のように、レンズの代わりに曲面鏡によって見られる物体からの光線が集中する望遠鏡を構築しました。しかし、ニュートンのものとはいくつかの重要な点で異なるこの原理の望遠鏡は、ジェームズ・グレゴリー（1638-1675）によって1663年にすでに説明されていました。そのアイデアはニュートンに知られていましたが、グレゴリーが実際に楽器を作ったようには見えません。

建設の機械的困難により、当時の最高の屈折器と競合する反射望遠鏡が作られるまで半世紀が経過し、ウィリアム・ハーシエルの時代（xii章）の前に重要な天文学的な発見は行われませんでした。元の発明から1世紀。

ニュートンが白色光のビームをさまざまな色に分解するプリズムの効果を発見したことは、ある意味でスペクトル分析の方法の基礎になっています（第13章、第299章）。これに対して、過去40年間の天文学的発見期限です。

169.

ニュートンが彼の3つの偉大な主題の重力、色の理論、および流動のそれぞれで最もよく知られているアイデアは彼に起こったようであり、彼が学位を取得してから2年以内に部分的に考え出されたようです。彼が24歳になる前に。

何年も後に書かれた彼自身の記述は、現時点での彼の並外れた精神活動の鮮明な写真を与えている：-

「1665年の初めに、シリーズを近似する方法と、二項式の尊厳をそのようなシリーズに減らすためのルールを見つけました。

同じ年の5月にグレゴリーとスルシウスの正接の方法を見つけ、11月にフラックスの直接法を、翌年の1月に色の理論を、そして5月に逆法への入り口を見つけました。フラックス。

そして同じ年に、重力が月の球に広がることを考え始め、ケプラーの規則の規則から、球内で回転する地球が球の表面を押す力を推定する方法を見つけました。惑星のオーブの中心からの距離の比の割合にある惑星の時代私は、オーブの惑星を維持する力は、それらが回転する中心からの距離の二乗として相互になければならないことを推測しました：

そしてそれによって月を彼女の球に保持するために必要な力を

地球の表面の重力と比較し、それらがほとんどほぼ答えていることがわかりました。

このすべては、1665年と1666年の2つのペスト年にありました。当時、私は発明の時代の最盛期であり、それ以来、数学と哲学を心に留めていました。

170.

彼は、疫病のpre延のために、この時間のかかなりの部分（1665-1666）をウールストープで過ごしました。

果樹園でのリンゴの落下によって重力について瞑想されたという有名な物語は、優れた権威に基づいており、特定の問題の特定の時間にリンゴが彼に思い出させたという意味で完全に信頼できる重力に関連しています。

リンゴが問題の存在またはそれらの解決策への鍵を彼に真剣に示唆したことはほとんどありえない。

いくつかの天文学者はすでに、惑星と衛星の既知の運動の「原因」について推測していました。

つまり、彼らはこれらの動きをより基本的でより一般的な法則の結果として示すことを試みたのです。

ケプラーは、私たちが見てきたように（vii.、§150）、問題の運動は、古いエピサイクルの中心などの単なる幾何学的な点の影響によるものと見なされるべきではなく、他の体；特に、太陽から発せられる特別な種類の影響によるものとして、惑星の動きを説明しようと試みました。

しかし、彼は惑星の動きを維持する力を探して、それがそれらを押し進めたので、完全に間違っていました。

身体の動きはそれを変更または停止する何らかの原因がない限り、身体の動きが無期限に続くというガリレイの発見は、他の機械的な問題と同様に、これに新しい側面をすぐに付けます。しかし、彼自身はこの特定の方向に彼のアイデアを開発しませんでした。

ジョヴァンニ・アルフォンソ・ボレッリ（1608-1679）は、1666年に出版された木星の衛星に関する本で、したがって、この主題に関するニュートンの最初の研究の時期について、円（または同様の曲線）で回転する物体には傾向があることを指摘しました。中心から遠ざかると、惑星の場合、これは太陽に対するある種の引力によって打ち消されると思われるかもしれません。惑星の運動は、移動する方向に作用する力ではなく、太陽に

向かう力によって説明されるという、非常に不明瞭な形での考えがここにあります。惑星の運動の方向にほぼ直角に。

ホイヘンスはこの考えをさらに進めました-天文学への特別な言及はありませんが- (第 8 章、§158) 円の中を移動する物体が中心から遠ざかる傾向の数値的尺度を取得しました。体が飛び去らなかつた場合に打ち消されます。

ホイヘンスは、ニュートンが彼の対応する結果を得た数年後、彼が何かを発表する前に、1673 年に彼の作品を発表しました。そして、二人の男が非常に独立して働いたことは間違いありません。

171。

天文学への応用は別として、純粋に一般的な質問とみなされるこの問題は、体が円の中で一定の速度で回転できる条件を調べることであると言えます。

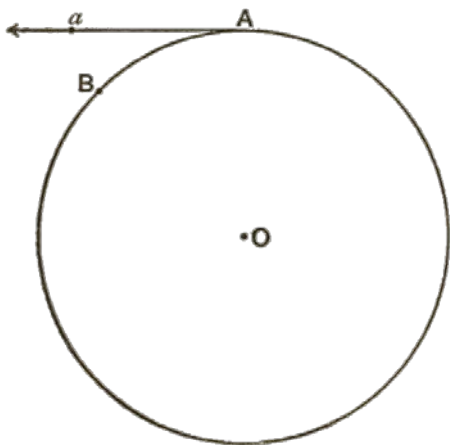


図 70. 一円の動き。

a を、中心 o の円で一定の速度で回転している物体の特定の瞬間の位置を表します。

次に、この瞬間に、物体は円の接線 a の方向に移動します。その結果、ガリレイの第一法則 (vi 章、§§130、133) により、自分自身に任せて他の身体の影響を受けない場合、同じ速度で同じ方向、つまり aa 線に沿って移動し続けるその結果、a のような時点ですばらくすると見つかります。しかし実際には、円の b にあることがわかります。

したがって、a の代わりに b にそれをもたらすために、何らかの影響が働いていたに違いありません。ただし、b は a よりも円の中

心に近くなります。

したがって、身体を常に o に引き寄せる傾向があるか、または運動の第一法則により o から遠ざかる傾向を打ち消そうとする何らかの影響が働いている必要があります。

これらの傾向のいずれかを数値で表現するには、速度または運動の速度、すなわち加速度または速度の変化の速度よりも複雑なアイデアが必要です。これは、ガリレイが落下体の法則の議論で科学に追加したアイデアです (vi 章、§§116、§133)。

たとえば、落下体は、約 32 フィート/秒の速度で 1 秒後に、64 の速度で 2 秒後に、96 の速度で 3 秒後に、というように動きます。したがって、毎秒 32 フィート/秒の下降速度が得られます。

そして、これは、体が毎秒 32 フィートの下方への加速度を持っていると言うことによって別の方法で表現することができます。

円の動きをさらに調査すると、移動体が元の速度に加えて、円の中心に向かう特定の大きさの加速度を持っている場合、動きは完全に説明されます。

さらに、移動体の速度の 2 乗 (たとえば、1 秒あたりのフィートで表される) を取り、これをフィートの円の半径で除算することで、加速度を数値で表すことができます。

たとえば、体が半径 4 フィートの円を 1 秒間に 10 フィートの速度で移動している場合、中心に向かう加速度は

$$\left(\frac{10 \times 10}{4}\right) = 5 \text{ フィート/秒/秒。}$$

これらの結果は、同様の性格を持つ他のものと一緒に、ホイヘンスによって最初に出版されました-もちろん正確にこの形式ではありません-振り子時計に関する本で (第 8 章、§158) ; 1666 年にニュートンによって独自に発見されました。

