بخش دوم

جایرو ،عمق‌یاب و جهت‌یاب رادیویی

مقدمه

این بخش از کتاب شامل دستگاههای جایرو، عمق‌یاب و جهت‌یاب رادیویی است و به لحاظ این‌که تمام این سیستمها،دریانوردان را در هنر هدایت بی‌خطر کشتیها یاری می‌کنند، به‌عنوان دستگاههای کمک ناوبری مطرح هستند.

در این بخش سعی شده است که اصول کار این دستگاهها و نحوهٔ به‌کارگیری هریک از آنها به‌طور ساده تشریح شود. اهمیت و نفوذ روزافزون سیستمهای مدرن کمک ناوبری در طول دههٔ اخیر در آمارهای انتشار یافته از سوی کمپانی لویدز لندن در رابطه با کاهش کشتیهای از دست رفته کاملاً مشهود است. به همین سبب فراگیری و شناخت این سیستمها اهمیتی ویژه دارد. امید است که این مطالب بتواند در ارتقاءِ دانش هنرجویان گرایش الکترونیک و مخابرات دریایی مفید واقع شود.

فصل پنجم

جایرو

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل :
۱ــ اصول کار جایروسکوپ را با استفاده از دستگاه نشان دهد.
۲ــ خواص جایروسکوپی را بیان کند.
۳ــ اثر چرخش زمین را بر جایرو تشریح کند.
۴ــ چرخش ظاهری جایروسکوپ را شرح دهد.
۵ــ چگونگی تبدیل جایروسکوپ به جایرو را تشریح کند.
۶ــ نحوهٔ متعادل کردن جایرو را توضیح دهد.
۷ــ قسمتهای مختلف اِلمان حساس را تشخیص دهد.
۸ــ کار نگاه‌دارندهٔ اِلمان حساس را تشریح کند.
۹ــ در مورد سیستم کنترل جایرو توضیح دهد.
۱۰ــ عملکرد جایرو را نشان دهد.

۱ــ۵ــ اصول کار جایروسکوپ

جایرو اسباب بازی قرن اخیر در واقع همان اسباب بازی قدیمی،یعنی فرفره چرخان است. فرفره مربوط به قبل از میلاد مسیح بود ؛ اما تا قبل از سال ۱۷۶۵ میلادی کسی به تئوری مربوط به آن نپرداخته بود تا این که پس از سال ۱۸۰۰ میلادی تحقیقات در این زمینه شروع شد. سرانجام در سال ۱۸۵۲ میلادی اولین جایروسکوپ به وسیله فوکالت (Foucalt) ساخته شد. او کسی بود که حالت گردش کره زمین را به نمایش درآورد. جایرو ساخته شده به‌وسیلهٔ وی فاقد موتور راه‌انداز و چرخ دنده حرکت بود. در طول این قرن به مرور زمان کم کم جایرو به‌عنوان یک وسیله علمی باقی ماند.

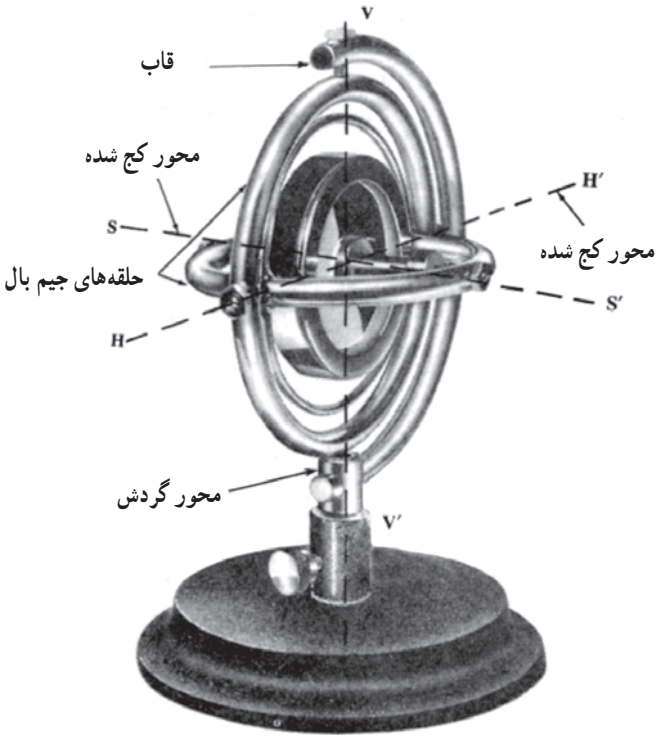
پس از یک رکود دراز مدت،در چندین دههٔ گذشته جایرو به عنوان یک ابزار کمکی در کنترل سیستمهای نظامی دریایی مانند کنترل آتش و در ناوبری به عنوان نشان‌دهنده راه کشتیها و هواپیماها

و به‌عنوان سیستم تعادل کننده موشکها به‌طور گسترده‌ای به‌کار گرفته شده است. در این بخش سعی شده است که خواص جایروسکوپی و اصول تبدیل یک جایروسکوپ به جایرو قطب نمایی به گونه‌ای ساده تشریح شود.

