

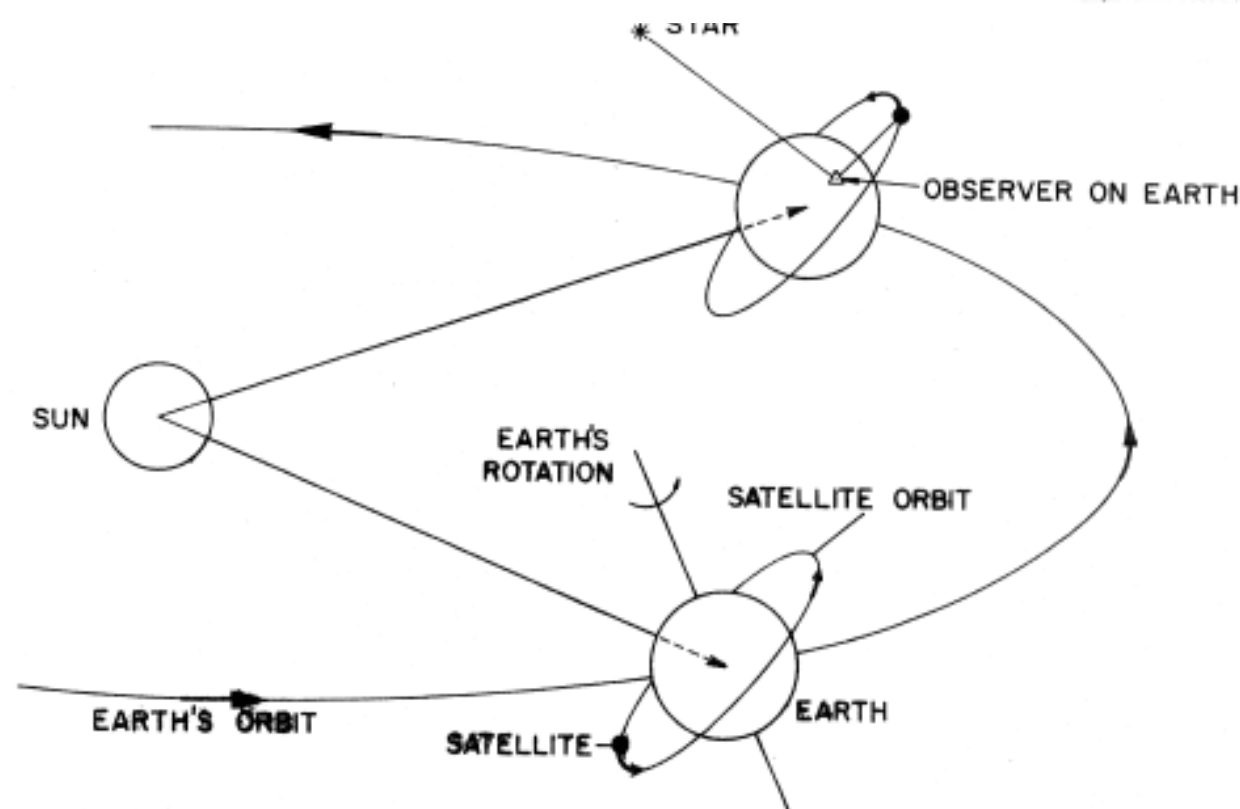
ژئودزی 1

ترم دوم 98-99

جزیرئیان

زمین و حرکات آن

از آنجائی که انواع مشاهدات زمین به فضا نظیر مشاهدات نجومی (اپتیکی و رادیویی) و مشاهدات ماه و ماهواره های مصنوعی رل عمده در ژنودزی دارند بنابراین لازم است که حرکت های مختلف زمین در میان اجرام سماوی دیگر را مورد مطالعه قرار دهیم.



TERRESTRIAL, CELESTIAL, AND ORBITAL COORDINATE SYSTEMS.

Figure 1-1.

تاکنون معلوم شده است که زمین انواع حرکت های زیر را به طور همزمان انجام می دهد .

الف - حرکت زمین به همراه کهکشان ما نسبت به سایر کهکشان ها

ب - دوران زمین به همراه منظومه شمسی در داخل کهکشان ما

ج - گردش زمین به همراه دیگر سیارات منظومه شمسی حول خورشید

د - دوران زمین حول محور دوران لحظه ای خود

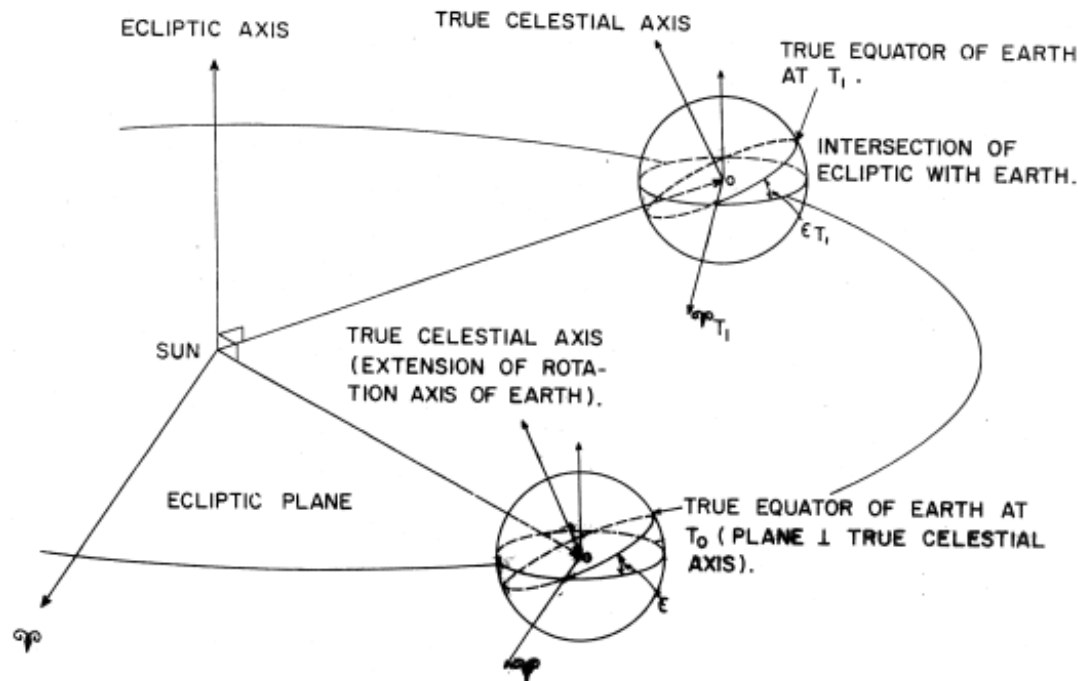
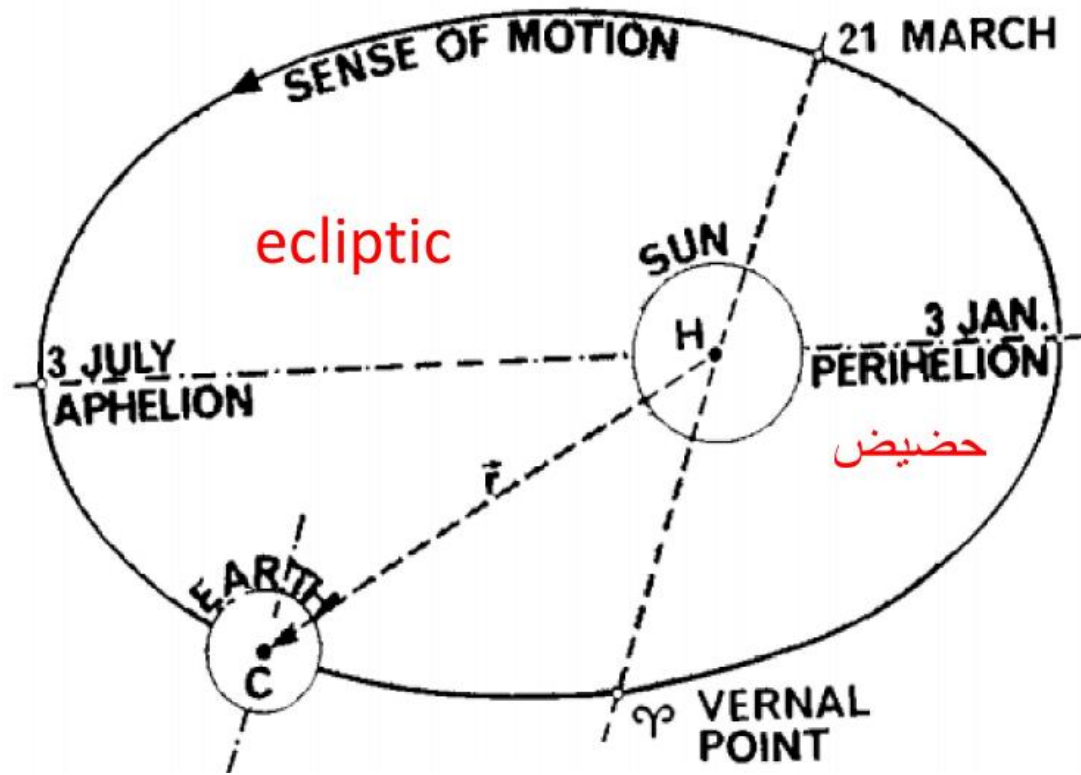


Figure 3-8. THE EFFECT OF PRECESSION AND NUTATION

نظر ما دو حرکت اخیر یعنی حرکت سالیانه (گردش زمین بدور خورشید) و حرکت روزانه (دوران زمین حول محور خودش) می باشند .

