

مسائلی چند درباره شکل زمین

(سابقه مطالعه، روشهای متداول و نتایج حاصله)

توجه: مجید اوتیق

قسمت اول

سابقه تفکر درباره شکل زمین

شکل و ابعاد زمین از گذشته‌های دور، ذهن بشر کنجگاو را به گونه معانی به خود معطوف داشته است. زمینی که به عنوان یک جسم ساوی، خانه و محل کار انسان محسوب می‌شود، بشر از ریشه قدیم درباره شکل زمین متحیر بوده است. آیا زمین تا بی‌انتهای امتداد دارد و یا در فاصلهای دور در یک دره بی‌پایانی به انتها می‌رسد؟ بشر به تدریج و به آهستگی سرانجام توانست به کمک ابزار و یافته‌های علمی خود و با علیه بر مناقشات فکری مختلف به حل این مسئله نزدیک شود. در ابتدا آنها معتقد بودند که زمین مسطح است و شناخت اینکه زمین گرد بوده، پیشرفت بزرگی محسوب می‌شده است.

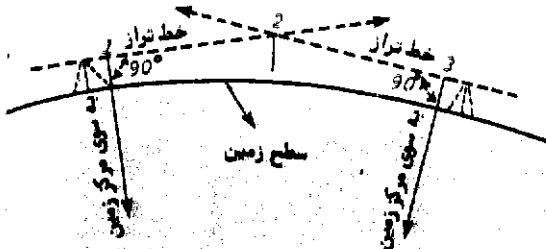
نخستین تفکرات درباره شکل زمین را در چند هزار سال قبل به بابلیها نسبت می‌دهند. بابلیها در یک دشت مسطح زندگی می‌کرده‌اند و فراوانی طغیانهای رودخانه‌های این امکان را به آنها می‌داده است که به انحای سطح آب جاری توجه نمایند، همچنین بعضی از آنها سجمان ماهری بوده‌اند و توانستند عرش سایه حرکت چرخشی زمین را به هنگام خسوف در سطح کره ماه رویت نمایند. بابلیها متوجه شده‌اند که با حرکت به سوی جنوب و دور شدن از محل سکونت خود می‌توان ستارگانی را که در زیر افق محل قرار دارند، رصد نمود ولی هرگز موفق نشدند که حاکمان امور را به این مسئله متقاعد سازند زیرا تصور عمومی مورد قبول در بین بابلیها این بود که "زمین مسطح" است.

اهمیتار این عقیده که زمین گروی شکل است به فیثاغورث و مکتب او در قرن ۱۶ قبل از میلاد نسبت داده می‌شود، اگرچه دیگران نیز تردیدی در باطل بودن شکل بیضنبادی قبل از آنها نداشتند. پیروان مکتب فیثاغورث به عوامل و حقایق مشهور چندان توجهی نداشتند و به عقیده آنها کره یک شکل کامل و مشخص هندسی است و بدین جهت محاسبه کردند که زمین نیز می‌بایستی همانند ماه و

خورشید گروی شکل باشد. به هر حال این تصور با تزلزل و فرو ریختن تصور رایج فلی، سبب شد که ایده زمین گروی شکل توسط بسیاری از فلاسفه یونانی از جمله ارسطو - کسی که حتی در کتاب مدینه فاضله خود محیط کره زمین را برآورد کرده بود ولی نادرست است - مورد قبول واقع شود.

ایده زمین گروی شکل که توسط فلاسفه یونانی مورد قبول واقع شده بود، موفق گردید که به مدت ۱۵۰۰ سال از طریق فتوحات نظامی و انتشارات فکری در اروپا تداوم یابد. این امر، نتیجه یک تضاد موفقیت آمیز بود زیرا بعد از آن که مسیحیان اروپا را به تسلط خود درآوردند، کارهای ارسطو را به عنوان راهنمایی برای شناخت جهان فیزیکی انتخاب کردند. ولی ارسطو یک راهنمای غیر قابل اعتمادی بود و این حقیقتی است که هرگز آنها کشف نکرده‌اند برای اینکه هدف اصلی آن آماده کردن اذهان برای شناخت دنیایی خارج از دنیای محل زندگی بود. ارسطو حقایق بی‌شماری درباره شکل زمین داشت و بعضی از آنها حداقل بر مبنای نوشته‌های علمی قرون وسطایی به حقیقت نزدیک بوده‌اند. به هر حال فلاسفه یونان در راه حل معمای جهان کوشیدند و طی مسافرتهای دوردست، تصویر صحیحی از شکل کره زمین یافتند.