برای درک قطب‌نمای جایرو، باید بعضی از اصول و پدیده‌های جایروسکوپی را دانسته به‌اصطلاحات موجود در این رشته از فیزیک آشنا بود. در این بخش اصول مربوط تشریح می‌شود.

جایروسکوپ آزاد چرخ سنگین یا روتوری مُعَلّق است که محور آن می‌تواند در هرجهتی بچرخد. محور روتور به وسیله ۲ بلبرینگ S و .S در یک حلقه نگهداری می‌شود. این حلقه به وسیله یاتاقانهای H و .H در یک حلقه خارجی نسبتاً بزرگتر نگهداری می‌شود. حلقه خارجی به وسیله یاتاقانهای V و .V در قالب نگهدارنده سوار شده است. این دو حلقه نگاه دارنده جیم‌بال نام دارند.

قاب نگاه دارنده قسمتی از جایروسکوپ به حساب نمی‌آید، بلکه تنها آن را نگاه می‌دارد. روتور و دو جیم‌بال در حول محورهای خود که بر هم عمود بوده در مرکز ثقل روتور همدیگر را قطع می‌کنند، موازنه شده‌اند (شکل ۱ــ۵).



شکل ۱ــ۵ــ جایروسکوپ

روتور جایروسکوپ دارای سه درجه آزادی است :

الف. آزادی چرخش ؛

ب. آزادی گردش ؛

پ. آزادی انحرافی.

این سه درجه آزادی به روتور اجازه می‌دهند که داخل قاب نگاه‌دارنده در هر وضعیتی قرار گیرد. روتور می‌تواند حول محور خود بچرخد و این اولین درجه آزادی عمل روتور است. حلقه جیم‌بال داخلی می‌تواند روی یاتاقانهای خود حول محور افقی H – H بچرخد، این دومین درجه آزادی عمل آن است. حلقه جیم بال خارجی می‌تواند روی یاتاقانهای خود حول محور V – V بچرخد، این سومین درجه آزادی عمل جایروسکوپ است.

۲ــ۵ــخواص جایروسکوپی

یک فرفره در حال چرخش می‌ایستد و تعادلش را حفظ می‌کند ؛ همچنین یک تایر در حال حرکت می‌تواند روی زمین بچرخد، بدون آن‌که تعادلش را از دست بدهد. این‌گونه پدیده‌ها مربوط به‌خواص اجسام در حال چرخش بوده و به عنوان اثرات جایروسکوپی شناخته شده است. حال وقتی روتور جایروسکوپ شکل (۱ــ۵) به‌سرعت می‌چرخد، جایروسکوپ چرخان دارای دو خاصیت است که در موقع سکون از آنها برخوردار نیست. این دو خاصیت که امکان استفاده از جایروسکوپ را به‌عنوان قطب‌نمای جایرو فراهم می‌سازد، عبارتند از :

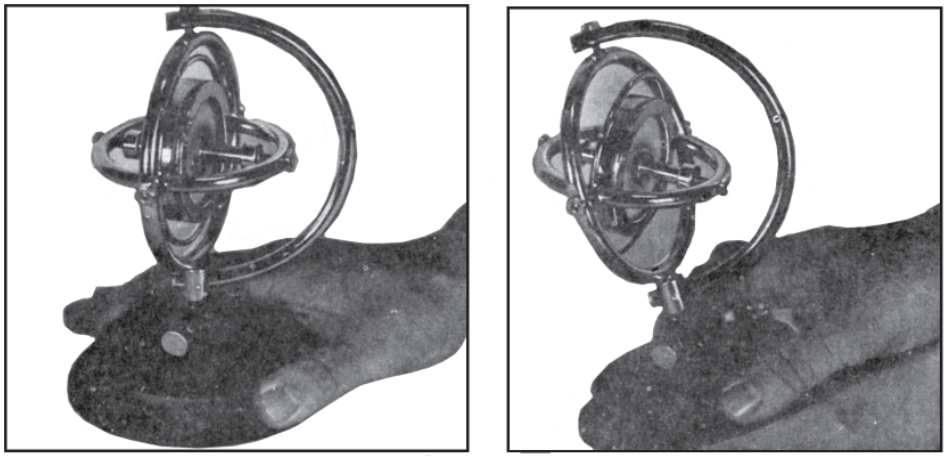
۱ــپایداری تعادل (Rigidity) ؛

۲ــتغییر جهت محوری (PRECESSION).