حرکت سالیانه زمین



- دورترین و نزدیکتر نقاط مسیر زمین به دور خورشید به ترتیب نقطه اوج (Apogee) و نقطه حضیض (Perigee) نامگذاری شده اند.
- صفحه مداری حرکت زمین به دور خورشید را صفحه اقلیتیک می گویند.
- زمین در روز سوم ژانویه (سیزدهم دی) به نقطه حضیض و در روز سوم جولای (دوازده تیر) به نقطه اوج می رسد.
- انقلاب تابستانی اوج ارتفاع خورشید در یکی از نیمکره های عرضی (شمالی یا جنوبی) کره زمین و در نتیجه طولانی ترین روز سال در آنجاست.

حرکت روزانه (وضعی) زمین

- روز خورشیدی: عبور متوالی یک خورشید از نصف النهار یک محل را روز خورشیدی می گویند. یا به عبارتی دوران زمین به دور خودش نسبت به خورشید
- یک سال خورشیدی معادل ۳۶۶.۲۵۶۴ روز نجومی و ۳۶۵.۲۵۶۴ روز خورشیدی است.

- روز نجومی: عبور متوالی یک ستاره از نصف النهار یک محل را روز نجومی می گویند. یا به عبارتی دوران زمین به دور خودش نسبت به یک ستاره

حرکت سالیانه زمین

برای بیان حرکت سالیانه زمین و قوانین آن ابعاد زمین و سایر اجرام سماوی را در مقایسه با ابعاد منظومه شمسی بسیار کوچک (قابل صرفنظر کردن) تلقی می کنیم. با این فرض قوانین کپلر [KOVALEVSKY 1967] برای تفسیر این حرکت به صورت زیر می باشند.

الف - مسیر حرکت (مدار) هر سیاره بدور خورشید یک بیضی است که خورشید (H) در یکی از کانون های آن قرار دارد.

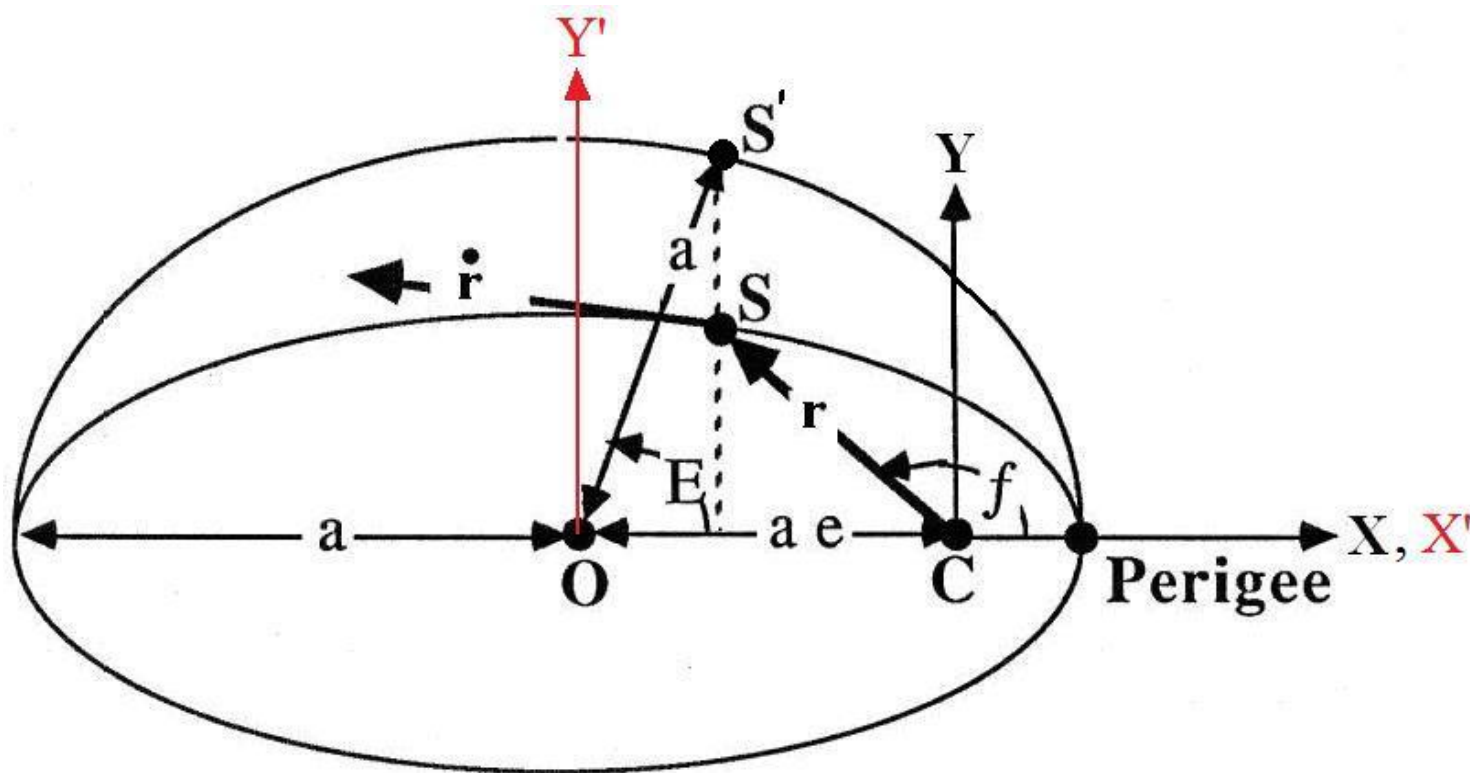
ب - هر سیاره در مسیر خود با سرعت سطحی ثابت حرکت می کند. منظور از سرعت سطحی ثابت یعنی مساحتی که بردار وضعیت سیاره ($\vec{r}$) در فاصله زمانی ثابت Δt جارو می کند در طول مسیر ثابت است.

ج - نسبت مجذور پریود حرکت (m) به مکعب نصف قطر اطول مسیر (a) برای تمام سیارات مقدار ثابتی است.

$$m^2 / a_0^3 = \text{const.} \quad (1 - 5)$$

قوانین کپلر

• قانون اول: مسیر حرکت زمین به دور خورشید یک بیضی است که خورشید در یکی از کانون های آن قرار دارد.