ایده زمین گروی شکل همچنین خطرات خود را نیز به همراه داشت. کره یک مرکز دارد و آن کلاً "متوجه مرکز تمامی جهان (فضا)" است. در قرون وسطی تصویری از زمین که توسط کره‌های متحدالمرکز دربر گرفته شده و خورشید، ماه و سایر سیارات به دور آن می‌چرخند، توسعه یافته بود. این تصویر، خودبینی بشر را در مورد حقایق نجومی باطل می‌ساخت به طوری که داستان اصلاح و رد آن فم انگیز احساس می‌شود، خصوصاً "به وسیله کسانی که به خاطر طرفداری از عقیده کوپرنیک که بر اساس آن زمین به دور خورشید می‌چرخید، مورد شکنجه قرون وسطایی قرار گرفته‌اند. پارمیدس آشاکرد فیثاغورث در حدود شش قرن قبل از میلاد نظریه مسطح بودن زمین را رد کرد و اعلام داشت که زمین گروی شکل است.



شکل شماره ۱: به علت انحنای سطح زمین، خط تراز نقشه‌برداری از سطح زمین فاصله ثابتی ندارد.

- ۱- اختلاف زمان، طلوع و غروب آفتاب و ظهر نقاط مختلف در ارساط با حرکت وضعی، ناشی از گرویت زمین است.
- ۱- تصویر نامی سیارات منظومه شمسی و سایر ستارگان را در آسمان به صورت دایره می‌بینیم و دایره نیز تصویر یک کره است، لذا دلیلی وجود ندارد که زمین نیز به عنوان یک سیاره همانند آنها گروی شکل نباشد.
- ۱۲- تغییر وسعت افق دید بر حسب تغییر ارتفاع نتیجه گرویت زمین است زیرا با افزایش ارتفاع از سطح دریا بر وسعت دید ناظر افزوده می‌شود.
- ۱۳- تغییر منظره ستارگان آسمان با تغییر افق از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر نتیجه گرویت زمین است.
- ۱۴- اگر از هر نقطه کره‌ای در یک جهت به خط مستقیم حرکت بکنیم پس از طی محیط آن دوباره به نقطه اول برمی‌گردیم. سفر تاریخی مازلان در سال ۱۳۵۲ میلادی این مسئله را ثابت کرد.

سابقه تاریخی اندازه‌گیری ابعاد زمین: روش اراتوستنس^۳

اگرچه از بین یونانیان باستان، فیثاغورث (۵۴۰ قبل از میلاد) و پیروان ارسطو (۳۲۲ تا ۳۸۴) برای باور بودند که زمین باید گروی شکل باشد و محاسباتی جهت تعیین محیط آن انجام داده‌اند، اما تا زمان اراتوستنس (۲۳۰ قبل از میلاد) یونانی و کتابدار شهر اسکندریه محاسبات دقیقی انجام نشده است. اراتوستنس در حدود ۳ قرن قبل از میلاد روشی به کار برد که بر پایه اصول منطقی نجومی و هندسی استوار و از نظر جزئیات قابل ترسیم بود، وی متوجه شد - شاید کسی به او گفته باشد - که در اول تیرماه اشمه خورشید به هنگام ظهر مستقیماً به ته چاه قائمی که در شهر سین^۴ (آسوان مصر) در مجاورت مدار رأس السرطان قرار داشت می‌تابد به عبارتی دیگر زاویه تابش آفتاب در این لحظه قائمه بوده است. در حالی که در این هنگام زاویه تابش آفتاب در شهر اسکندریه حدود ۷ درجه و ۱۲ دقیقه از قائم محل انحراف داشته است که در واقع اختلاف عرض جغرافیایی دو شهر مذکور است. با توجه به فاصله بسیار دور زمین از خورشید و موازی بودن اشمه‌های خورشید، اراتوستنس محاسبه نمود که فاصله این دو شهر معادل $\frac{1}{50}$ محیط کره زمین است $(\frac{7}{360} \times \frac{1}{50})$.

شناخت شکل حقیقی زمین دارای مراحل متعددی بوده است. نخستین مرحله، اثبات گرویت آن در برابر تصور زمین مسطح است. بومی برخلاف تصور بسیاری از گذشتگان زمین به جای اینکه مسطح باشد، گروی شکل است. مرحله بعدی اینکه زمین کره کامل نیست و تقریباً "گلابی شکل آ" می‌باشد. گروی بودن شکل زمین یکی از حقایق محیط فیزیکی ما است - طوری که از دانش‌آموزان مدارس ابتدایی تا مردم عامی تا حدی توانایی فرض گرویت آن را دارند. برای اثبات گرویت زمین می‌توان از دلایل زیر استفاده نمود.