۱ــ۲ــ۵ــپایداری تعادل (Rigidity)ــ هرگاه روتور یک جایروسکوپ را همراه با محور آن که در یک جهت ثابت شده است، بچرخانیم (شکل ۲ــ۵) روتور بدون توجه به وضع قرار گرفتن قاب جایروسکوپ با محور خود در همان جهت تعیین شده به چرخش خود ادامه خواهد داد (شکل ۲ــ۵). درصورتی‌که بلبرینگها بدون اصطکاک باشد و روتور بچرخد، هرگونه چرخش قاب نگاه‌دارنده تأثیری در تعادل روتور نسبت به فضا نخواهد داشت.

این خاصیت جایروسکوپ را پایداری تعادل می‌نامند. این خاصیت را می‌توان به کمک قانون نیوتن که مربوط به حرکت است، توجیه کرد.

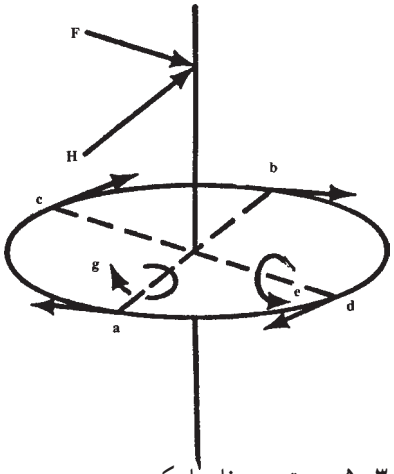
(قانون نیوتن: هرجسم در حال حرکت با یک سرعت ثابت در یک خط مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد، مگر این‌که تحت‌تأثیر یک نیروی خارجی قرار گیرد.)



شکل ۲ــ۵ــ پایداری و تعادل صفحه جایروسکوپ چرخان

هر نقطه از یک چرخ‌گردان در یک مسیر مُدوّر می‌چرخد. به علت وجود خاصیت اینرسی (قانون اول نیوتن) چنین نقطه‌ای تمایل دارد که در طول یک خط مستقیم مماس بر مسیر مدور خود حرکت کند. کشش مولکولی داخل چرخ، مسیر کلیه ذرات داخل چرخ را به‌صورت مدور درمی‌آورد.

ذراتی از روتور را در نقاط a ، b، c و d درنظر بگیرید (شکل ۳ــ۵). نیروی لحظه‌ای F که به محوراعمال شده سعی دارد جهت مسیر را در نقاط c و d تغییر دهد؛ یعنی نقطه c تمایل حرکت به‌طرف بالا و نقطه d میل حرکت به‌طرف پایین خواهند داشت. به علت وجود انرژی جنبشی خیلی زیاد این نقاط در مقابل هرگونه تغییر مسیر یا تغییر جهت مقاومت می‌کنند که این امر به‌دلیل پایداری صفحه است. انرژی و مومنتم (momentom) روتور سعی می‌کنند که صفحهٔ روتور و یکسوئی محور را در فضا ثابت نگاه دارند.



شکل ۳ــ۵ــ روتور چرخان با یک محور عمودی

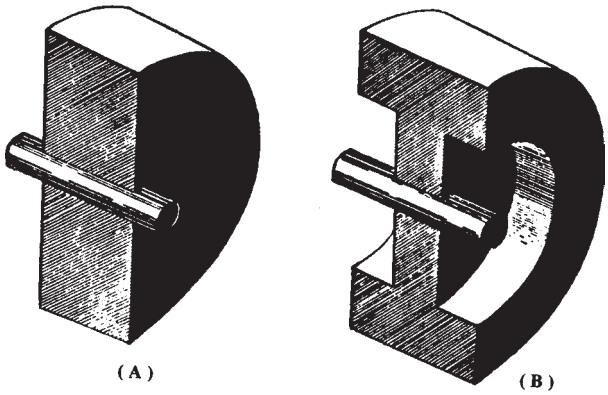
پایداری یک جایروسکوپ را می‌توان با استفاده از عوامل زیر بیشتر کرد :

۱ــ سنگینتر کردن روتور ؛

۲ــ سریعتر چرخاندن روتور ؛

۳ــ تمرکز کردن وزن روتور نزدیک به محیط آن.

اگر دو روتور با سطح مقطعهایی نظیر شکل (۴ــ۵) وجود داشته باشد که هم وزن بوده و با سرعت مساوی بچرخند،روتور شکل (B ــ۴ــ۵) پایدارتر از روتور شکل (A ــ۴ــ۵) خواهد بود. علت این امر تمرکز وزن روتور در نزدیک محیط آن است.