身体が円を描くように見える場合、この加速を引き起こす他の身体を発見できれば、その運動はわかりやすくなります。

石が紐に結び付けられて旋回するような一般的な場合、この加速は石を引っ張る紐によって生成されます。

スピニングトップでは、外側部分の加速は、外側部分を内側部分に拘束する力などによって生成されます。

172。

天文学で発生するこの種の最も重要なケースでは、惑星は円とあまり変わらない経路で太陽の周りを回転することが知られて

います。

現在のところ、経路が実際に円であると仮定すると、惑星は中心に向かって加速する必要があります、これを中心体である太陽の影響に帰することができます。このようにして、太陽に向けて加速を与えるために、何らかの方法でその周りを公転する惑星に影響を与える力を太陽に帰属させるという考えが生まれます。

そして、この「影響」が距離によってどのように異なるかという疑問がすぐに生じます。この質問に答えるために、ニュートンはケプラーの第三法則 (vii.、§144) を利用しました。

この法則によれば、2 つの惑星の回転時間の 2 乗は、太陽からの距離の 3 乗に比例することがわかりました。

しかし、惑星の速度は、太陽の周りの公転で移動する経路の長さを公転の時間で割ることによって見つけることができ、この長さは太陽からの惑星の距離に再び比例します。

したがって、2 つの惑星の速度は、太陽からの距離を回転時間で割った値に比例し、その結果、速度の 2 乗は太陽からの距離の 2 乗を回転時間の 2 乗で割った値に比例します。。

したがって、ケプラーの法則により、速度の二乗は距離の二乗を距離の三乗で割った値に比例します。つまり、速度の二乗は距離に反比例し、より遠い惑星ほど速度が遅くなり、その逆。

ホイヘンスの式により、加速度は速度の 2 乗を円の半径（この場合は太陽からの惑星の距離）で割って測定されます。

したがって、太陽に向かう 2 つの惑星の加速度は、それぞれに乗算される距離に反比例します。つまり、距離の 2 乗に反比例します。

したがって、ニュートンの最初の結果は次のとおりです。太陽が円盤上で生成できると想定されている場合、惑星の動きは、円を描いて移動し、ケプラーの第 3 法則に厳密に従っていると見なされ、太陽の作用によるものとして説明できるということです。惑星太陽からの距離の逆二乗に比例する太陽自体への加速度。

つまり、距離の 2 倍で 14 倍、距離で 19 倍の 3 倍、距離 1100 で 10 倍、というようになります。

議論は、おそらく数値例によってより明確にされるかもしれませんが。

ラウンド数では、木星の太陽からの距離は地球の距離の 5 倍であり、木星は太陽の周りを 1 回転するのに 12 年かかります。したがって、木星は地球が 1 つ進む限り 12 年で 5 倍になるので、木星の速度は地球の速度の約 512 であり、2 つの速度は

5 対 12 の比率です。

したがって、速度の 2 乗は $5 \times 5 \sim 12 \times 12$ 、または 25~144 です。

したがって、木星と地球の太陽への加速度は、 $25 \div 5$ から 144、または 5 から 144 です。

したがって、木星の太陽への加速度は地球の約 128 であり、より正確な数値を取得した場合、この割合は 125 近くになります。

したがって、距離の 5 倍では、加速度は 25 倍小さくなります。

この逆二乗の法則は、それが呼ばれるように、太陽や他の明るい物体から放射される光が変化する法則でもあり、このため、あらゆる種類に関連して自分自身を示唆する可能性は低い太陽から放出される影響の。

173。

ニュートンの調査の次のステップは、地球を回る月の動きが同様の方法で説明できるかどうかを確認することでした。

前と同じ議論によって、月は地球に向かって加速するように見せることができました。

さて、もし落とされたら石は地球の中心の方向に落ちます。そしてガリレイが示したように (vi 章、§133)、この運動は一樣な加速の一つです。

その時点で一般的に保持されている意見に従って、運動が地球によるものと見なされる場合、地球は表面近くの物体に自身の中心に向かって加速を与える力を持っていると言えます。

ニュートンは、この力がとにかく山の頂上まで伸びていることに気づき、月まで伸びて必要な加速を引き起こす可能性があることに気づきました。

しかし、落下する物体の加速は、当時知られている限り、地球上のどこに位置する場合でも同じでしたが、月のような距離では、地球によって引き起こされる加速が大きくなる可能性があります。少ない。

ニュートンは、惑星での太陽の作用の場合に以前に到達したのと同じ法則に従って加速度が減少したという作業仮説として、つまり、身体で地球によって生成される加速度は平方に反比例するという仮定を立てました。地球の中心からの身体の距離の。

対応する惑星の場合には現れなかった困難がここで生じるこ

とに気づくかもしれません。

太陽からの惑星の距離は、太陽のサイズに比べて大きいので、惑星の距離が太陽の中心から測定されても、太陽の他の点から測定されても、ほとんど違いはありません。月と地球にも同じことが言えます。

しかし、月の地球の作用を地面またはその近くにある石の作用と比較する場合、石の距離を最も近い点から測定するかどうかを決定することが明らかに最も重要です。地球から数フィート、地球の中心から 4000 マイル、または他の地点から。暫定的に、ニュートンは地球の中心からの測定を決定しました。

月の場合の彼の推測を数値計算によって検証するために残った。

特定のことがわかっているならば、これは簡単に行えます。地球上の落下体の加速、その中心からの地表の距離、月の距離、月が実行するのにかかる時間、地球の周りの回転。

これらの最初のもので、おそらくかなり正確に知られていました。最後はよく知られていました。

また、月の距離は地球の半径の約 60 倍であることが知られていました。

この時点でニュートンが地球の大きさをどの程度正確に知っていたかは不明です。

適度に正確な数値を取ると、計算は簡単に実行されます。

月は約 27 日間で、地球の周りの距離の約 60 倍移動します。つまり、27 日間で約 $60 \times 24,000$ マイル移動します。これは、毎秒約 3,300 フィートに相当します。

したがって、月の加速度は、この 2 乗を月の距離（地球の半径の 60 倍、つまり 20,000,000 フィート）で除算して測定されます。

つまり、 $3,300 \times 3,300 / 20,000,000$ であり、約 1110 に減少します。

その結果、逆二乗の法則が成り立つ場合、月よりも中心に 60 倍近い地表での落下体の加速度は、 60×1110 、または 32 から 33 の間でなければなりません。

しかし、落下体の実際の加速度は 32 以上です。したがって、議論は満足のいくものであり、ニュートンの仮説はこれまで検証されています。

このように地球の周りの月の動きと落下する石の動きの間の類推は、地球の高い場所から銃から水平に発射された弾丸に

対するニュートンによる月の比較によって説明されるかもしれません。

図の b から筒条書きを始めましょう。71、次に水平方向に最初に移動すると、曲線経路を描き、開始点の下に垂直に点 a から少し離れた c などの点で地面に到達します。

それがより速い速度で撃たれた場合、最初はその経路はより平坦になり、c を超えて c' の地点で地面に到達します。

速度がまだ大きい場合、c' または c'' で地面に到達します。そして、それは想像力のほんの少しの努力を必要とします、それはそもそもより大きな速度で、地球を完全に見失い、b d e のようなその周りの回路を記述するだろうと想像することです。

これはまさに月がすることです。唯一の違いは、月が私たちが想定したよりもはるかに長い距離にあり、彼女の動きが銃に類似したものによって生成されていないことです。

しかし、一度そこにある動きは、それがどのように生成されたか、または過去に生成されたかどうかは重要ではありません。

私たちは実際に月について「彼女は落下している体であり、彼女だけが非常に速く進んでおり、遠く離れているので、彼女はそれを打つのではなく、地球の反対側に非常に丸くなっている。

永遠に続きます。」[3]