$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1$$

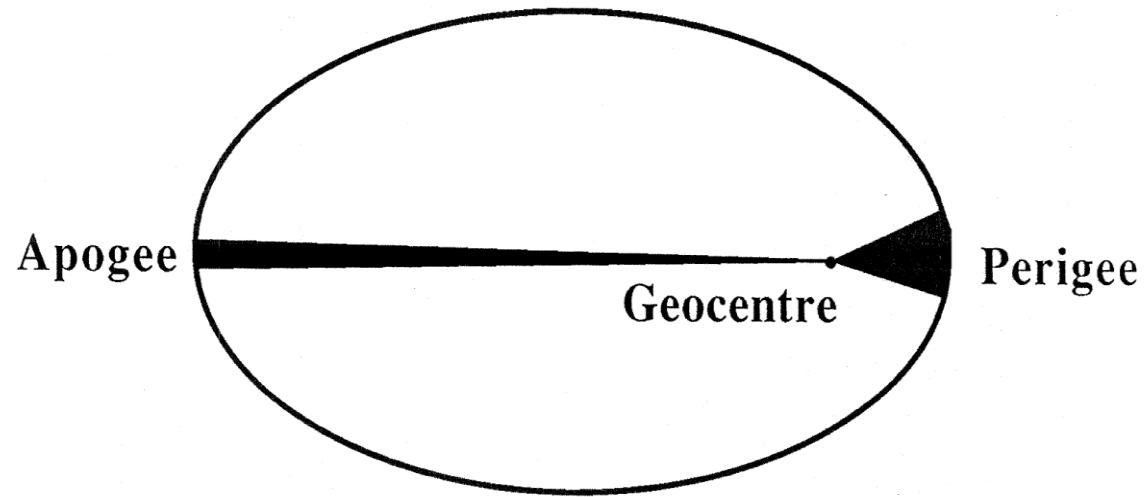
$$x' = ae + r \cos f$$

$$y' = r \sin f$$

$$b^2 = a^2(1 - e^2)$$

قوانین کپلر

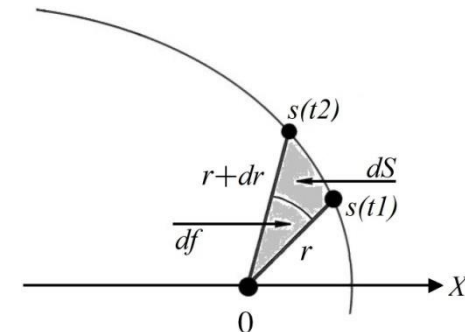
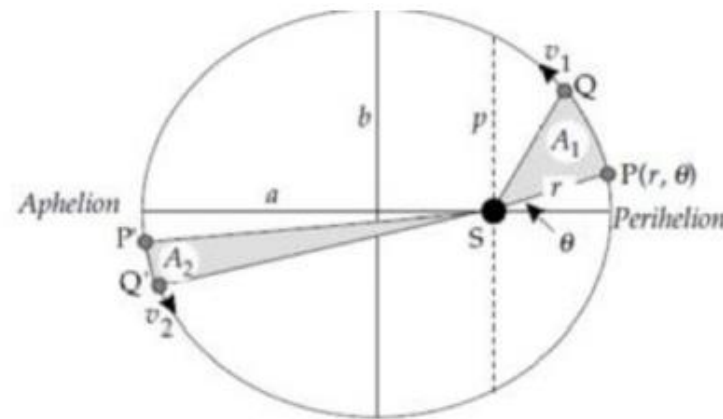
- قانون دوم: در طی حرکت زمین به دور خورشید، بردار موقعیت زمین در زمان های مساوی، مساحت های مساوی جاروب می کند.



$$dS \approx \frac{1}{2} r^2 df$$

$$r^2 df \approx c \cdot dt$$

$$r^2 \frac{df}{dt} = c$$



قوانین کپلر

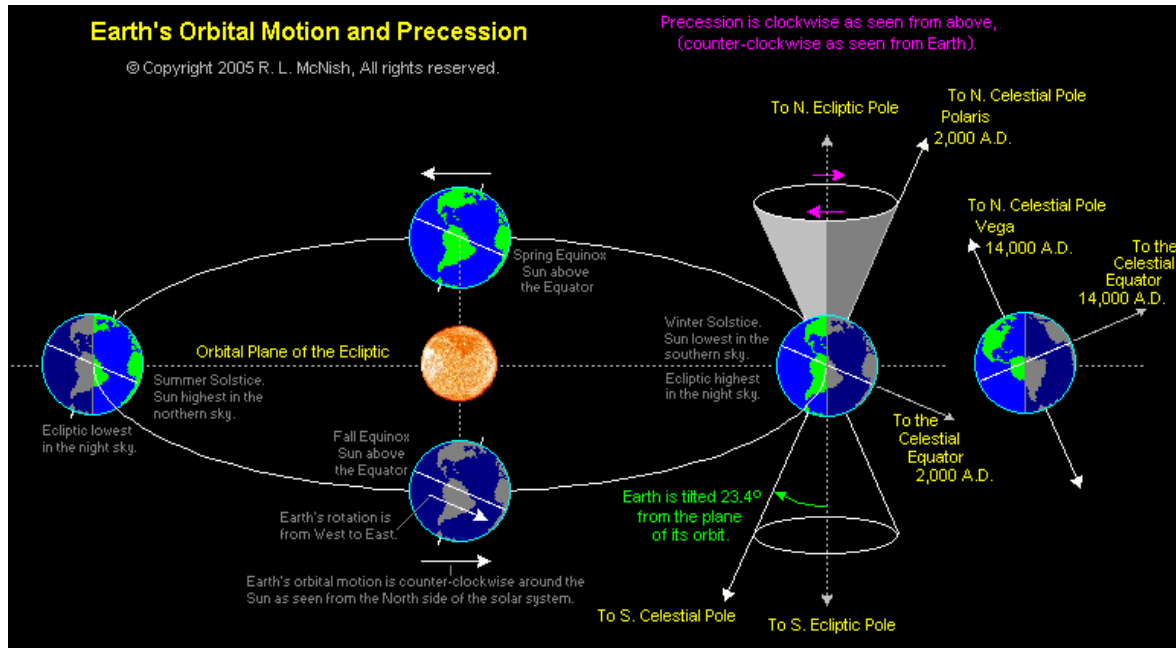
- قانون سوم: مکعب نیم قطر بزرگ مدار بیضی زمین متناسب با مربع دوره تناوب حرکت زمین به دور خورشید است.

$$a^3 \propto T^2$$

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{KM_s}{4\pi^2}$$

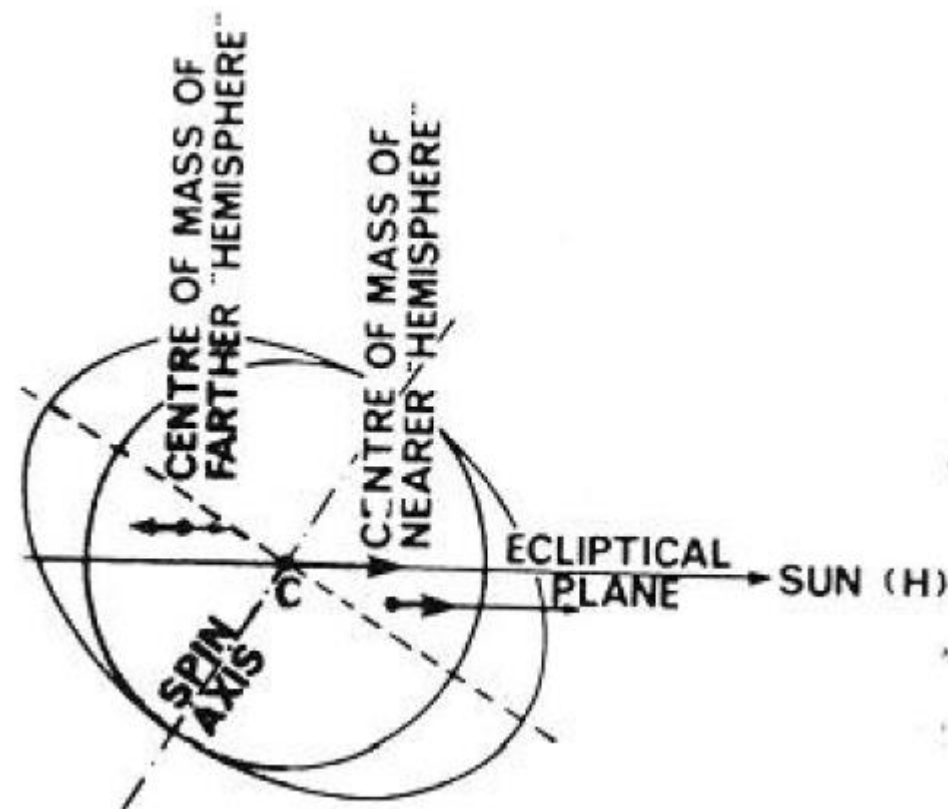
دوران زمین، پرسشن (Precession)، و نوتیشن (Nutation)

برای بیان حرکت دورانی زمین نمی توان ابعاد آن را نادیده گرفت. در اینجا به عنوان مدل دینامیکی زمین را به صورت یک جسم صلب در نظر می گیریم که حین گردش بدور خورشید حول محوری از خودش بدور خود می چرخد. در مکانیک چنین جسمی را ژیرسکوپ می نامند.



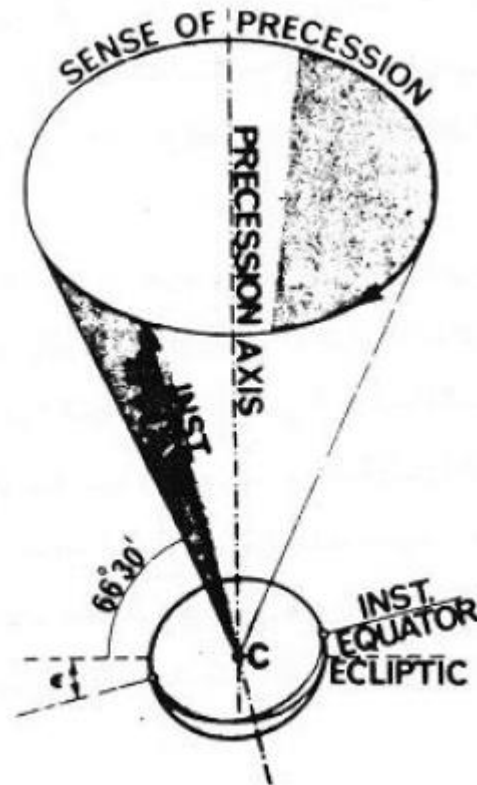
وقتی یک ژیرسکوپ تحت تأثیر یک ممان خارجی (جفت نیرو) قرار گیرد محور دوران آن در یک امتداد ثابت باقی نمانده بلکه یک مخروطی را که رأس آن در مرکز ثقل ژیرسکوپ قرار دارد طی می کند. این حرکت محور را رقص محوری (Precession) می نامند. در مورد ژیرسکوپ زمینی اجرای سماوی هستند که ممان خارجی را بر آن اعمال می کنند. قسمت عمده این ممان توسط خورشید بر زمین اعمال می گردد.