شکل ۴ــ۵

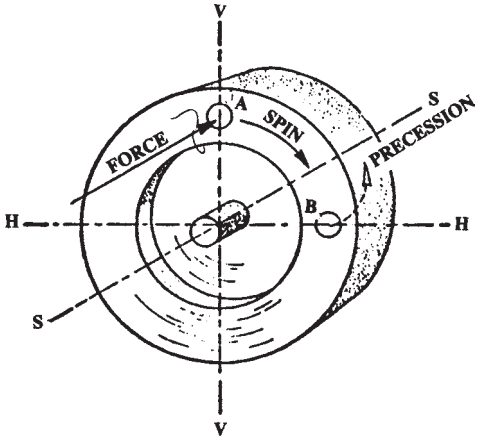
۲ــ۲ــ۵ــ تغییر جهت محوری (PRECESSION) ــ به علت اینرسی جایروسکوپی، مشخص شد که حرکت قاب نگاه‌دارنده بیرونی اثری در جهت ایستایی محور جایروسکوپ چرخان ندارد. برای تغییر جهت لازم است که به روتور جایروسکوپ یا محور آن نیرو وارد شود.

یک نیروی افقی (F) در یک انتهای محور شکل (۳ــ۵) اثری چرخشی ایجاد کرده که جایروسکوپ را حول محور ab کج می‌کند. اگر روتور درحال چرخش نباشد،محور آن تحت‌تأثیر نیروی اعمال شده خواهد چرخید.

وقتی که روتور می‌چرخد،پایداری آن باعث می‌شود که روتور در مقابل گردش حول ab مقاومت کرده در عوض حول محور cd در جهت فلش e بچرخد. برعکس، اگر نیرویی بخواهد جایروسکوپ را حول محور cd بچرخاند،به همین طریق مقاومتی در مقابل آن ایجاد شده، درنتیجه جایروسکوپ حول محور ab انحراف پیدا می‌کند. اگر نیرو در جهت H اعمال شود،عمل چرخش در جهت فلش g صورت خواهد گرفت.

چرخش جایروسکوپ حول محور عمود بر محوری‌که نیروی گشتاوری وارد شده است،تغییر جهت محوری (PRECESSION) نامیده می‌شود. تغییر جهت محوری موقعی ظاهر می‌شود که نیرویی بخواهد روتور چرخان جایروسکوپ را منحرف کند.

تغییر جهت محوری که بر اثر نیروی وارده به وجود می‌آید همیشه حول محوری است که با محوری‌که نیروی گشتاوری به آن اعمال شده، زاویه ۹۰ درجه بسازد. برای تعیین سمت تغییر جهت محوری درشکل (۵ــ۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۵

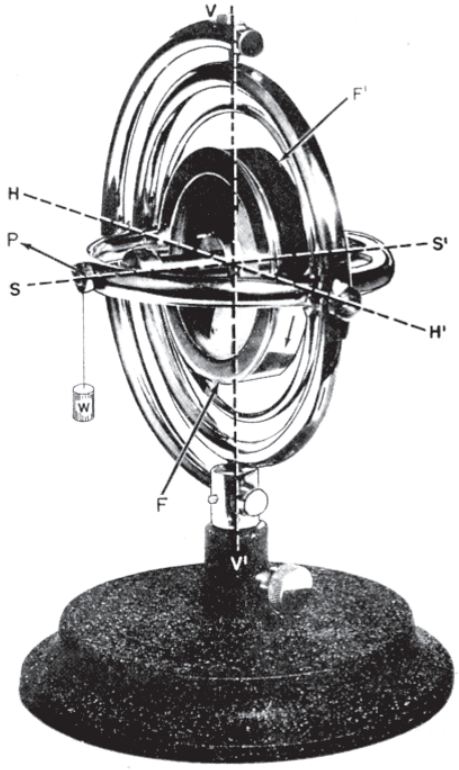
نیروی وارد شده به نقطه A در بالای چرخ را درنظر بگیرید. این نقطه در جهت نیروی اعمال شده حرکت نمی‌کند، بلکه نقطه‌ای که در موقعیت ۹۰ درجه‌ای جهت حرکت قرار گرفته در جهت نیروی وارده حرکت خواهد کرد. بدین طریق سمت تغییر جهت محوری تعیین می‌شود. تا زمانی که نیروی اعمال شده وجود داشته باشد،تغییر جهت محوری وجود خواهد داشت. اگر صفحه‌ای که نیرو از طریق آن اعمال می‌شود بدون تغییر باقی بماند، جایروسکوپ آنقدر تغییر جهت می‌دهد تا صفحهٔ روتور با صفحهٔ نیرو یکی شود. در این وضعیت نیرو در حول محور چرخان بوده و هیچ‌گونه تغییر جهتی به‌وجود نمی‌آید.