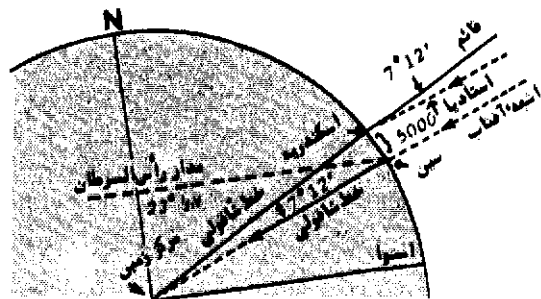
- ۱- اجسام چند پرور هرمان با هواپیما یا سرمتهای مساوی از مسیر دایره عمظیمه کره زمین در جهات مختلف نشان خواهد داد که فواصل آنها از یکدیگر و از سطح زمین مساوی است. چنین حالتی تنها برای یک کره با مقطع آن دایره، صدق می‌کند.
- ۲- محور با ظهور تدریجی بدنه و سایر قسمت‌های گشتی در سواحل دریا نشانی از گرویت سطح آنها و در نتیجه سطح کلی زمین است.
- ۳- حاشیه سایه زمین به هنگام خسوف در کره ماه به صورت قوسی از دایره دیده می‌شود. از نظر هندسی کره تنها شکلی است که بر روی کره‌ای دیگر سایه دایره‌ای شکل دارد.
- ۴- عکسهای ماهواره‌ای و ارتفاع بالا، افق زمین را به صورت خط قوسی نشان می‌دهد. فضاوردان سیزار فاصله دور زمین را گروی دیده‌اند.

- ۵- گاکارین اولین مضاورد روسی از سفینه وستک^۵ یک اعلام داشته که "برای اولین بار با چشم‌انگ گرویت زمین را مشاهده کردم".
- ۵- تغییر زاویه دید ستاره قطبی بر حسب تغییر عرض جغرافیایی نشانی از گرویت زمین است. این ستاره در استوا در افق و در قطبها در بالای سر ناظر (۹۰ درجه) دیده می‌شود و به ازای هر درجه حدود ۶۹ مایل تغییر قوس می‌دهد.
- ۶- تغییر فاصله خط تراز نقشه‌برداری از سطح افق زمین بر حسب افزایش فاصله از ایستگاه نقشه‌برداری که به علت تغییر قوس افق زمین است.
- ۷- مساوی بودن تقریبی وزن اجسام در تمامی نقاط کره زمین نشان‌دهنده تساوی فاصله این نقاط از مرکز زمین است (شعاع کره)، هر چند که اختلاف وزن حقیقی اجسام ناشی از تغییر شعاع و کامل نبودن شکل گروی زمین است.
- ۸- روشهای جدید در باوردی بر آسمان گرویت زمین است (مانند راه دایره‌های بزرگ، جهات یابی و سیستم تناوب) و به مدتی بیش از یک قرن موقعیت کشتیها بر این اساس تعیین می‌شود و در عمل هم اشتباهی رخ نداده است.

۹- وجود شب و روز (دو نیمکره تاریک و روشن) از نظر فیزیکی نشان می‌دهد که با یک منبع نورانی نمی‌توان بیش از نیمی از کره را روشن کرد.

جدید مقیاس طولها ، معادلی ندارد لذا دقت کار آنها قابل ارزیابی و کنترل دقیق نمی باشد .

روش اراتوستنس باردیگر توسط پوزیدونیوس^۷ یونانی که ستاره روشن گانابوس^۸ را به عنوان نقطه مبنا قرار داده بود به کار رفت . همچنین این روش در قرن ۱۷ میلادی توسط رابیهیدان آلمانی به نام ویلیبرود اسل^۹ مورد بازسازی قرار گرفت که هنوز یکی از بهترین روشها جهت یافتن شعاع زمین را ارائه می دهد .



شکل شماره ۲ : روش اراتوستنس برای اندازه گیری محیط کره زمین

پوزیدونیوس مشاهده کرد که پاره ای از ستارگانی که در افق شهر اسکندریه دیده می شوند در افق شهر رودس^{۱۰} از نظر ناپدید می گردند . این موضوع وی را بر آن داشت تا زاویه ارتفاعی بعضی از ستارگان آسمان اسکندریه را محاسبه و آن را با زاویه ارتفاعی ستارگان آسمان رودس مقایسه نماید . اختلاف زاویه آنها معادل $\frac{1}{8}$ محیط دایره و با فرض اینکه فاصله دوشهر حدود ۸۰۰ کیلومتر بوده ، محیط کره زمین را ۳۸۰۴۰۰ کیلومتر محاسبه کرده است . نتایج حاصله از این آزمایش را بطلمیوس به کار گرفت و براساس آن نقشه هایی تهیه نمود که مدتهای مدید مورد استفاده سیاحان قرار گرفته است . بالاخره کریستف کلمب نیز اظهار داشته که ، زمین مطابق آنچه که گفته می شود گرد نیست بلکه گلابی شکل است . هرچند او فکری کرد که ایده وی از زمین صرفاً یک پیشگویی قوی بوده است .