اگر مطابق شکل زمین را با خط عمود بر اکلیپتیک به دو نیمکره نزدیک و دور به خورشید تقسیم کنیم بدیهی است که نیمکره نزدیک با نیروی بیشتری نسبت به نیمکره دور از طرف خورشید جذب می گردند. تفاضل این دو نیرو از نیروی جاذبه وارد بر مرکز ثقل زمین ایجاد جفت نیرو می کنند که باعث رقص محوری زمین می گردد. ناگفته نماند که نیروی جاذبه وارد بر مرکز ثقل زمین باعث گردش زمین به دور خورشید می باشد.



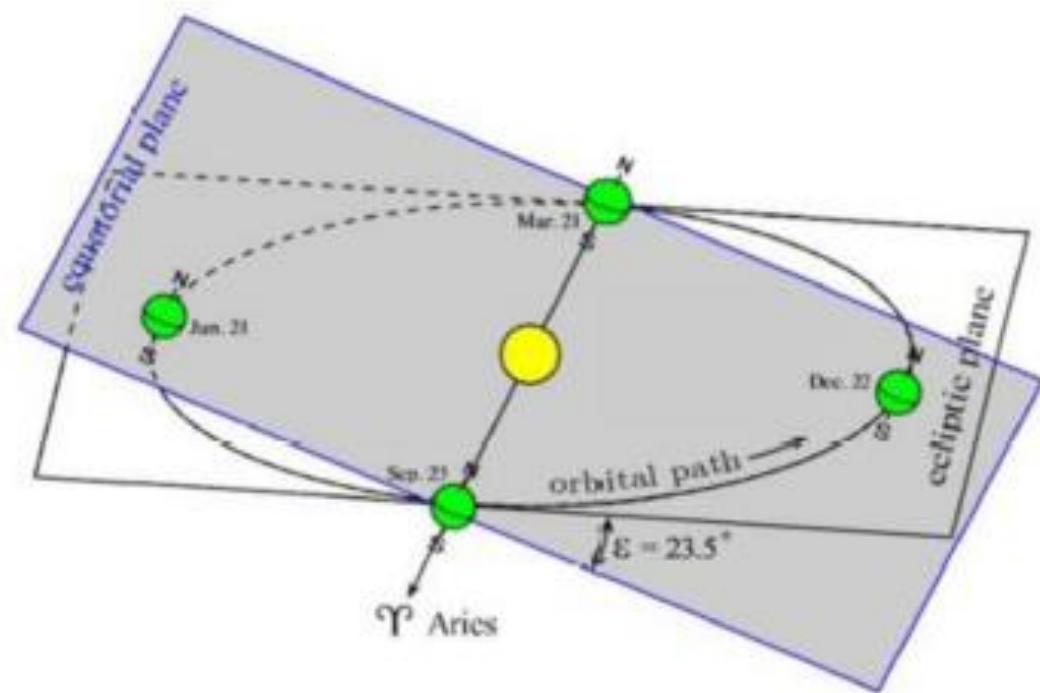
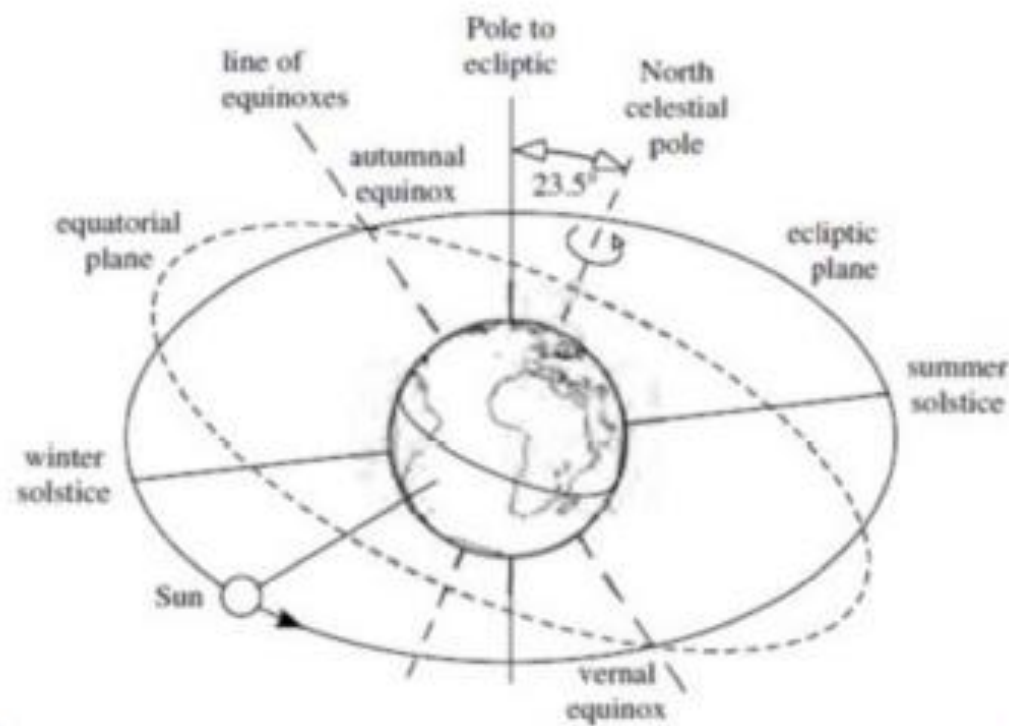
شکل ۲ - ۵ - ممان حاصل از خورشید

اگر مرکز ثقل ژیرسکوپ دارای حرکت انتقالی در یک صفحه باشد در این صورت محور حرکت پرسشن (محور مخروط پرسشن) عمود بر این صفحه خواهد بود. این حالت در مورد زمین نیز صادق است. قسمت اعظم ممان چرخشی وارد بر زمین از طرف خورشید و ماه می باشد. بنابراین جهت محور دوران زمین در فضا ثابت نبوده و به آرامی روی مخروط پرسشن عمود بر اکلیپتیک حرکت می کند (شکل ۳ - ۵).