اگر صفحه نیرو با سرعتی برابر و در جهت مشابه با تغییر جهت محوری که به وجود می‌آورد حرکت کند، عمل تغییر جهت محوری ادامه خواهد یافت. این وضع درشکل (۶ــ۵) نشان داده شده است. در آن نیروی تغییر دهنده صفحهٔ چرخش به‌وسیلهٔ وزنه W که از انتهای محور افقی آویزان است، تأمین می‌شود.

اگرچه وزنه نیرویی به طرف پایین وارد می‌کند،اما نیرویی که در مقابل ذرات چرخ گردان ایجاد می‌شود افقی است. این نیرو مطابق شکل که با فلشهای F و .F مشخص شده است،بین ذرات چرخ

تقسیم می‌شود. اگر روتور در جهت عقربه‌های ساعت بچرخد، تغییر جهت محوری در سمت فلش P رخ خواهد داد.

در اثر تغییرجهت محوری جایروسکوپ،وزنه نیز با آن به حرکت درمی‌آید ؛ بنابراین نیروهای F و .F به طور مداوم در زاویه قائمه به صفحهٔ چرخش عمل کرده، تغییر جهت محوری بی‌انتها ادامه خواهد داشت.



شکل ۶ــ۵ــ تغییر جهت محوری مداوم

تشریح دقیق از چگونگی تغییر جهت محوری مستلزم استفاده از نمایشهای برداری گشتاورها و حرکات زاویه‌ای است که از حدود بحث این کتاب خارج است.

به هرحال مفهوم کلمه گشتاور را که در مبحث قطب نمای جایرو موارد استفاده زیادی دارد، باید فراگرفت. برطبق تعریف، گشتاور عبارت است از حاصل ضرب نیرویی که گردش را باعث می‌شود در فاصله عمودی خط اثر نیرو تا محور چرخش.

وقتی‌که نیرو در امتداد یک خط مستقیم یا روی یک نقطه اثر می‌گذارد،نیروی گشتاوری در یک صفحه ظاهر می‌شود که در این حالت آن را گشتاور حول یک محور می‌گویند.

نیرویی که روی محور جایروسکوپ عمل می‌کند،گشتاوری حول یک یا هر دو محور

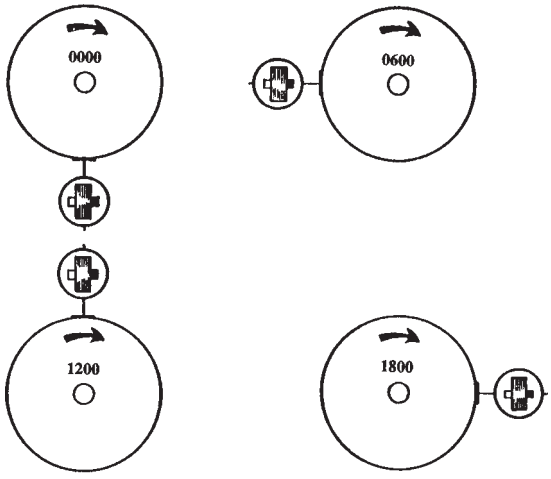
جایروسکوپ ایجاد می‌کند. برای یک نیروی معیّن هرچه فاصله آن تا محور چرخش بیشتر باشد، گشتاور آن بیشتر خواهد بود. اگر نیرو برروی محور چرخان اثر کند گشتاور صفر خواهد بود.

$(F \times 0 = 0)$

هر نیرویی که از طریق مرکز ثقل جایروسکوپ به آن وارد می‌شود، زاویه صفحهٔ چرخش را تغییر نمی‌دهد، اما دستگاه جایروسکوپ را بدون آن که وضعیت روتورش در فضا تغییر کند به حرکت درمی‌آورد. این نیرو را که به مرکز ثقل جایروسکوپ وارد می‌شود، نیروی انتقال (Force of Translation) می‌گویند. بدین‌ترتیب جایروسکوپ چرخان را می‌توان به‌وسیله قاب نگاه‌دارنده آن آزادانه در فضا حرکت داد، بدون آن‌که صفحهٔ چرخش روتور تغییر کند. علت وجود این حالت، این است که نیروی اعمال شده به قاب نگاه‌دارنده در امتداد مرکز ثقل روتور عمل می‌کند و یک نیروی انتقال به حساب می‌آید. این عمل هیچ گونه گشتاوری در حول روتور جایرو ایجاد نمی‌کند.