روشهای اندازه گیری ابعاد زمین

برای اندازه گیری ابعاد زمین جهت شناخت شکل حقیقی آن روشهای فیزیکی ، هندسی و نجومی متعددی وجود دارد ، از جمله :

- ۱- تعیین شعاع زمین از طریق ثقلسنجی (گراویمتری^{۱۱}) با توجه به رفتار حرکت آونگ .

- ۲- روش هندسی اندازه گیری طول قوس یک درجه از نصف النهار در عرضهای مختلف جغرافیایی .

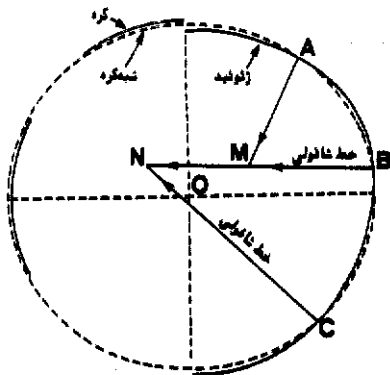
- ۳- اندازه گیری تغییر مدار ماهواره ها به هنگام گردش به دور زمین ، علاوه بر اینها ، روشهای دیگری نیز وجود دارد . یکی روش اندازه گیری بی نظمیهای معین کوچک در حرکت ماه به دور زمین و دیگری اندازه گیری حرکت تقدیمی محور زمین در ارتباط با سایر ستارگان است که بهین شدگی شکل زمین این دو عامل را نیز تحت تأثیر خود قرار می دهد . روشهای فوق همدتا^{۱۲} برای سنجش میزان ندردگی یا بهین شدگی کره زمین با درجه خروج از کرویبت آن استفاده می شوند و در نتیجه ضروری است که واژه " بهین شدگی^{۱۲} " تعریف شود .

زمین به صورت یک کره فشرده

با گذشت زمان و تقویت تفکر علمی در بین مردم ، نظریاتی که بعدها درباره شکل زمین ارائه می شود به آسانی مورد قبول قرار

اما یک مسئله باقی می ماند و آن اینکه فاصله طولی این دو شهر به خط مستقیم چندراست ؟ تا این فاصله در عدد ۵ ضرب شود و محیط کره زمین به دست آید . وی می دانست که کاروان شتر معمولاً به طور متوسط در هر روز حدود ۱۰۰ استادیا^{۱۳} را طی و در عرض ۵۰ روز از اسکندریه به شهر سین می رسیدند و از این طریق توانست محیط کره زمین را با استناد با محاسبه نماید ($۱۰۰ \times ۵۰ = ۵۰۰۰ \times ۵ = ۲۵۰۰۰$) اگر هر استادیا را ۱۸۵ متر فرض نمائیم ، محیط کره زمین در این محاسبه ۴۶۰۲۵۰ کیلومتر خواهد بود که در دید کلی خیلی به مقدار حقیقی فعلی آن (۴۰۰۰۰۰ KM) نزدیک است . بدین جهت اوسزوار هر ستایشی برای انجام کار دقیق خود است . اصل او صحیح بود و اجرای آن کاملاً اقتصادی بود اگرچه در جزئیات اشتباهاتی داشت زیرا در آن محاسبه به علت اینکه شهر سین دقیقاً بر روی مدار رأس السرطان قرار نداشته ، تابش آفتاب عمودی نبوده و سرعت متوسط روزانه شتر نیز نمی تواند به عنوان وسیله اندازه گیری نجومی مورد تأیید قرار گیرد .