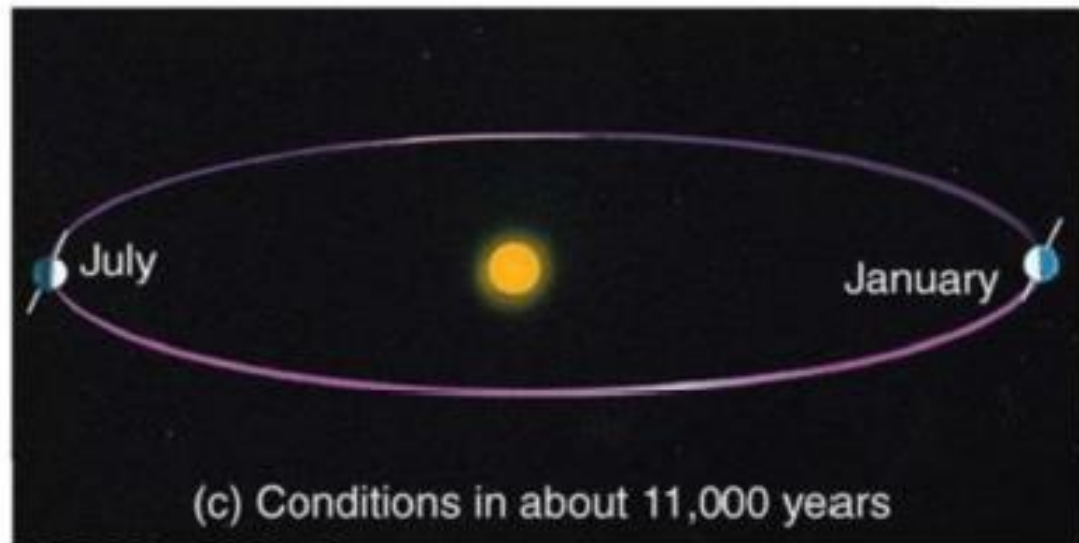
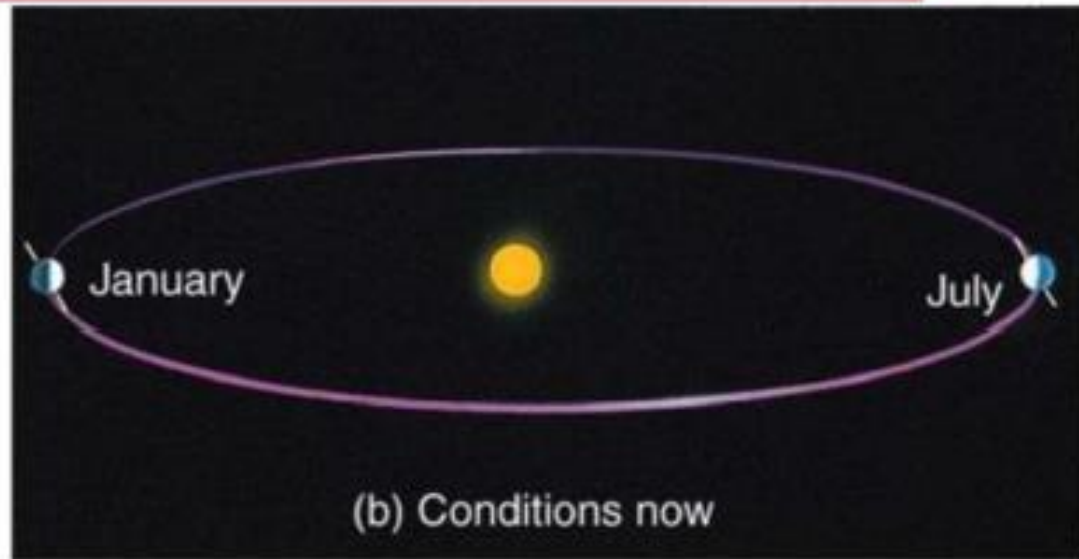
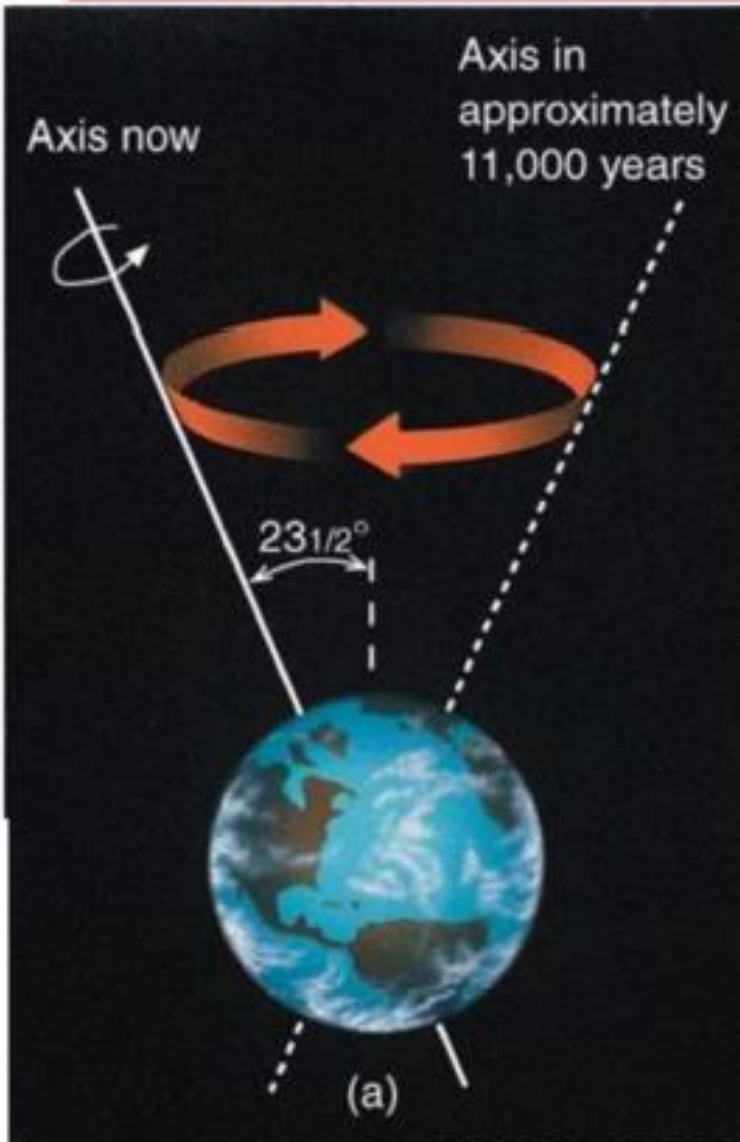


شکل ۳ - ۵ - مخروط پرسشن

محور دوران زمین مخروط پرخش را در مدت ۲۶۰۰۰ سال به نام سال پلتونیک (Platonic year) طی می کند .
 یعنی یک سال پلتونیک طول می کشد تا محور دوران زمین یک دور کامل مخروط پرخش را طی کند .
 میل محور دوران زمین نسبت به اقلیتیک تقریباً ثابت و برابر ۶۶.۵ درجه می باشد . بنابراین زاویه بین صفحه
 اقلیتیک و صفحه استوا حدود $\epsilon = 23.5^\circ$ می باشد .
 دو نقطه در مسیر گردش زمین به خورشید وجود دارند که وقتی زمین به آن نقاط می رسد طول شب و روز ، هر
 دو مساوی دوازده ساعت خورشیدی می گردد . تاریخ رسیدن زمین به این دو نقطه را equinoxes به معنی شب های
 مساوی می نامند . تاریخ رسیدن به این دو نقطه ای که یکی از آنها موقعی که بهار به نیمکره شمالی می آید میباشد

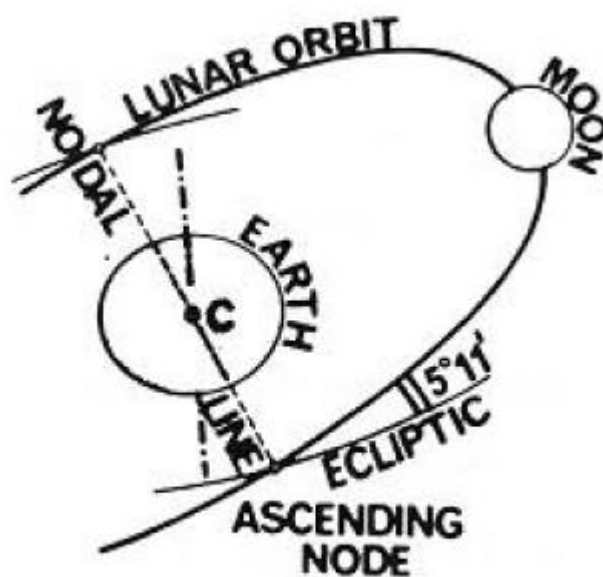


(Precession) پرسیشن



نوتیشن (Nutation)

حضور ماه به عنوان قمر طبیعی زمین حرکت های زمین را پیچیده تر می کند. نخستین واقعیت مهم این است که ماه در مسیری بدور زمین حرکت می کند که با ا کلیپتیک زاویه ای در حدود 11° و $5'$ می سازد [MUELLER, 1969]. فصل مشترک بین صفحه مسیر ماه به دور زمین با صفحه ا کلیپتیک به نام خط نودال (Nadal line) معروف است