۳ــ۵ــ اثر گردش زمین بر جایروسکوپ

همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، یک جایروسکوپ با چرخش آزاد می‌تواند بدون آن که زاویه صفحهٔ چرخش خود را تغییر دهد، در هر جهتی حرکت کند. اگر این جایروسکوپ را در خط استوا روی سطح زمین قرار دهیم، به‌طوری که محور چرخش آن افقی بوده، در جهت شرقی غربی قرار گیرد، ناظری که در فضا است و از ناحیه پایین قطب جنوب به آن نگاه می‌کند، ملاحظه خواهد کرد که چرخش زمین در جهت عقربه‌های ساعت از غرب به شرق بوده و جایروسکوپ هم با آن حرکت می‌کند (شکل ۷ــ۵).

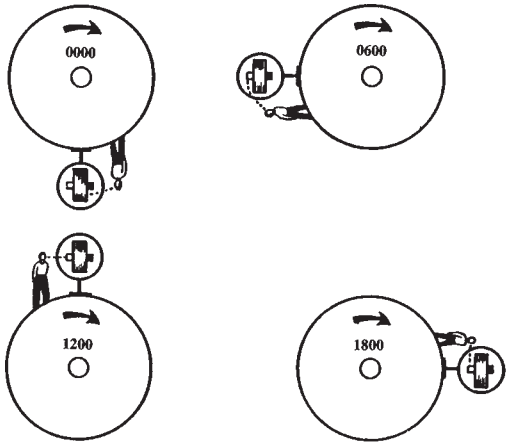


شکل ۷ــ۵

با گردش زمین پایداری صفحه باعث ثابت ماندن چرخ درفضا شده و همواره درهمان صفحه باقی خواهد ماند. همان‌گونه که درشکل (۷ــ۵) نشان داده شده است، فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 به‌کار انداخته شده و شروع به چرخش کرده است،در حالی که محور آن در جهت شرقی ــ غربی و به موازات سطح زمین است. در ساعت 0600 یعنی شش ساعت بعد زمین ۹۰ درجه چرخیده و محور جایروسکوپ به موازات حالت اول قرار می‌گیرد. در ساعت ۱۲۰۰ زمین به اندازه ۱۸۰ درجه چرخیده است،در حالی که وضعیت جایروسکوپ تغییر نکرده است.

در ساعت ۱۸۰۰ زمین ۲۷۰ درجه چرخیده،اما کماکان وضعیت جایروسکوپ به همان حالت باقی مانده است. در نهایت در ساعت 0000 زمین ۳۶۰ درجه چرخیده و جایروسکوپ به وضعیت اولیه خود برگشته است.

این پایداری صفحه از نظر ناظری که در سطح زمین است کاملاً متفاوت است. با چرخش زمین به‌نظر می‌رسد که چرخ جایروسکوپ حول محور افقی خود دوران می‌کند. شکل (۸ــ۵) چگونگی وضع جایروسکوپ را برای ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است، نشان می‌دهد.



شکل ۸ــ۵

فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 شروع به چرخش کند،درحالی که محور چرخش آن افقی بوده جهت غربی آن به طرف ناظر باشد، در ساعت 0600، یعنی ۶ ساعت بعد از چرخش جایروسکوپ زمین بظاهر منحرف شده و از نظر ناظر محور در جهت عمود بر سطح زمین قرار گرفته است. در ساعت ۱۲۰۰محور جایروسکوپ دوباره به وضع افقی برگشته،اما از دید ناظر محور روتور۱۸۰ درجه چرخیده است. در ساعت ۱۸۰۰ محور دوباره عمود بر سطح زمین بوده و به بالا نشانه می‌رود. در ساعت 0000، زمین ۳۶۰ درجه چرخیده محور جایروسکوپ به وضع اولیه خود برمی‌گردد.

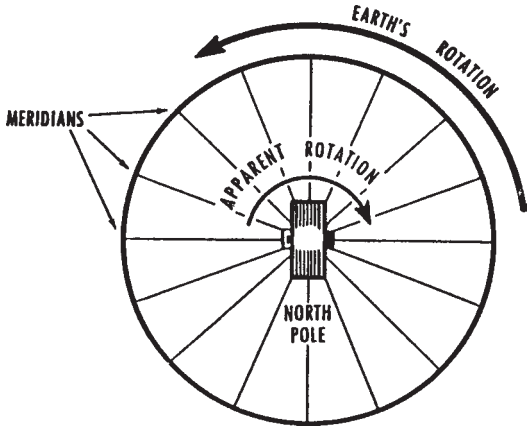
۴ــ۵ــ چرخش ظاهری جایروسکوپ

چرخش جایروسکوپ را ازدید ناظری که در سطح زمین ایستاده است،چرخش ظاهری می‌گویند. چرخش ظاهری درنتیجه پایداری صفحه که سعی می‌کند صفحهٔ چرخ جایروسکوپ را به‌موازات وضعیت اولیه آن در فضا نگاه دارد، به‌وجود می‌آید.