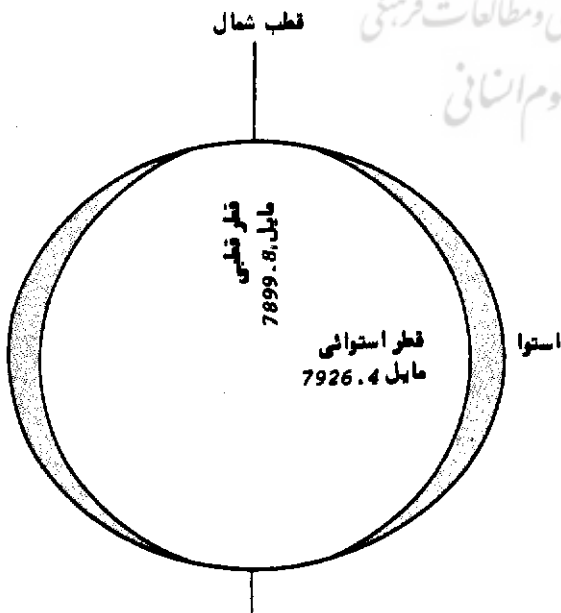
از تجربه کلاسیکی اراتوستنس می توان طرح ساده ای برای روش نجومی اندازه گیری شکل حقیقی زمین به دست آورد . تنها لازم است که خطی شمالی - جنوبی به طول حداقل حدود ۷۰ مایل انتخاب شود تا قوس یک درجه ای ایجاد کند و طول این خط در سطح مسطح مستقیماً به وسیله ابزار مساحی قابل اندازه گیری باشد . در دو انتهای این خط می توان ارتفاع هر ستاره ای را در بلندترین نقطه آن در بالای افق یا نسبت به قائم محل اندازه گرفت . برای اندازه گیری می توان از تراز حسابدار یا تراز شاقولی به عنوان وسیله ای برای تعیین افق و قائم مبنا^{۱۴} (محل) استفاده کرد . اختلاف زاویه ای بین موقعیت ستاره معادل قوس زمین بین دو نقطه انتهایی این خط خواهد بود . این روش در قرن نهم میلادی توسط امراب انجام گرفته و اندازه گیری آنها احتمالاً خیلی دقیق تر از اندازه گیری اراتوستنس بوده است ولی از آنجا که واحدهای اندازه گیری آنها در سیستم



شکل شماره ۴: ژئوئید برخلاف یک شبه کره کاملاً متقارن، شکلی بی‌قاعده دارد. خط شاقولی از دو نقطه A و B یکدیگر را در نقطه N قطع می‌کنند که خیلی از شعاع زمین کوچکترند. برعکس خط شاقولی از دو نقطه B و C یکدیگر را در نقطه N قطع می‌کنند که خیلی از شعاع زمین بزرگتر است. (مطابق با نظر هیسکانن W.A. Heiskanen)

حل این مسئله و توضیح علمی آن در دست شخصی به نام اسحاق نیوتون بود. وی در سال ۱۶۸۷ در یکی از دقیق‌ترین تجزیه و تحلیل‌های مکانیکی خود بدون آن‌که نیازی به مشاهدات عملی در خط استوا یا در سایر نقاط کره زمین باشد، در کتاب معروف خود به نام "اصول ۱۴" از نظر تئوری شکل زمین را توجیه کرده است. او، فرض یک کانال آب بود که از قطب شمال به سوی مرکز زمین و از آنجا به استوا جریان می‌یافت، شکل شماره ۶. از آنجا که اقیانوسها هیچگونه اثری از جریان تند از استوا به قطبها و برعکس نشان نمی‌دهند، دو باروی کانال نیوتون در مرکز زمین یکدیگر را خنثی

شکل شماره ۵: مقطع زمین و اختلاف شعاع استوائی و قطبی.

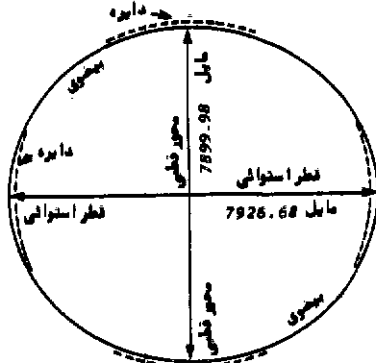


می‌گیرد. یکی از این نظریات جدید، مفهوم "پهن‌شدگی" شکل کره زمین است. برخلاف بسیاری از واژه‌ها که مفهوم علمی محض دارند، پهن‌شدگی مطابق آنچه که برای بررسی شکل زمین به کار می‌رود عملاً "مقداری برای بیان برآمدگی استوا و فرورفتگی قطبین زمین است. از نظر ریاضی، پهن‌شدگی زمین به صورت اختلاف بین قطر استوائی و قطبی، تقسیم بر قطر استوائی $\alpha = \frac{a-b}{a}$ تعریف می‌گردد. اگر این ضریب را $\frac{1}{298}$ فرض کنیم همیشه به صورت یک قسمت در ۲۹۸ قسمت بیان می‌گردد. این نسبت (۰/۳۳ درصد) در دایره صفر و در بیضی به سوی یک میل می‌نماید و هر قدر بیضی کشیده‌تر باشد افزایش می‌یابد. مقطع قطبی این شبه‌کره، بیضی شکل است و تنها در استوا با بزرگترین قطر خود به صورت دایره باقی می‌ماند، شکل‌های شماره ۴۰۳ و ۵.