既に引用された覚書 (§169) で、ニュートンは仮説を事実として「かなり近い」として当てはめると述べています。

しかし、以前の手紙（1686 年 6 月 20 日）で、彼は計算が十分に正確に行われていないと言及しています。

彼は、スネルとノーウッドの測定を見落とした、地球の大きさの非常に不正確な値を使用した可能性があります（第 8 章、§ 159）。

地球が問題の目的のためにその中心で特定されるかどうかに関して、後の段階でさえ、彼は上記の困難に満足に対処することができなかったことが知られています。

そしてもちろん、彼は月の進路が円とは大きく異なることを知っていました。

彼の仮説に実質的に欠陥があると見なすほど、彼は彼の結果に非常に不満だったというレビューは、ニュートンの会話から何年も後に派生したと言われていますが、決して確かではありません。

原因が何であれ、彼は何年もの間何も発表せずに主題を脇に置き、主に光学と数学に専念しました。

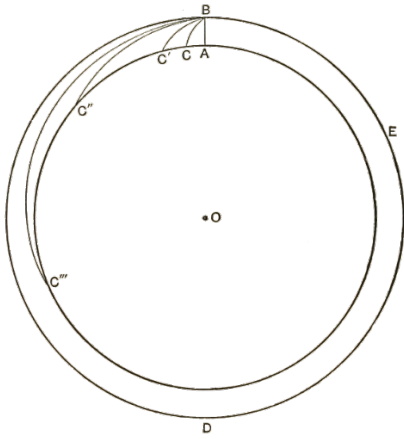


図 71. 一発射体としての月。

174。

一方、遊星運動の問題は、1662 年に設立された王立協会の主要な精神である注目に値する男性グループの間で議論される多数の主題の 1 つでした。ロバートフック（1635–1703）1674 年までに、惑星の運動は惑星と太陽との間の引力によって説明されるかもしれないことを示唆する、当時の科学的発見。逆二乗の法則。

科学者としてよりも建築家としてよく知られているクリストファー・レン（1632–1723）は、1677 年にニュートンとこの種の問題について議論し、この種の引力の法則についても考えていたようです。

ニュートンへのフックの手紙は、1679 年の終わりに書かれ、落下する物体が描く曲線、とりわけ地球の自転を考慮した曲線を扱って、ニュートンを刺激しました。哲学への「疲れ果てた」、「天体運動の彼の研究を続ける」。

ピカードによる地球のより正確な測定（第 8 章、§159）は今ではよく知られており、ニュートンはピカードの改善された測定を使用して、以前の月の動きの計算を繰り返し、結果は以前よりも満足できるものであることがわかりました。

175。

同時に（1679）ニュートンは、円以外の経路での動きに関連するいくつかの困難を克服することにより、最大の重要性をさらに発見しました。

彼は、ケプラーの惑星運動の第 2 法則（vii.、§141）のように、体が中央体の周りを動き、2 つの体を結ぶ線が等しい面積を同じ時間に掃引するように移動すると、動体は、中心

体に正確に向けられた引力によって作用します。

さらに、軌道が楕円で、ケプラーの惑星運動の第一法則のように中心体が 1 つの焦点にある場合、この引力は 2 つの物体間の距離の逆二乗として経路の異なる部分で変化する必要があります。

実際、ケプラーの惑星運動の法則は、太陽が惑星から太陽までの距離の二乗に反比例する引力を惑星に及ぼし、そのような引力が十分な説明を与えるという結論に必然的に導くために示されました。惑星の動き。

しかし、もう一度、ニュートンは何も発表せず、「他の研究に基づいて計算を投げた」。

176。

ほぼ 5 年後、エドモンド・ハレー（この章では §§199–205）によってこの問題が再び彼の通知に持ち込まれました。彼の友情はニュートンの人生で重要な役割を果たし、偉大な天文学者への利他的な献身をもたらしました。当時多くの科学者の中で pre 延していたや je との心地よい対照を形成します。

1666 年のニュートンの仕事を知らなかったハレーは、ケプラーの第 3 法則の結果として、1684 年の初めに逆二乗の法則を再発見し、その後すぐにレンとフックと議論しました。この法律に従って変化する魅力によって行動しました。

しかし、誰も質問に答えることができませんでした[4]。その年の後半、ハレーはケンブリッジのニュートンを訪れ、彼から答えを学びました。

ニュートンは特徴的に十分に以前の計算を失っていましたが、数か月後に再び計算してハレーに送ることができました。今回は幸いなことに、彼の注意は他のトピックに向けられませんでした。彼はすぐに運動の他の多くの問題を解決し、大学の講義の彼の通常の秋のコースを主題に捧げました。

おそらく、新しい結果の中で最も興味深いのは、ケプラーの第三法則で、1666 年に逆二乗の法則が導き出されたが、惑星が円を描いて移動したと仮定した場合のみ、ニュートンの法則と等しく一致した惑星は楕円であるとみなされました。

177。

1684 年の終わりに、ハレーは再びケンブリッジに行き、ニュートンに彼の結果を公表するよう促した。この要求に従って、ニュートンは提案し、王立協会に提案しました。この提案には 11

の命題がすでに言及された結果と、中心に引き付けられている身体の動きに関するいくつかの命題が含まれていました。

命題は抽象的な形で与えられたが、それらの特定のものは惑星の場合に適用されることが指摘された。

ハレーからのさらなる圧力は、ニュートンに、より大きな本でそれらを具体化することにより、彼の結果をより永続的な形にするよう説得した。

予想されていたように、被験者は彼の手の下で成長し、結果として得られた素晴らしい論文には、De Motuには含まれていない膨大な量の資料が含まれていました。

1686年の半ばまでにラフドラフトは終了し、その一部は報道の準備が整いました。

ハレーは費用を支払うだけでなく、印刷を監督し、ニュートンが必要な天文データを収集するのを助けました。

マスコミでのいくつかの遅れの後、この本はついに1687年7月上旬に *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* というタイトルで登場しました。

178。

プリンキピアは、一般に呼ばれているように、入門事項に加えて3冊の本で構成されています。最初の本は、天体に特に言及することなく抽象的な形で大部分解決された、身体の動きの問題を一般的に扱っています。

2番目の本は、通常の流体などの動きに抵抗するメディアを介した体の動きを扱っており、比較的小さな天文学的な重要性を持ちますが、渦のデカルト理論における明白な矛盾が指摘されている点が異なります。

3冊目の本は、実際の太陽系の状況に結果が既に得られており、実際にはニュートンの機械原理に基づいた天体の動きの説明です。

179。

「定義」と「公理、または運動の法則」で構成される導入部分は、ダイナミクスへの非常に注目に値する貢献を形成し、実際、身体の運動が生成または変更される基本法則の最初の首尾一貫した声明です。

ニュートン自身は彼の本のこの部分を非常に重要だとは考えていなかったようで、本の別の部分でのより顕著な発見によって隠されていたように、それで具体化された主要な結果は比較的注目を集めませんでした。

その多くはここで渡さなければなりませんが、特別な天文学的に重要な特定の結果について言及する必要があります。

ガリレイは、私たちが見たように (vi 章, §§130、133)、身体が一度動いたときに何らかの原因が働いていない限り同じ方向に同じ速度で動き続けるという法律を最初に宣言した動きを変えます。

この法則は、3つの基本法則の最初のものとして、§130です。すでに引用された形でニュートンによって与えられ、現在では一般に運動の第一法則として知られています。

ガリレイはまた、落下する物体が絶えず変化する速度で動くが、均一な加速度で移動することを見出し (vi 章, §133)、この加速度はすべての物体で同じであることを見出した (vi 章, §116)。

身体が落下する傾向は一般に地球によるものと認識されていたが、ガリレイの発見は、ある身体が別の身体に及ぼす影響はその運動で生じる加速度である可能性があるという認識を含んでいた。

ニュートンは、地球が月の動きで加速し、太陽が惑星の動きで加速することを示すことでこの考えを拡張し、さまざまな理由による可能性がある身体の動きの加速の一般的なアイデアにつながった他の身体の行動への道、そしてある身体が別の身体にもたらす効果の尺度として都合よくとることができる。