از این گردش ظاهری یا انحراف محور افقی جایروسکوپ به عنوان اثر سرعت افقی زمین تلقی می‌شود (HORIZONTAL EARTH RATE EFFECT). مقدار این اثر با کسینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند . مقدار آن در استوا ماکزیمم و در دو قطب می‌نیمم است. TILT = . cos LAT (انحراف ظاهری).

cos LAT در استوا برابر یک و در قطب برابر صفر است.

حال فرض کنید جایروسکوپ چرخان که محور آن افقی است، در قطب شمال استقرارداده شود (شکل۹ــ۵) ، ناظری که از روی سطح زمین به آن نگاه می‌کند، جایروسکوپ را در حال چرخش حول محور عمودیش می‌بیند و برای ناظری که از فضا نگاه می‌کند، جایروسکوپ ثابت بوده،



شکل ۹ــ۵ــگردش ظاهری جایروسکوپ در قطب شمال

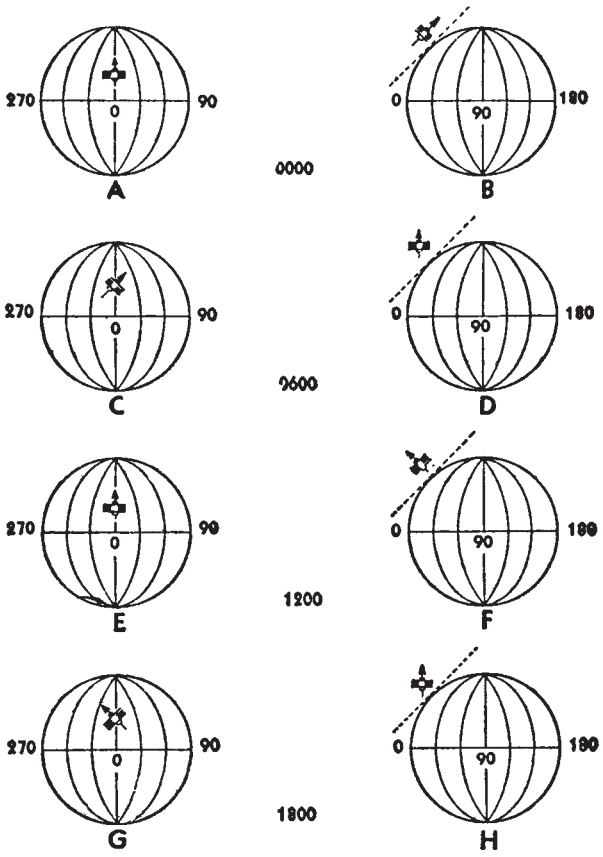
زمین در زیر آن می‌چرخد. این چرخش ظاهری حول محور عمودی به عنوان اثر سرعت عمودی زمین تلقی شده (Vertecal earth Rate effect) و با سینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند. مقدار آن در دو قطب ماکزیمم و در استوا می‌نیمم است.

DRIFT = . sin LaT.

وقتی که محور جایروسکوپ در هر نقطه زمین موازی با محور زمین قرار گیرد، چرخش ظاهری حول محور جایروسکوپ بوده قابل مشاهده نیست. در هر نقطه بین استوا و هر کدام از دو

قطب جایروسکوپی که محور چرخش آن با محور چرخش زمین موازی نباشد، دارای یک چرخش ظاهری است که ترکیبی از حرکت افقی و عمودی زمین است.

همان طوری که در شکل (۱۰ــ ۵) می بینید،چرخش ظاهری با قرار دادن محور یک جایروسکوپ چرخان در امتداد نصف النهار و به موازات سطح زمین در ۴۵ درجه طول جغرافیایی و صفر درجه عرض جغرافیایی نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۵ــ گردش ظاهری جایروسکوپ در طول جغرافیایی ۴۵ شمالی