روش ثقل سنجی (گراویمتری):

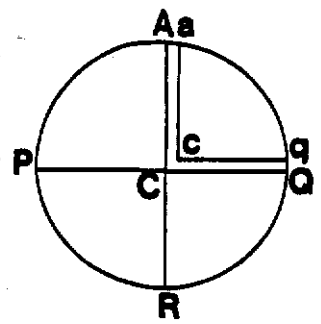
این روش بر پایه اندازه‌گیری میزان نیروی ثقل زمین در نقاط مختلف و مقایسه آن با نقاط مینا استوار است و تحت تأثیر سه عامل یعنی شعاع زمین، چگالی مواد سازنده و ساختمان زمین‌شناسی هر نقطه قرار می‌گیرد. نخستین آثاری که طی آن می‌بایستی زمین در قطبین مسطح باشد در سال ۱۶۷۲ از مطالعات هیئت آزمای فرانسه به گویان فرانسه به دست می‌آید. این گروه دریافته‌اند که ساعت باندولی که در پاریس زمان دقیق را به ناسبه نشان می‌داد در شهر کابنی ۱۴ در نزدیکی استوا به عرض ۵ درجه در هر روز ۲/۱۵ دقیقه تأخیر داشت. در آن زمان کسی دقیقاً نمی‌توانست علت این مسئله را توضیح دهد. تنها دلیل آن کاهش میزان نیروی جاذبه در استوا می‌باشد زیرا شعاع استوائی از شعاع شهر پاریس بیشتر بوده و این امر برآمدگی استوا و فرورفتگی قطبها را تأیید می‌کند. پهن‌سازی زمین نتیجه تغییر نیروی گریز و جذب به مرکز حاصل از چرخش زمین است که زمین پلاستیکی شکل‌پذیر را با گذشت زمان به تعادل خود رسانیده است.

شکل شماره ۳: مقطع زمین در امتداد محور قطبی قدری به بیضی شباهت دارد. ابعاد مربوط به بیضوی مقایسه بین‌المللی هایفورد است (۱۹۰۹).



شکل شماره ۶: روش

محاسبه نیوتون برای درجه پهن ساری زمین در کتاب اصول سال ۱۶۸۷. فرض یک کانال آب با دو بازوی AC و CD که به علت تقلیل نیروی جاذبه در استوا به وسیله نیروی گریزاز مرکز، بازوی CD قدری بزرگتر از AC است.



می‌کند. تأثیر نیروی گریزاز مرکز حاصله از حرکت چرخشی زمین تلاش می‌کند که اندازه نیروی جاذبه را در استوا به مقدار ناچیزی تقلیل دهد (نیروی گریزاز مرکز با سرعت وضعی متناسب است) و لازمه آن افزایش میزان نیروی جاذبه در قطبها و در نهایت تعادل کلی آن دو نیرو در سطح زمین است.

نیوتون پس از محاسبات خود به این نتیجه رسید که شعاع استوائی زمین حدود $\frac{1}{230}$ (یک قسمت در ۲۳۰ قسمت) طولانی‌تر از شعاع قطبی آن است. این مقدار در حقیقت ۳۰٪ بیشتر از مقدار واقعی فعلی آن می‌باشد، برای اینکه نیوتون - همان طوری که خودش اعتراف داشته - به افزایش چگالی زمین در درون آن دسترسی نداشته است. با این وجود برای مدتی بیش از یک قرن نتیجه روش و محاسبات وی یکی از بهترین و اساسی‌ترین میزان درجه پهن ساری زمین باقی ماند. پس از آن که میزان نفوذی درجه پهن ساری زمین توسط نیوتون محاسبه شد، بسیاری از مردم با اندازه‌گیریهای واقعی در تأیید صحت و یا احتمالاً در رد آن دلواپس بودند. در توجیه فیزیکی نیوتون از فشردگی زمین، آنچه که اهمیت دارد این است که توجیه وی برای یافته‌های جدید حاصله از ماهواره‌های ژئودزی که زمین را "گلابی شکل" نشان داده‌اند چه جوابی دارد؟ آیا صرفاً از طریق سرعت چرخشی و ارتباط دو نیروی گریزاز و جذب می‌تواند جوابگو باشد؟ علم ژئودزی (تقسیم زمین) که هدفش شناخت ابعاد و شکل کره زمین است، به موازات تعیین دقیق نیروی ثقل نقاط، از روشهای مساحی بسیار دقیق نیز برای این منظور استفاده می‌کند.