180。

これらのアイデアに、ニュートンは質量の非常に重要で難しい概念を追加しました。

同じ素材でサイズの異なる2つの異なる物体を比較する場合、大きい方の物体を他の物体よりも重いと考えることに慣れていています。

同じように、鉛のボールは同じサイズの木製のボールよりも重いとすぐに思います。

「重さ」と「軽さ」に関連する最も顕著なアイデアは、問題の身体を支えたり持ち上げたりするのに必要な筋肉の努力のアイデアです。

たとえば、リーデンボールを保持するには、木製のボールよりも大きな努力が必要です。

繰り返しますが、弾力性のあるひもで支えられている場合、リーデンボールは木製ボールよりも遠くまで伸びます。

または再び、もしそれらがはかりのはかりに置かれると、鉛は沈み、木は上がります。

これらのすべての効果は、2つのボディの「重量」に起因します。

また、何らかの形でボディに対する地球の作用に起因することに主に慣れている重量です。

さらに、天秤で身体を計量する通常のプロセスは、体重を測定可能な量と考えるのに慣れていることを示しています。一方、ガリレイの結果から、ニュートンが一連の振り子実験で非常に慎重にテストした結果、鉛と木製のボールが落下しても同じ加速度で落下することがわかりました。

したがって、2つのボールの加速度によって地球が生み出す効果を測定すると、地球はそれらに等しく影響します。

しかし、彼らがスプリングを伸ばす力、または一方がバランスでもう一方を支える力で測定すると、地球がリーデンボールに及ぼす効果は木製ボールに生じる効果よりも大きい。

このように取られた場合、どちらかのボールでの地球の動きは重量として話すことができ、体の重量は天秤で標準的な体と比較することで測定できます。

ただし、リーデンボールと木製ボールなどの2つのボディの違いは、まったく異なる方法で認識される場合があります。

たとえば、一方を動かすには、もう一方よりも大きな努力が必要であることが簡単にわかります。

または、それぞれが特定の種類の文字列の末尾に結び付けられ、特定の速度で旋回する場合、1つの文字列は他の文字列よりもしっかりと引き伸ばされます。

これらの場合、地球の誘引は重要ではなく、地球の誘引とは独立した2つの物体の区別を認識しています。

この区別ニュートンは、2つの体の物質または物質の量の違いによると考えられ、この量に彼は質量の名前を与えました。

この特定の質量の定義によって何かが得られるかどうかはかなり疑わしいかもしれませんが、本当に重要なステップは、質量を身体の特長として、動的な質問で基本的に重要で、測定できるという明確な認識でした。

ガリレイのアイデアを発展させたニュートンは、ある身体が別の身体に及ぼす作用の測定値として、生成された加速度による質量の積を与えました。

このように、体の重さは、地球から加えられた力によって特定されました。

地球は同じ場所にあるすべての物体で同じ加速度を生成するため、同じ場所にある物体の質量はその重量に比例することになります。

したがって、2つの物体が同じ場所で比較され、一方の重量（たとえば、一対の体重計で示される）が他方の重量の10倍であることがわかった場合、その質量も10倍になります。

しかし、カイエンのリッチャーの実験（第8章、§161）のような実験では、落下する物体の加速は、高緯度の場合よりも赤道の方が小さいことが示されました。

体がロンドンまたはパリからカイエンに運ばれる場合、その重量は変更されますが、その質量は以前と同じままです。

ニュートンの地球の重力の概念は、月が質量と重量の区別をさらに重要視するまで広がっていると考えていました。

地球から月へと移動した場合、その質量は変化しませんが、地球の引力による加速度は60×60倍小さくなり、その重量は同じ割合で減少します。

また、2つ以上の力が同時に作用することによって身体の動きに生じる効果についても規則が定められています[5]。

非常に重要なさらなる原理は、ニュートンの時代以前に非常に不明瞭な痕跡のみが発見されるものであり、彼は運動の第三法則として次の形で与えられました。

「すべての行動に対して、常に平等で反対の反応があります。または、2つの団体の相互行動は常に平等で、反対の方向を向いています。」

ここでは、アクションとリアクションは、主に力の意味で解釈されず。

石が手にかかっている場合、石が手を下に押す力は、手が石を上を押す力と同じです。

地球が特定の力で石を下向きに引き付ける場合、石は同じ力で上向きに地球を引き付けます。

最後の例のように、2つの物体が互いに作用している場合、生成される加速度は同じではありませんが、力は質量と加速度の積で測定されるため、より大きな質量の物体小さい加速度を受け取ります。

石と地球の場合、後者の質量は非常に大きく、[6]その加速は石のそれよりも非常に小さく、したがって（私たちの経験によれば）非常に鈍感です。

181。

ニュートンがプリンキピアを書き始めたとき、彼はおそらく地球の誘引力が月まで及んだこと、そしてそれによって加速があらゆる体に生じたことに満足したでしょう (§173)。地球—地球の中心からの距離の 2 乗に反比例します。

力と質量のアイデアを用いて、この結果は次の形式で述べることができます。

地球は、地球の中心からの距離の 2 乗に反比例し、身体の質量にも比例する力で、あらゆる物体を引き付けます。

同じように、ニュートンは惑星の動きが太陽への引力によって説明され、太陽の中心からの距離の二乗に反比例する加速度によって説明できることを確立しました。、また異なる惑星で。繰り返しになりますが、太陽は、太陽の中心からの惑星の距離の 2 乗に反比例し、惑星の質量にも比例する力で惑星を引き付けます。

しかし、運動の第三法則によって、地球に向かって引力を受ける体は、地球に均等に引力を発揮しなければなりません。

同様に、太陽に向かって引力を受ける体は、太陽に均等に引力をかけなければなりません。

たとえば、金星の質量が火星の質量の 7 倍である場合、太陽が金星を引き付ける力は、同じ距離に配置された場合に火星を引き付ける力の 7 倍です。

したがって、金星が太陽を引き付ける力は、火星が太陽から等距離にある場合に太陽を引き付ける力の 7 倍です。したがって、これまで考慮され、比較が可能なすべての引力の場合、力は引力体の質量だけでなく、引力体の質量にも比例し、正方形に反比例する距離の。

したがって、重力は、回転システムの中心体に固有の特性としてではなく、太陽とまったく同じように惑星に属し、月とまったく同じように月または石に属しているように見えます地球。

さらに、地球の表面にある別の天体が地球に引き付けられ、ひいてはそれを引き付けるという事実は、天体が所有するように見せられている他の天体を引き付けるこの力は、それぞれの天体に属していないことを示唆しています全体ですが、例えば木星と太陽が互いに引き合う力は、木星を構成する別々の粒子が引き寄せる力を合成した結果であるように、それを構成する別々の粒子に太陽を

したがって、最終的には、最も一般的な形の重力の法則が示

唆されます：物質のすべての粒子は、それぞれの質量に比例し、それらの間の距離の 2 乗に反比例する力で他のすべての粒子を引き付けます[7]。

182。

すでに言及されているすべての天文学的なケースでは、さまざまな天体の間のアトラクションは、それらが中心に正確に向けられているかのように扱われ、物体間の距離は中心間の距離とされています。

この点に関するニュートンの疑念は、地球の身体の魅力の場合、すでに言及されています (§173)。しかし、1685 年の初めに彼はこの仮定を正当化することに成功しました。

彼が示した推論の非常に美しくシンプルなコース (プリンシピア、Book I、命題 70、71) によって、もし体が球形で全体に均等に密集しているなら、それはまるでその全体の質量のように外部の粒子を引き付けるその中心に集中していた。

彼はさらに、同じ密度が可変密度の球体にも当てはまることを示しました。ただし、それは一連の球殻で構成され、共通の中心を持ち、全体が均一な密度であり、異なる殻は異なる密度。たとえば、中空のインディアラバーボールだけでなく中実のボールにも結果は当てはまりますが、一緒に固定された木製の半球と鉄の半球で構成される球には当てはまりません。