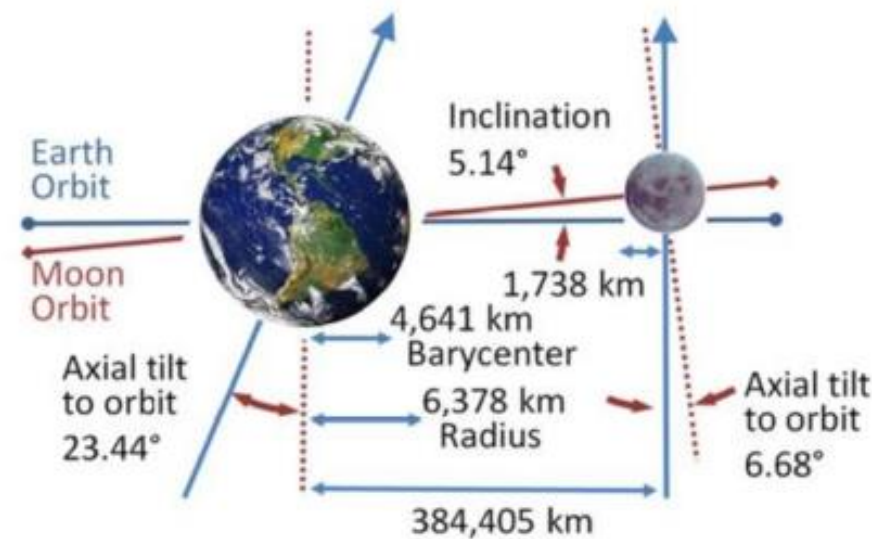


شکل ۴ - ۵ - مدار ماه

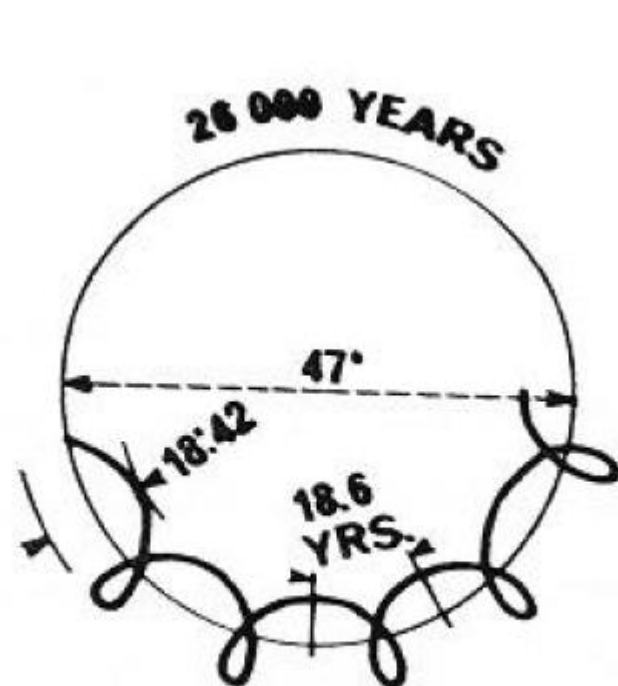
این خط هر ۱۸/۶ سال یکبار می چرخد. این حرکت ایجاد یک تغییر پرIODیک در ممان چرخشی وارد بر زمین می کند. بنابراین ماه علاوه بر مخروط ساختن مسیر حرکت زمین به دور خورشید باعث تغییرات کوچکی نیز در پرسشن می باشد. حرکت اضافی محور دوران زمین، علاوه بر پرسشن، را در اثر ماه نوتیشن Nutation می نامند. مخروط نوتیشن خیلی باریکتر از مخروط پرسشن می باشد. زاویه راس این مخروط فقط $۱۸/۴۲^{\circ}$ ثانیه، در مقایسه با ۴۷° درجه زاویه مخروط پرسشن، می باشد. همین طور نوتیشن خیلی سریعتر از پرسشن بوده یعنی یک دور کامل را در ۱۸/۶ سال، خیلی کمتر از ۲۶ هزار سال تکمیل می کند.

صفحه مدار ماه با صفحه اقلیتیک زاویه ای در حد ۵ درجه و ۱۱

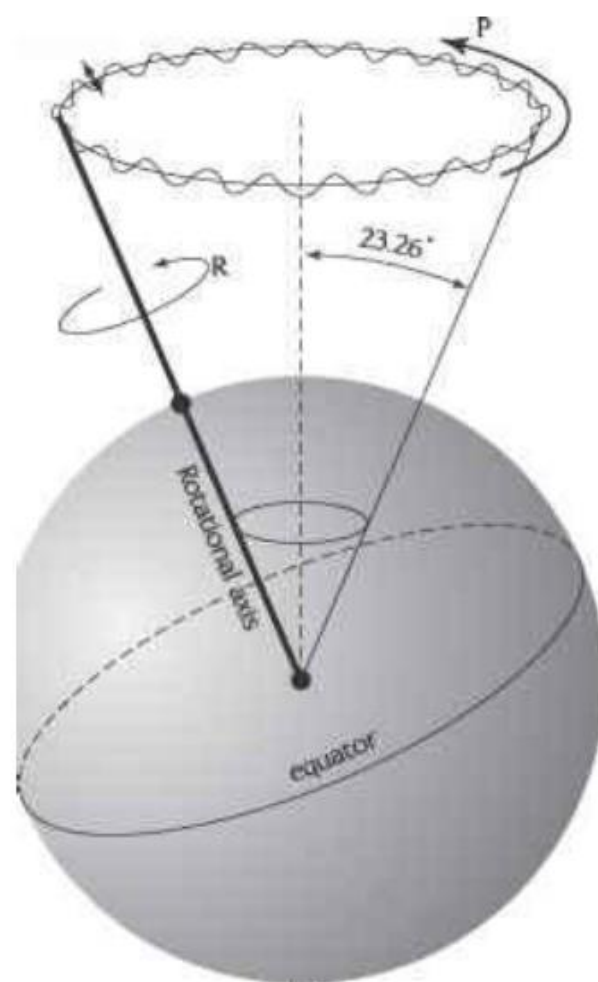
دقیقه دارد.



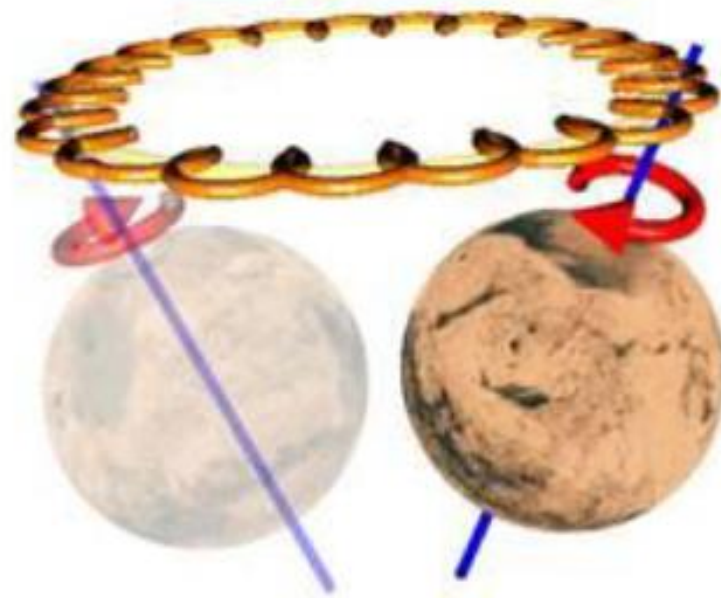
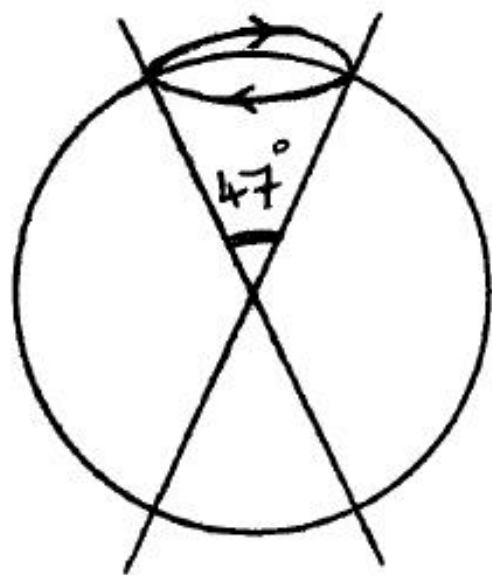
حرکت ترکیبی محور دوران زمین نسبت به اقلیتیک (پرشن و نوتیشن) در شکل ۵-۵ نشان داده شده است. بدیهی است که نوتیشن نیز موجب تغییر محل نقطه ورنال (۲) شده ولی این تغییر خیلی کوچک است.

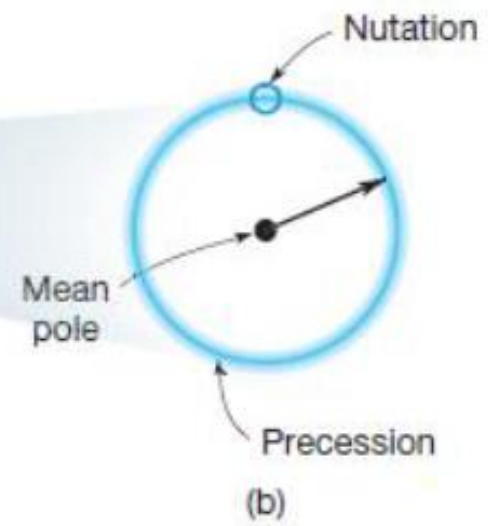
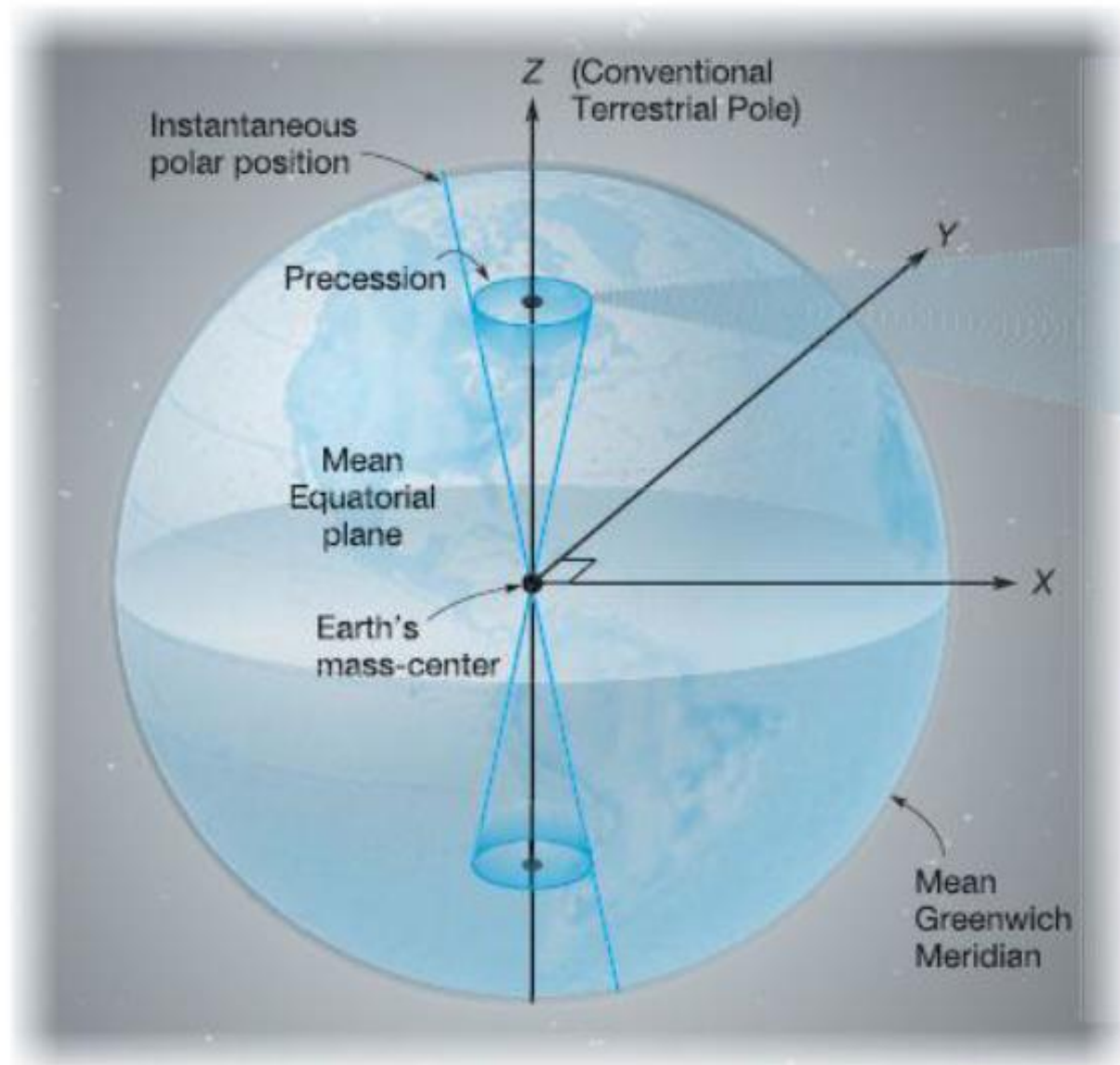