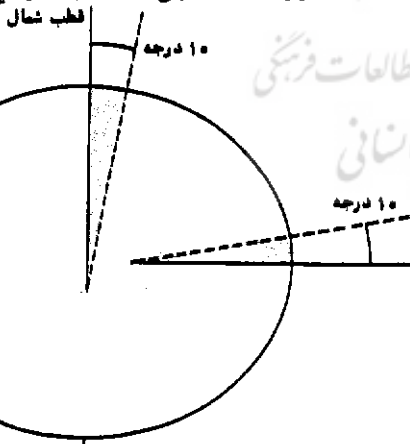
اندازه‌گیری طول قوس یک درجه از نصف النهار:

روش مناسب دیگری که می‌تواند ضمایم ارزش محاسبات نیوتون را نیز بسنجد، اندازه‌گیری طول قوس یک درجه از نصف النهار در نقاط مختلف کره زمین است. اگر زمین مسطح باشد می‌بایستی طول قوس یک درجه از نصف النهار آن در قطبها (۶۹/۴ مایل) قدری از طول آن در استوا (۶۸/۷) بیشتر باشد. در قرن ۱۸ فرانسویان به این نوع اندازه‌گیری مشتاق بودند

ولی متأسفانه نخستین اقداماتی که توسط اعضای خانواده مشهور منجم کاسینی در نواحی شمالی و جنوبی فرانسه انجام شده به اندازه کافی دقیق نبوده است. در سال ۱۷۲۰ جاکوس کاسینی ۱۵ درجه پهن ساری زمین را منهای یک قسمت در ۹۵ قسمت برآورد کرده است و بدین جهت بر اساس اندازه‌گیریهای آنها، کره زمین به جای اینکه مسطح باشد، شبیه به لیمو یا تخم مرغ طول گزارش شده است.

نتایج حاصله از اندازه‌گیریهای فوق، بحثهای جدال‌انگیز خوبی برانگیخت. برای فرو نشاندن این مباحثات، آکادمی علوم فرانسه دو هیئت نجومی در سال ۱۷۳۰ به دو ناحیه اعزام کرده است. یکی برای ناحیه لاپلند^{۱۶} (ناحیه قطبی) و دیگری برای کشور پرو. گروه اول پس از ۱۸ ماه کار و تحقیق سرانجام در سال ۱۷۳۷ با همراهی ریاضیدان معروفی به فرانسه بازگشتند و نتیجه اندازه‌گیریها ثابت کرد که زمین در قطبین مسطح است و درجه پهن ساری زمین را یک قسمت در ۱۷۸ قسمت ($\frac{1}{178}$) اعلام کردند که حدود ۶۰٪ بیشتر از رقم فعلی است و بدین طریق دقت کار آنها کمتر از کار نیوتون بوده است. گروه دوم به علت وجود مشکلات طبیعی و اختلافات شدید بین اعضاء جای کار گروهی بیشتر انفرادی کار کرده‌اند و محاسبات آنها از درجه پهن ساری زمین از $\frac{1}{179}$ تا $\frac{1}{176}$ در تغییر بوده است. (شکل شماره ۷).

اندازه‌گیری درجه پهن ساری زمین با این شیوه بین سالهای ۱۷۵۰ تا ۱۹۵۰ با دقت تدریجی ادامه یافت. در این میان کار الکساندر کلارک^{۱۷} ژئودزیست انگلیسی که در سال ۱۸۶۶ مقدار آن را $\frac{1}{295}$ و دیگری هابورد^{۱۸} امریکایی که در سال ۱۹۰۹ مقدار آن را $\frac{1}{297}$ به دست آورده‌اند به حقیقت فعلی نزدیکتر بوده‌اند. با ترکیب این روش با سایر روشهای مرسوم در اندازه‌گیری، هارولد جفریز^{۱۹} از دانشگاه کمبریج در سال ۱۹۲۸ به عدد $\frac{1}{297.3}$ دست یافته است. محاسبه او را می‌بایستی معتبرترین محاسبه فعلی از محاسبات ماهواره‌ای باشد، ولی همان طوری که وقایع نشان می‌دهند



شکل شماره ۷: اختلاف قوس ۱۰ درجه در استوا و قطب کره زمین.

جدول شماره ۱: طول قوس یک درجه از نصف النهار

عرض جغرافیائی درجه	طول یک درجه از نصف النهار به متر
۰	۱۱۰۰۵۷۶
۱۵	۱۱۰۰۶۵۰
۳۰	۱۱۰۰۸۵۵
۴۵	۱۱۱۰۱۳۵
۶۰	۱۱۱۰۲۱۷
۷۵	۱۱۱۰۶۲۲
۹۰	۱۱۱۰۷۰۰

جدول شماره ۲: انواع بیضی مقایسه و ضریب فشردگی آنها

نام بیضی مقایسه	سال	ضریب فشردگی = $\frac{a}{b}$
کلارک (انگلیسی)	۱۸۶۶	$\frac{1}{296}$
هاینورد (امریکائی - بین المللی)	۱۹۰۹	$\frac{1}{297}$
هارولد جفریز (امریکا)	۱۹۲۸	$\frac{1}{297 \frac{1}{2}}$
کراروسکی ۲۱ (شوروی)	۱۹۳۸	$\frac{1}{298 \frac{1}{3}}$
هیگگین ۲۲	۱۹۷۶	$\frac{1}{297}$
سرویس نقشه کشی ارتش امریکا	۱۹۵۶	$\frac{1}{297}$