183。

このように暫定的に確立された重力の法則は、ニュートンの前に置かれ、プリンキピアの最初と 3 番目の本の大部分を占める偉大な仕事は、それと「運動の法則」から演 that することでした。可能であれば、そのように計算された動きが観測された動きと一致したことを、太陽系のさまざまなメンバー、およびせん断のメンバー。

これが成功すれば、ニュートンの原理の最も繊細で厳密な性格を検証する余裕があります。

メカニズムとしての太陽系の概念は、各メンバーが 1 つの普遍的な引力の法則に従って他のすべてのメンバーの動きに影響を及ぼしますが、それ自体は非常に単純ですが、提案されると非常に深刻な困難を引き起こすことが容易にわかります実際にさまざまな動きを計算します。

火星などの惑星の動きを扱う際に、太陽の引力によってのみ作用するものとして火星を考慮し、他の惑星の影響を無視するこ

とが可能であった場合、問題は次の命題によって完全に解決されます。1679年に設立されたニュートン (§175) により、必要な精度でいつでも火星の位置を計算することができました。

しかし、実際に存在する場合、火星の動きは、他のすべての惑星（および衛星）が引き付ける力の影響を受け、これらの力は火星の位置（および火星の位置）に依存します。他の惑星）、したがって火星の動きに。

一般的なこの種の問題は、既存の数学的手法の能力をはるかに超えています。しかし、幸いなことに、最大の惑星の質量でさえ太陽の質量よりもはるかに小さいため、ある惑星の運動は他の惑星の影響をわずかに受けません。

また、他の惑星が存在しなかった場合に移動するのとほぼ同じように移動すると見なされる場合があります。これらの影響は、その後、その経路に外乱または摂動をもたらすものとして許容されます。

この単純化された形式でさえ、惑星の運動の問題は非常に困難なもの 1 つであり (xi.、§228 を参照)、ニュートンはそれを完全性のようなもので解決することはできませんでしたが、惑星の相互作用から生じなければならない一般的な効果、最も興味深いのは、地球の軌道の頂点のゆっくりとした前進運動であり、それはずっと前に天文学者の観察によって気づかれていた (iii 章、§59)。

ニュートンはまた、木星がその大きな質量のために、その隣の土星の運動にかなりの摂動を生じさせなければならないことを指摘し、したがって、Horrocksによって最初に指摘された不規則性のいくつかの説明を与えました (第 8 章、§156)。

184。

月の動きには特別な困難が伴いますが、明らかに月理論の問題に興味を持っていたニュートンは、惑星に関連する対応するものよりも完全にそれらを克服することに成功しました。

月の地球上の動きは、主に地球の引力によるものです。他の惑星による disturbance 乱は取るに足らないものです。しかし、太陽は非常に遠い距離にありながら地球よりも非常に大きな質量を持っていますが、月の動きに非常に敏感な妨害効果をもたらします。

私たちが見たような特定の不規則性 (ii 章、§40、48; v 章、111 章) は、すでに観察によって発見されていました。

ニュートンは、太陽の邪魔な動作が必然的に認識されたものと

同じ一般的な性格の妨害を引き起こすことを示すことができ、月のノードと彼女の遠地点の動きの場合、彼は非常にかなり正確に得ることができた数値結果; [8]

彼はまた、他の多くの不規則性を発見しましたが、ほとんどの場合、これまで気づかなかった非常に小さなものです。

彼はまた、木星と土星の月の動きに、私たちの月の場合に発生するものに類似した特定の不規則性の存在を示しました。

185。

ニュートンの重力理論から生まれた、まったく新しいキャラクターの結果のグループ。いくつかの天体の質量を推定することが初めて可能になりました。それらが他の物体に及ぼす引力を地球が及ぼす引力と比較することによって。

木星の場合、例として与えられるかもしれませんが。木星の最も外側の衛星の回転時間は約 16 日 16 時間であることが知られており、木星からの距離は、地球から月の約 4 倍の距離でニュートンによって推定されました (あまり正確ではありません)。

§172 または §173 の計算とまったく同じ計算では、木星の引力による衛星の加速は月の地球への加速の約 10 倍であるため、距離は 4 倍になります。木星は、地球が同じ距離で物体を引き付ける力の $10 \times 4 \times 4$ 倍の力で物体を引き寄せます。その結果、木星の質量は地球の 160 倍です。

この推論のプロセスは土星にも当てはまります。また、太陽の周りの惑星の動きと地球の周りの月の動きの比較と非常によく似た方法で、太陽の質量と地球。

このようにして、ニュートンは太陽の質量が木星、土星、地球のそれぞれの 1067、3021、169282 倍であることを発見しました。

現在受け入れられている対応する数字は、1047、3530、324439 からそれほど遠くありません。

最後の数字の大きな誤差は、太陽の距離の誤った値の使用によるものであり、正確にはわかっていませんが、太陽系の他の距離に依存しています。

この方法を使用するには、問題の惑星に引き付けられた他の物体の動きを観察できる必要があるため、他の 3 つの惑星 (火星、金星、水星) に適用することはできません。衛星が知られていました。

186。

作用と反応の平等から、太陽は惑星を引き付けるので、太陽も引き付け、その結果、太陽は動きますが、惑星は比較的小さいため、非常にわずかな程度です。

したがって、ケプラーの第三法則は厳密には正確ではなく、大きな惑星である木星と土星の場合、それからの逸脱は敏感になります (vii.、§144 を参照)。

しかし、ニュートンによって証明されたのは、相互の引力の影響下で何らかの方法で動き回る太陽系などの体のシステムには、常に重心と呼ばれる特定のポイントがあるということです。安静時として扱われる;

太陽はこの点に相対的に移動しますが、太陽の中心と重心の間の距離が太陽の直径よりも大きくなることはありません。

おそらく半世紀以上前のガリレイの非難において、この結果が教会の支持者の何人かによって捕らえられなかったことは、おそらくかなり興味深いでしょう。

地球が世界の中心にあるという見解を支持するのに程遠い場合、太陽が世界の中心に安息していると主張したコペルニクスとガリレイの教義の一部が否定されたからです。

ニュートンの本を理解できる人は誰も反コペルニクス制度の真剣な支持者ではなかったでしょうが、一部は教皇の布教令に従ったとまだ公言しています[9]。

187。

1672 年に Richer によって発見された地球のさまざまな場所での振り子の振動時間の変動 (第 8 章、§161) は、地球がおそらく球体ではないことを示していました。

ニュートンは、この球形からの逸脱は、地球を構成する粒子と地球の自転の相互重力の結果であると指摘しました。

彼は、水路が極から地球の中心へ、そして中心から赤道上の点 (図 72 の boaa) を通過することを想定し、これら 2 つの水柱が、オアは、それぞれが地球の中心に向かって引き付けられ、バランスをとるべきです。

この方法は、地球の内部に関する特定の仮定を含んでおり、現在でもほとんど知られているとは言えず、その結果、ニュートンの一般的な結果ではあるが、地球は極で平らになり、赤道で膨らむというのは正しかった、彼が見つけた実際の数値表現はあまり正確ではありませんでした。

図の点線が、半径が地球の中心 o から極 b の距離に等しい

円である場合、地球の実際の表面は、赤道でこの円を超えてここで、ニュートンによれば、 aa は ob または oa の約 1230 であり、地球の実際の測定と理論 (x 章、§221) に基づく現代の推定によれば、それは o の約 1293 です。 a 。

ニュートンの分数と現代の分数はどちらも非常に小さいため、結果として生じる平坦化は図では分別できません。図 72 長さ a a は、明確にするために、本来の 30 倍近い長さになっています。