شکل ۵-۵ - پرشن و نوتیشن محور دوران زمین

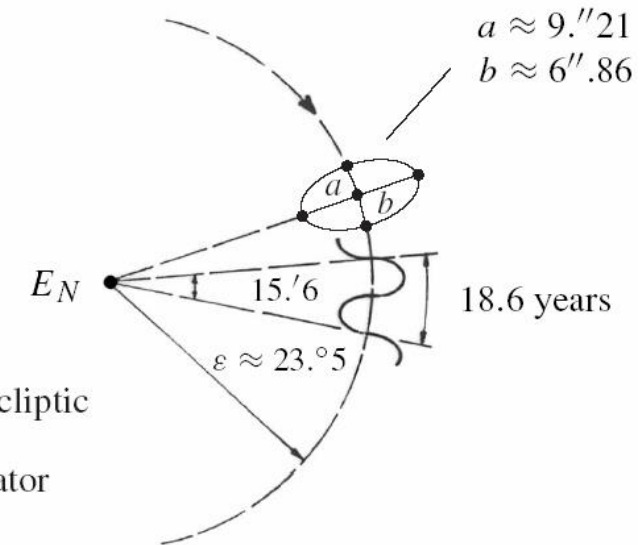
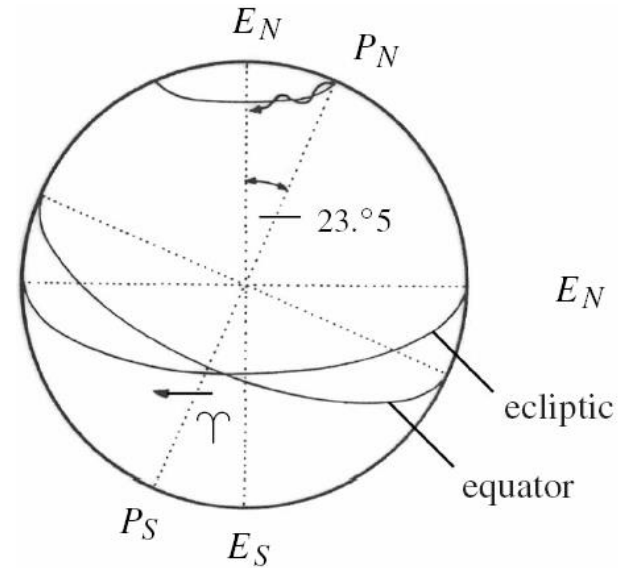
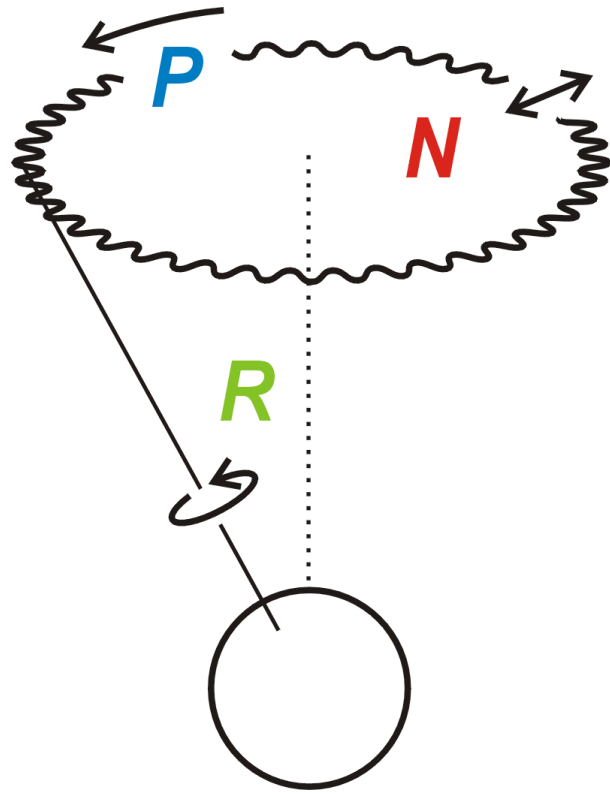


می باشد. در ترکیب حرکت محور زمین (حرکت ناشی از پرسش و نوئیشن ماه و خورشید) حرکت های پرودیک دیگری ناشی از موقعیت های پرودیک ماه - خورشید وجود دارند. در میان این حرکت ها حرکت های با پروده های $۱۸/۶$ و ۲۶ هزار سال فقط حرکت های عمده بوده و دارای بزرگترین دامنه های $۲۳/۵^\circ$ درجه و $۹/۲۱^\circ$ ثانیه می باشند. حرکت های پرودیک دیگری به ترتیب اهمیت نظیر حرکتی با پرود نیم ساله و دامنه $۰/۵^\circ$ ثانیه و حرکت با پرود ۱۴ روزه و دامنه $۰/۱^\circ$ در حرکت محور زمین وجود دارند. بعضی از این پرودها در ترکیب پتانسیل جذر و مد نیز وجود دارند.





Rotation around its axis (Precession + Nutation)

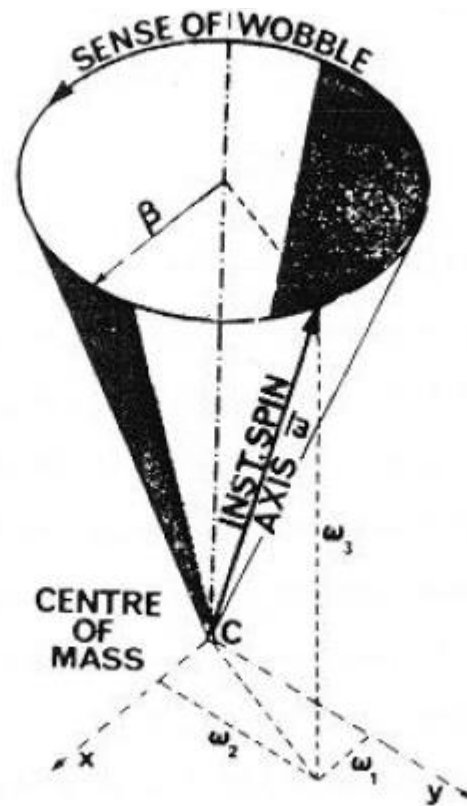


نوتیشن آزاد (Free nutation) زمین

وقتی که از قطب شمال نگاه کنیم. جهت حرکت محور زمین در خلاف جهت عقربه های ساعت می باشد

به عبارت دیگر محور دوران لحظه ای زمین دارای انحراف بسیار کوچکی (β) نسبت به محور ماکزیمم