یادداشتها

- 1- Parminidous.
- 2- Pear-Shaped.
- 3- Vostok.
- 4- Eratosthenes.
- 5- Syene.
- 6- Stadia.
- 7- Poseidonius.
- 8- Canopus.
- 9- Nillebrordsnell.
- 10- Rodas.
- 11- Gravimetry.
- 12- Ellipticity-(Flattening & Applatismnt).
- 13- Cayene.
- 14- Principia.
- 15- Jacques Cassini.
- 16- Lapland.
- 17- A. Clarke.
- 18- J.F. Hayford.
- 19- H. Jeffreys.
- 20- F.N. Krasousky.
- 21- W.A. Heiskanen.
- 22- Sputnik.

این مقدار صحیح ترین رقم واقعی نبوده است. مقدار کسر $\frac{1}{297}$ برابر با $\frac{1}{297}$ در صد است و در نتیجه شکل زمین به دایره خیلی نزدیک است.

روشن تغییر مدار ماهواره ها:

در اکتبر سال ۱۹۵۷ نخستین ماهواره اسپوتنیک ۲^۰ به فضا پرتاب شد. از این تاریخ به بعد، اقطار مصنوعی نزدیک به زمین وسیله جدیدی برای اندازه گیری و محاسبه پهن ساری زمین به دست داده اند. کلید این تکنیک، سنجش و مشاهده آشفتگیهای مدار ماهواره ها به هنگام گردش به دور زمین است. اگر زمین یک شکل کروی کامل و فاقد آتشفسر می بود، یک ماهواره می بایستی هر بار یک مدار معینی را دنبال می کرد. در این فرض اثرات ناچیز کشش خورشید و ماه بر روی مدار ماهواره ها نادیده گرفته شده است. چون شکل واقعی زمین اندکی از حالت کروی کامل انحراف دارد، کشش جاذبه ای آن بر حسب عرض جغرافیائی تغییر می کند و در نتیجه مدار ماهواره در حین گردش به دور زمین دچار تغییر و امواج می گردد. بزرگترین انحراف شکل زمین نسبت به کره کامل بیش از پیش به سطح بودن قطبها و برآمدگی استوائی بستگی دارد. اثر کشش جاذبه ای برآمدگیهای استوائی زمین مدار ماهواره را مجبور می سازد که در جهت خلاف حرکت آن به حول محور زمین بچرخد. اگر یک ناظری در اقصای فضا به ماهواره ای که به دور زمین می چرخد نگاه کند، خواهد دید که مدار ماهواره ای که به سوی شرق حرکت می کند، به تدریج به غرب تغییر جهت می دهد، هر قدر درجه پهن ساری زمین بیشتر باشد به سمت از آن انحراف جهت مدار ماهواره نیز بیشتر می شود و هنگامی که میزان تغییر خیلی سریع باشد - تا حد درجه در روز - می توان ارزش عددی آن را با تعدید حرکت ماهواره برای چندین هفته و یا حتی ماهها، به طور دقیق محاسبه کرد.

ردیابی مسیر ماهواره اسپوتنیک در سال ۱۹۵۸ برای اولین بار نشان داد که تغییر مدار ماهواره ها به سوی غرب حدود ۷۰٪ کمتر از آنچه که بر اساس ارزش قابل قبول درجه پهن ساری زمین محاسبه شده می باشد. همچنین پرتاب و ردیابی ماهواره های امریکائی (Explorer I و Vanguard) در سال ۱۹۵۸، درجه انحراف مدار ماهواره ها به سمت غرب را کمتر از حد انتظار نشان داده اند. نتایج مطالعات دانشمندان انگلیسی و امریکائی، درجه پهن ساری زمین به جای $\frac{1}{297}$ به عدد $\frac{1}{298}$ نزدیکتر ساخت. ارزش پهن ساری شناخته شده فعلی حدود $\frac{1}{298 \frac{1}{2}}$ است.

در این اکتشافات نقطه نظری علمی کوچکی وجود دارد و آن اینکه پهن ساری زمین کاملاً مطابق آنچه که تصور می شود، نیست. اگر کسی از سوی استوا به قطب و برعکس سفری داشته باشد حدود ۶۰۰ یارد کمتر از مسافت مورد انتظار طی خواهد کرد. بدین طریق با پرتاب ماهواره ها از سال ۱۹۵۸، مقدمه ای برای یک سری از آنالیزهای طولانی فراهم شد (مسئله هارمونیکها) و شکل ژئوئید (سطح متوسط آب دریاها و اقیانوسها) با جزییات قابل توجهی آشکار شد. ادامه دارد.