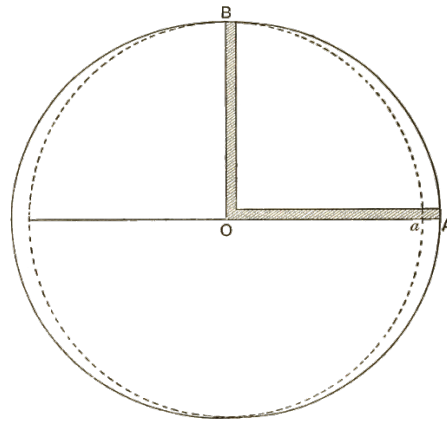


図 72. —地球の回転楕円体。

ニュートンも同様に、木星の平坦化を発見しました。これは、より高速な回転により、地球よりもかなり平坦化されています。これは、Principia の発表から 4 年後に Domenico Cassini によって望遠鏡で検出されました。

188。

地球の形の発見は、分点の歳差運動の説明につながりました。これは、1,800 年前に発見された現象 (第 2 章、§42) ですが、それ以来完全な謎のままです。

地球が完全な球体である場合、他の物体へのその引力は、その質量がすべて中心に集中している場合とまったく同じです (§182)。したがって、太陽や月は、地球の中心 o を通過する単一の力に相当します。

しかし、地球が球形でない場合、これはもはや真実ではありません。

実際、図 1 の点線の円の内側の地球の球体部分に対する太陽または月の作用。72、 o を通る力に相当し、その中心を中心に地球を回転させる傾向はありません。

しかし、残りの部分の引力は異なる性格のものであり、ニュートンは、そこから歳差運動と同じ一般的な性格の地球の軸の動きが生じることを示した。

ニュートンによって計算された歳差運動の量は、実際には観察された量とかなり密接に一致しましたが、これは、地球の形と構造に関する不完全な知識から生じる、2つのエラーの偶発的な補償によるものでした。また、太陽の距離と月の質量の誤った推定から、ニュートンがどの量も正確に測定することはできませんでした[10]。

さらに、問題の運動は必ずしも完全に均一ではないことが指摘されましたが、異なる位置にある太陽の不均等な影響により、地球の軸は6ヶ月ごとに前後に振動しますが、非常にわずかな程度です。

189。

ニュートンはまた、月と太陽の乱れた行動によるものとして、潮の一般的な説明をしました。

地球が海洋に覆われた固体の球状の核でできていると見なされる場合、月は異なる部分を不均等に引き付け、特に、月に最も近い水に生じる加速度によって測定される引力は、より大きくなります固体の地球、そして月から最も遠い水の上のそれはより少ないです。

その結果、水は地球の表面上を移動します。動きの一般的な特徴は、月の側の海の部分が引き寄せられ、反対側の部分がはじかれた場合と同じです。

地球の自転と月の動きのおかげで、月は地球上のどの場所に対してもほぼ同じ位置に戻り、1日を（平均して）約50分、そして結果としてニュートンの議論が月による干潮（または満潮）は、この期間の約半分に等しい間隔で任意の場所で互いに追いつくでしょう。

または、言い換えれば、一般に毎日2つの潮が発生するが、毎日特定の潮の段階が前日より平均で約50分遅れて発生し、結果が観測と一致するということです。

同様の、しかしより小さい潮流は、太陽の作用から生じるという同じ議論によって示され、実際の潮流はこの2つの組み合わせによるものであるとされました。

新月と満月には月と太陽の潮が足し合わされ、半月には互いに打ち消し合う傾向があり、2週間ごとに観測された大潮の事実が説明を受けようになりました。

潮の他の多くの特性も、同じ原理から生じることが示されました。

ニュートンは、太陽と月と一緒に作用し、逆の方法で作用したときの潮の高さの観測を巧みに使用して、太陽と月の潮力を比較し、それによって月の質量を推定しました太陽の、そして結果として地球のそれに関して（§185）。

結果として得られる月の質量は、現代の知識によれば約2倍でしたが、ニュートンの時代のように、月の質量を最も粗い方法で測定する方法を誰も知らなかったため、この結果は理論と潮 observation の観測の両方に関連する無数の合併症は、驚くべき成果とみなされます。

ニュートンの潮流の理論は、問題を管理しやすくするために作成しなければならない特定の仮説に基づいていましたが、それは確かに真実ではなく、その結果、彼がよく知っていたように、重要な修正を必ず行わなければならないでしょう、彼の結果を実際の事実と一致させるため。

たとえば、水で覆われていない土地が存在するだけで、さまざまな場所で潮 effects 効果に重要な変化をもたらすのに十分です。

したがって、ニュートンの理論は、必要な場所での満潮の時間や必要な潮の高さを予測するようなタスクと決して同じではありませんでしたが、潮の一般的な特性の多くについて満足のいく説明を提供しました。

190。

私たちが見たように（章 v.、§103; 章 vii.、§146）、ごく最近までの彗星は、私たちの大気より高い地域で生成された地上の物体、そしてティコのようなより賢明な天文学者でさえ一般的に考えられていました、ケプラー、およびガリレイは、彼らを天体に属していると認識しましたが、彼らの動きおよび明らかに非常に不規則な外観と消失について説明することができませんでした。

ニュートンは、彗星の動きが惑星の動きのように太陽への重力によって説明できないかどうかを検討するように導かれました。

もしそうなら、彼がプリンキピアの始まり近くで証明したように、その経路は楕円か、他の2つの同盟した曲線、放物線と双曲線のいずれかでなければなりません。

彗星が円とわずかに異なる楕円内を移動した場合、太陽系の中心から非常に大きな距離まで後退することはないため、定期的に見えるようになり、観測に反する結果となりました。

ただし、図1に示すように、楕円が非常に細長い場合は、73、

その後、回転の期間は簡単に非常に大きくなる可能性があり、その大部分の間、彗星は太陽から遠く、その結果、目に見えないように地球からも遠くなるでしょう。

そうだとすれば、彗星は短時間見られて見えなくなり、非常に長い時間を経て再び現れ、自然に新しい彗星と見なされます。

再び彗星の進路が放物線である場合（これは楕円形を無期限に引き伸ばすと見なすことができます）、彗星はまったく戻りませんが、太陽の近くにある進路のその部分で一度だけ見られるでしょう。

しかし、彗星が太陽に焦点を合わせて放物線で移動した場合、太陽からそれほど遠くないときの位置は、細長い楕円形で移動した場合とほぼ同じになり（図 73 を参照）、その結果、2つのケースを区別することはほとんど不可能です。

ニュートンはそれに応じて数学的にはより簡単な放物線の動きの場合を考え出し、1680-1 年の冬に多くの注目を集めた彗星の場合、放物線の経路、計算された場所を見つけることができることを発見しました。観測された彗星と密接に一致した彗星の。

Principia の後の版では、他の多くの彗星の動きが同様の結果で調査されました。

したがって、多くの場合、彗星の進路は放物線か細長い楕円のいずれかであり、他の場合でも同様の結果が期待されることが確立されました。

彗星の明らかに任意の動きの規則へのこの縮小、および重力の作用下で太陽の周りを移動する同じクラスの物体の惑星へのそれらの包含は、中に含まれる無数の発見の最も印象的なものの 1 つとかなり見なされるかもしれませんプリンキピア。

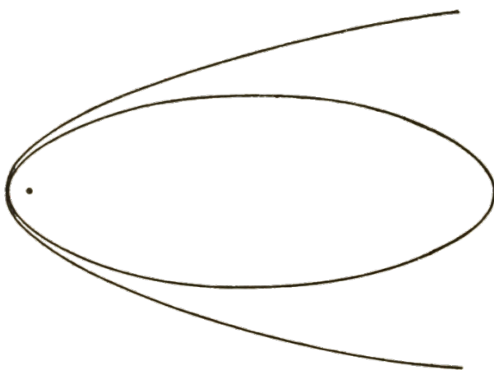


図 73. 一細長い楕円と放物線。

同じセクションで、ニュートンは、彗星の性質、特に尾の構造についてもある程度議論し、尾が形成されるという現代の理論（xiii.、§304）と一般的に一致する結論に到達しました。煙の性質の細かく分割された物質の流れによって、彗星の本体から上昇し、目に見えるように許容できるほど近くにあるときに太陽の光に照らされます。