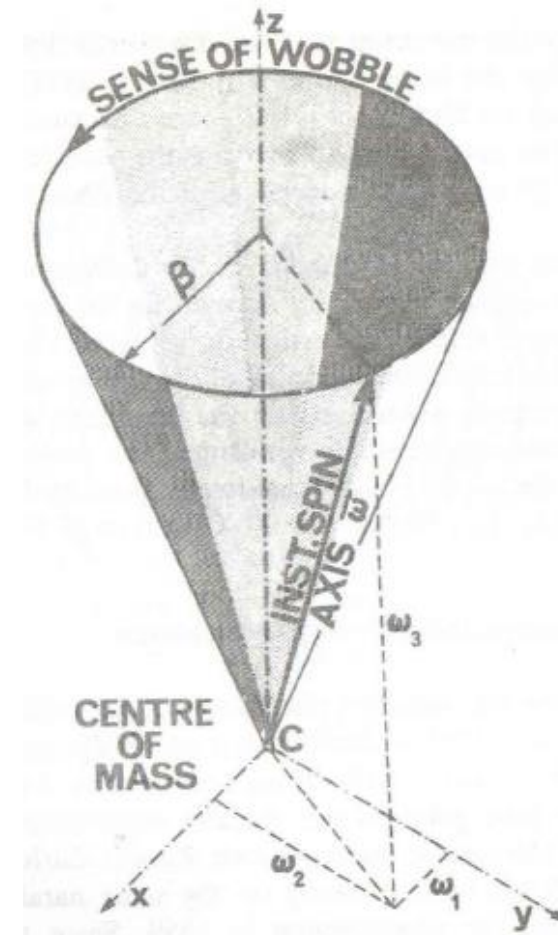
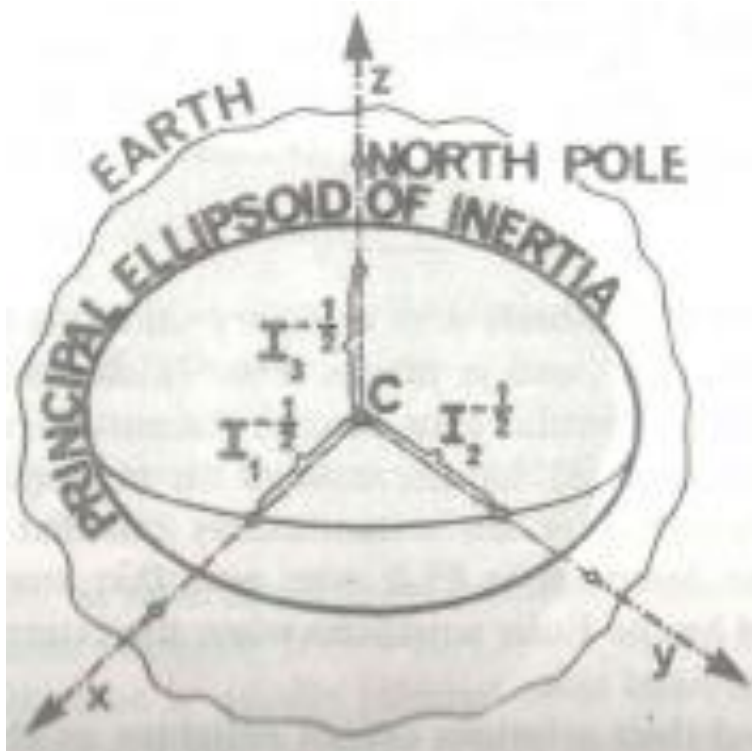
اینرسیای قطبی می باشد.



شکل ۷ - ۵ - محور دوران لحظه ای در سیستم مختصات طبیعی زمین

Rotation around its axis (Polar motion)

- Euler: 305 days



مشاهدات حرکت قطبی و تغییرات سرعت زاویه‌ای دوران

به منظور تعیین پارامترهای مجهول حرکت قطبی (نوتیشن آزاد) اتحادیه بین‌المللی نجوم IAU برنامه‌ای تحت عنوان سرویس بین‌المللی تعیین عرض جغرافیائی (ILS) تدوین نمود تا حرکت واقعی قطب را تحت مشاهده قرار دهد. به طوری که در بخش ۲ - ۱۵ خواهید دید هر نوع جابجائی در قطر موجب تغییر عرض جغرافیائی لحظه‌ای یک نقطه و یا نقاط روی زمین خواهد شد بنابراین با اندازه‌گیری تغییرات عرض یک نقطه می‌توان به طور مستقیم پی به جابجائی قطب یعنی حرکت قطب برد بدین منظور پنج ایستگاه مشاهداتی izusawa در ژاپن و Kitab در روسیه و Carlafart در ایتالیا و دو ایستگاه Gaithers-burg و Ukiah در امریکا که هر پنج ایستگاه تقریباً در مدار $39^{\circ} 08'$ شمالی قرار دارند از سال ۱۸۹۹ شروع به مشاهده پدیده حرکت قطبی نمودند. از آن سال به بعد تعداد ایستگاه‌های مشاهداتی و دائم حرکت قطب افزایش یافته و اکنون یک شبکه‌ای از صد ایستگاه را تشکیل می‌دهند. این ایستگاه اکنون تحت نظارت در سازمان بنام‌های سرویس بین‌المللی حرکت قطب (IPMS) که مرکز

آن در Mizusawa در ژاپن و بیرو بین‌المللی BIH با مرکزش در پاریس مشغول به کار می‌باشند. در سال ۱۹۶۹ لائبراتور تسلیحاتی ناوال امریکا برنامه مشاهدات قطبی خود را تحت عنوان سرویس حرکت قطبی دالگرین (DPMS) شروع کرد. مشاهدات آنها مبنی بر شبکه‌ای از ایستگاه‌های ماهواره‌ای ترانزیت بود.

در حال حاضر اندوخته‌ای غنی از مشاهدات انجام شده از حرکت قطب موجود می‌باشد. آنچه که از آنالیز این مشاهدات بر می‌آید در درجه اول این است که حرکت قطب خیلی پیچیده‌تر از آن است که تصور می‌شد. شکل ۵ - ۸ حرکت و مسیر واقعی قطبی را بین سال‌های ۱۹۶۲-۱۹۷۷ نسبت به مبدأ انتخابی بین‌المللی (CIO) نشان می‌دهد. مبدأ مناسب بین‌المللی CIO متوسط مکان قطب‌های لحظه‌ای بین سال‌های ۱۹۰۵-۱۹۰۰ می‌باشد. در نگاه اول متوجه می‌شویم که برخلاف پیش‌بینی تنوری دامنه حرکت قطب نقصان پیدا نمی‌کند. در توجیه این مطلب شاید بتوان گفت که با وجود اصطکاک‌های داخلی زمین که موجب تحلیل حرکت قطب می‌شود. مکانیزمی نیز وجود دارد که گاه‌گاهی و یا بطور پیوسته موجب تهبیج حرکت قطب می‌گردد. این فرضیه که تهبیج حرکت قطب می‌گردد. به علت زلزله‌های تکنونیک‌کی است هنوز به قوت یک فرض بوده و به اثبات نرسیده است. ارزیابی کمی پارامترهای تعیین کننده دو حرکت فوق‌الذکر هنوز غیر دقیق بوده و قابل اعتماد نیستند.

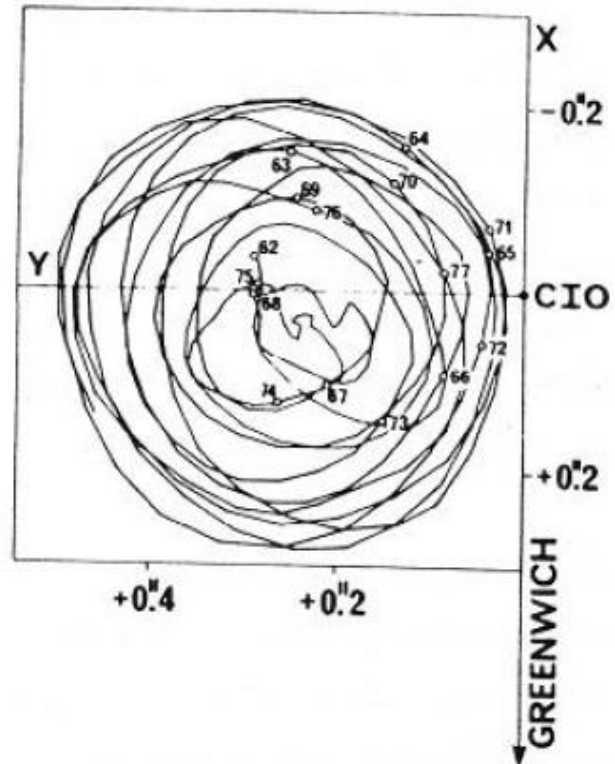


FIG. 5.8. Observed polar motion. (Courtesy of Dr. S. Yumi [1977], Director of IPMS.)

Polar motion (periodic+secular)

- Chandler: 435 days
- CIO? (1900-1905)