191。

私たちが見たように、プリンキピアは 1687 年に公開されました。小さな版だけが印刷されたようで、これは 3、4 年で使い果たされました。

ニュートンの以前の発見、および王立ソサエティデモツへのプレゼンテーション（§177）は、プリンシピアで重要な新しい結果を探すために科学界を準備し、本は主要な大陸の数学者によって読まれたようです。天文学者、そしてイギリスで非常に温かく迎えられた。

ただし、デカルトの哲学は、簡単に揺るがすには堅固なホールドがありました。

そして、ニュートンの基本原則は、空の空間で隔てられた 2 つの物体の間の行動という考えを含んでおり、科学理論をその程度によって判断する概念をまだ完全に把握していない思想家には受け入れられないように思われた結果は観察された事実と一致します。

それゆえ、ホイヘンスのような男でさえ（第 8 章、§§154、157、158）、重力の考えを「不条理」と見なし、ニュートンがそのような多くの労力を費やすのに苦労するべきであることに驚きを表明した。この原理以外の基礎のない計算、ホイヘンスにこれらの計算の結果と実際の事実との一致が原理の健全性の証拠であるという概念がなかったと述べた発言。

個人的な理由も、ニュートンとフラックスニッツと呼ばれるものの発明に対するそれぞれの主張に関するニュートンとライブニッツの有名な famous と、微分法（その中から微分積分積分が発展した）として、ニュートンの仕事の大陸の無視に貢献しました激しさを増し、両側に新しい戦闘員が引き寄せられました。ニュートンの見解が大陸で実質的な進歩を遂げる前に、実際には半世紀が経過した（第 XI 章、§229 を参照）。私たちの国では、ケースは異なっていました。

プリンシピアはそれを理解することができる少数の人々に賞賛されただけでなく、ベントレーのような学者、ロックのような哲学者、ハリファックスのような宮廷人はすべて、彼の数学の詳細が出て

いなくてもニュートンの一般的な考えを把握しようと試みたその範囲。さらにすぐに、彼の科学的アイデアが神学的議論として有利に使用できることが発見されました。

192。

プリンキピアの大成功の不幸な結果の 1 つは、ニュートンが、豊かな余暇と細い収入をもつ静かなケンブリッジ教授から、公の性格に変わったことであり、彼の時間の一部は、別の。

プリンキピアの出版直前に、彼はジェームズ 2 世の侵略に対する権利を擁護するために大学の代表者の 1 人に任命されていました。その解散。

これらおよび他の多くの注意散漫にもかかわらず、彼は重力理論で働き続け、月理論に特に注意を払い、彼の治療で彼が満足することは決してなかった困難な主題であった[11]。

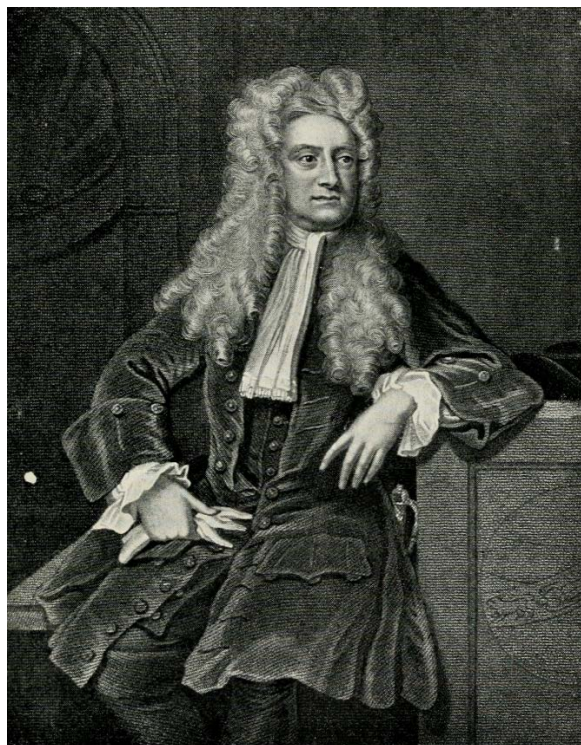
ニュートンの絶え間ない要求とフラムスティードの時々拒否にもかかわらず、彼は幸運にも天文学者ロイヤル・フラムスティード（章 x。、§§197-8）から月（および他の天体）の最初の観測を時々得ることができました。間隔で緊張した関係につながった。

この頃、ニュートンは、プリンシピアで議論されたさまざまなポイントのより詳細な扱いで、新しい論文を書くことを考えた可能性があります。

そして 1691 年には、プリンシピアの新版の話がすでにありました。おそらく若い数学者によって編集されるでしょう。

いずれにせよ、おそらくこの方向で深刻なことは何年も行われませんでした。おそらく重病、明らかに何らかの神経障害が原因で、1692 年にニュートンを攻撃し、約 2 年続きました。

この病気の間、彼自身が言ったように、「彼には通常の心の一貫性がなかった」、そして彼が完全な精神活動と力を回復したことは決して確かではない。



ニュートン。 [p. 240。

この病気から回復した後すぐに、彼は月の理論を続けることに加えてプリンキピアの新しい版の準備をしましたが、1695 年に再び中断され、彼はそこからウォーデンの貴重な任命を受け、4 年後にマスターシップに昇格しました。

その結果、彼はロンドン（1696）に引っ越すことになり、彼の時間の大部分は公務に専念しました。1701 年に彼はケンブリッジ大学で教授職を辞任し、同年に大学の議会代表を選出しました。

1703 年に彼は王立協会の会長に選ばれ、彼は彼の死まで保持していた事務所であり、1705 年に彼はケンブリッジへの王室訪問の際にナイトに選ばれました。

この間、彼は光学に関する論文を出版（1704）しましたが、その大部分はおそらくずっと前に書かれたものであり、1709 年にプリンシピア自身を編集するというアイデアを最終的に放棄し、ロジャー・コート（1682 - 1716）、数年後に早すぎる死がニュートンから有名な賛辞を呼んだ、才能ある若い数学者、「コート氏が生きていたら、何かを知っているかもしれない」。行われる変更は、編集者と著者の間の長く活発な対応で議論されました。最も重要な変更は、月理論への改良と追加、そして歳差運動と彗星の議論です。小さな変更の;新しい版は

1713年に登場しました。

ペンバートンが編集した第3版は1726年に出版されましたが、今回は80歳以上のニュートンが参加する部分があるかに少なく、変更はそれほど重要ではありませんでした。

これはニュートンの最後の科学研究であり、彼の死は翌年（1727年3月3日）に発生しました。

193。

ニュートンの科学的発見の莫大な大きさについて十分な考えを与えることは、それらの大部分が表現された数学的技術を自由に使用することを除いて不可能です。

彼の個人的な敵であるライプニッツは、「世界の初めから数学をニュートンが生きた時まで、彼がやったことははるかに良い半分だった」と彼の偉大な後継者ラグランジュの発言（xi。、§237）、「ニュートンはこれまでに存在した最大の天才であり、最も幸運なものでした。世界のシステムを確立することは一度もありえないからです」それを判断する能力がある。

これらの壮大な称賛により、ニュートン自身の前任者に対する感謝の認識、「他の男性よりも先を見たなら、それは巨人の肩の上に立っていたからです」と彼自身のパフォーマンスの控えめな推定を比較するのは楽しいことです。-

「私は自分が世界にどのように見えるかわかりませんが、自分にとっては海岸で遊んでいる少年のようで、今では自分自身を迂回して、普通よりも滑らかな小石やきれいな貝殻を見つけているようです。真理の大海はすべて私の前に発見されなかった。」

194。

ニュートンの業績と初期の天文学者の業績との違いの説明では、天体がどのように動いたかを発見したのに対し、彼はその動きがそのままであった理由を示した、言い換えれば、彼はそれらを説明したり、その原因を確認した。

しかし、HowとWhyのこの区別は、間違いなくある程度便利ではあるが、本当の妥当性があるかどうかは疑わしい。

たとえば、プトレマイオスはある種のエピサイクルの組み合わせによって惑星の動きを表しています。彼のスキームは、モーションを記述する特定の方法と同等でした。

しかし、もし誰かがなぜ特定の時間に惑星が特定の位置にあるのかと彼に尋ねたならば、彼はそれが惑星がこの特定のエピサイ

クルのシステムと接続されていて、その場所をそれらから差し引くことができるからだと答えたかもしれない厳密な計算プロセスによって。

しかし、誰かがさらに進んで、なぜ地球のエピサイクルがそうであったのかと尋ねたなら、プトレマイオスは答えを出せなかったかもしれません。

さらに、エピサイクルのシステムは惑星ごとにいくつかの重要な点で異なっていたため、プトレマイオスのシステムは明らかに自分自身を提示した多くの質問に答えていませんでした。

その後、コッパニクスはこれらの質問の一部に部分的な回答をしました。

特定のエピサイクルに対応する特定の惑星運動がなぜ存在したのかという質問に対して、彼はそれが地球の特定の運動によるものであり、これらの（見かけの）惑星運動が必要な結果として推論されると答えたでしょう。

しかし、地球が特定の方法で動き、惑星が他の特定の方法で動くという単なる説明的な記述として、同じ情報を与えることもできたでしょう。

しかし、コッパニクスがなぜ地球がその軸を中心に回転したのか、またはなぜ惑星が太陽の周りを公転するのかと尋ねられたなら、彼は答えを出すことができなかったでしょう。

惑星の運動に特定の不規則性があり、それが彼のエピサイクルに代表される理由を、彼はまだ言うことができなかった。

ケプラーは、惑星運動の3つの法則によって、同じ運動を非常に簡単かつ短時間で再び説明しました。

しかし、惑星の運動が特定の方法で変化した理由を誰かが尋ねた場合、すべての惑星が楕円で動き、等しい面積で等しい時間を掃引するためだと答えたかもしれません。

なぜこれがそうだったのか、ケプラーは言うことができなかったが、彼は主題について推測することに多くの時間を費やした。しかし、この質問にはニュートンが答えました。ニュートンは、惑星の運動が重力の法則と運動の法則の必要な結果であると示しました。

さらに、これらの同じ法則から、文は非常に単純で数は少ないが、必要な結果として月の動きと他の多くの天文現象、および落下体の挙動などの特定のよく知られている地上現象が続いた。

これにより、これまで互いに切り離されていた観察された事実の多数のグループが、特定の基本法の必要な結果としてここに結び付けられました。

しかし、再びニュートンの太陽系の見方は、惑星などが特定の大きさの加速度で互いに向かって移動するという単なる記述的な記述として等しく置かれるかもしれませんが。

しかし、惑星の実際の位置または運動速度はいつでもニュートンの法則からの非常に精巧な計算によってのみ推測できるため、観測された天体運動とは明らかに同等ではなく、したがって、それらは単なる説明であると簡単に考えてください。

再びニュートンの法則は、なぜ身体がこの特定の方法で互いに引き合うのかという疑問を示唆しています。そして、ニュートンが完全に合法であると認識したこの質問に、彼は答えることができませんでした。

または、なぜ惑星が特定の大きさで、太陽から特定の距離にあるのかなどを尋ねることがありますが、これらの質問に対してニュートンは答えを出すことができませんでした。

しかし、Ptolemy, Copernicus, Kepler が未回答の質問の全部または一部を後継者が回答したのに対し、説明されていない事実や法律は、他のより単純で一般的な法律の必要な結果であると判明しましたが、現在まで、ニュートンが未回答のまま残したこれらの質問には、満足のいく方法で誰も答えることができませんでした。

したがって、この特定の方向では、ニュートンの法則は現在の知識の境界を示しています。

しかし、今年または来年、さらに一般的な法則の結果として重力を示すことに成功した人がいたとしても、この新しい法則は新しい理由をもたらします。

しかし、ニュートンの法則が太陽系の現象の最終的な説明と見なすことができない場合、歴史的な意味で他のより基本的な法則に依存するようにまだ示されていない場合を除き、太陽系のすべての部分で観測された結果の膨大な量とその普遍的な特性などの精度は、化学や物理学などの他の科学部門で観測された事実を何らかの方法で説明するというアイデアに強力な弾みを与えました体の間で作用する力の結果として、したがって、特定の数の体で構成される物質宇宙の概念になり、それぞれが明確な力で互いに作用し、観察されるすべての変化が進行するようにこれらは、これらの力の必要な結果であり、力についての十分な知識とその結果を展開するのに十分な数学的スキルを持っている人なら誰でも予測することができます。

物質宇宙のこの概念が適切であるかどうかにかかわらず、それは間違いなく科学的発見と哲学的思考に非常に重要な影響を及ぼし、それはニュートンによって決して公式化されなかったが、おそらくその一部は彼によって拒否されたであろう、そのようなアイデアが彼の頭の中にあつたという兆候があり、概念を最もしっかりと保持した人々は、間違いなく彼から直接または間接的に自分のアイデアを引き出しました。

195。

ニュートンの科学的手法は、ガリレイが従う手法（vi 章、§ 134）と本質的に違いはありません。ガリレイは、完全な帰納法または逆演 ductive 法としてさまざまに記述されています。同じ一般的なプロセスの一部。

事実は観察または実験によって得られます。仮説または暫定理論は、それらを説明するために考案されています。

この理論から、可能であれば、演 ductive 的推論の厳密なプロセス、実際の事実と比較できる特定の結果によって得られ、比較が行われます。場合によっては、最初のプロセスがより重要であるように見えるかもしれませんが、ニュートンの研究では、彼の結果の証明の本当に説得力のある部分は、最後の 2 つのプロセスに関係する検証にあります。

これはおそらく、彼の有名な発言「仮説非フィンゴ（私は仮説を發明しません）」によって、その文脈から切り離されて、幾分曖昧にされました。言葉は、彼が普遍的な重力について話していた後、プリンキピアの結論に現れます：-

「私はまだ、重力のこれらの特性の理由を現象から推測（推測）することができていません。そして、仮説を發明していません。

現象から推論できないものは、仮説と呼ばれるべきです。

ニュートンはおそらく、観測から直接推測することのできないデカルト渦のような憶測と、その結果を解決できず、実際の事実と比較できないか、矛盾している結果を心に抱いていました。ニュートンは実際には検証不可能な仮説を拒否しましたが、彼は常に仮説を立て、観察された事実によって示唆され、新鮮な観察された事実との結果の一致によって検証されました。

月への重力の拡張（§173）は良い例です。

彼は落下体の動きと月の動きに関する特定の事実を知ってい

ました。

地球の引力が月まで及ぶ可能性が彼に起こり、ケプラーの第三法則に関連する特定の他の事実は逆二乗の法則を示唆した。

これが正しければ、月の地球への加速度は、計算によって得られる特定の値を持っている必要があります。

計算が行われ、月の実際の動きとほぼ一致することがわかりました。

さらに、検証プロセスの非常に重要なことを示すため、ニュートンの基本法則は厳密には確立されていなかったが、彼の証明

の欠陥は、それ以来続いている検証。

ニュートンが重力と運動の法則から導き出した太陽系の運動については、おおまかに観測と一致しました。多くの顕著な矛盾が残っていました。

そして、これらはニュートンの計算プロセスの必要な不完全性によるものであるという強い推定がありましたが、一連の数学者の多大な労力と工夫が、これらの矛盾を一つずつ取り除くために必要でした。実際のところ、今日でも、説明のつかない小さなものがいくつか残っています (xiii.、§290)。