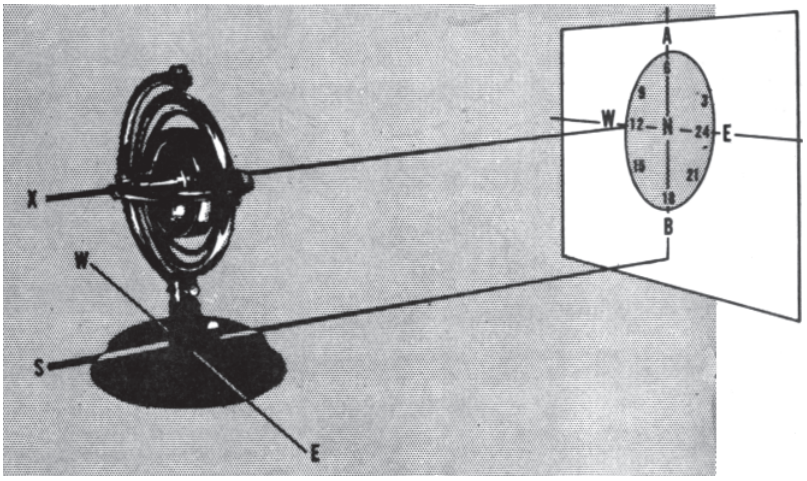
با چرخش زمین،موقعیتهای جایروسکوپ در ساعتهای ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ چرخش ظاهری را حول محورهای افقی و عمودی نشان می‌دهند. هر دو شکل مربوط به یک جایروسکوپ است،منتهی از زوایای مختلف بررسی شده‌اند تا حرکت را در حول هر دو محور نشان دهند. در هر دو حالت، ناظر در بالای سطح زمین بوده اما با زمین می‌چرخد. هر دو شکل باید با یکدیگر ملاحظه شوند،زیرا حرکتی مشابه را در صفحات مختلف نشان می‌دهند.

قسمتهای A و B شکل (۱۰ـ۵) جایروسکوپ چرخان را در ساعت 0000 نشان می‌دهند. محور بر روی نصف النهار قرار گرفته با سطح زمین موازی است. حرکت ظاهری جایروسکوپ در ساعت ۰۶۰۰ (شکلهای C و D)بستگی به گردش زمین دارد و محور جایروسکوپ از مسیر خود نسبت به‌نصف النهار خارج شده در ۴۵ درجه شرقی نصف‌النهار قرار می‌گیرد. (محور به ظاهر به اندازه ۴۵ درجه از حالت افقی انحراف پیدا کرده است) در ساعت ۱۲۰۰ (قسمتهای E و F)محور جایروسکوپ دوباره به نصف‌النهار برمی‌گردد، اما در این حالت محور به اندازه ۹۰ درجه از سطح افقی انحراف می‌یابد. در ساعت ۱۸۰۰ (قسمتهای H و G) محور در ۴۵ درجه غرب نصف‌النهار قرار گرفته و انحراف به ۴۵ درجه تقلیل یافته است.

بعد از ۲۴ ساعت که مطابق با وضعیت ساعت 0000 روز بعد است، محور دوباره روی نصف‌النهار قرار گرفته و در وضعیت افقی خواهد بود. عمل تمام جایروسکوپهای آزاد در هر طول جغرافیایی بین صفر تا ۹۰ درجه مشابه است. این گردش ظاهری نسبت به سطح زمین بوده و علت ایجاد آن گردش زمین است.

اگر یک جایروسکوپ را طوری در هر قسمت از سطح زمین قرار دهیم که محور گردش آن با محور قطبی زمین موازی نباشد،به نظر می‌رسد که در طول ۲۴ ساعت حول خطی که از مرکز جایروسکوپ گذشته و با محور زمین موازی است می‌چرخد.

این گردش ظاهری وقتی از جهت جنوب به شمال مشاهده شود،جهت عکس عقربه‌های ساعت است و مسیری را که محور سمت شمال در فضا مشخص می‌کند،خط EAWB خواهد بود (شکل ۱۱ـ۵).



شکل ۱۱ـ۵ـ مسیر محور چرخان یک جایروسکوپ آزاد

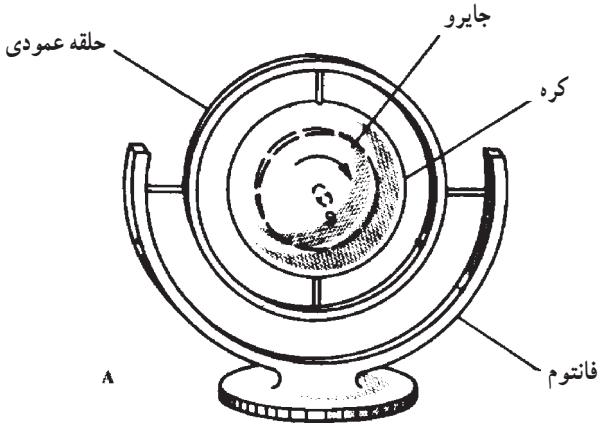
در هر طول جغرافیایی تأثیر گردش زمین باعث می‌شود که انتهای شمالی محور جایروسکوپ در شرق نصف‌النهار بالا رفته و در غرب نصف‌النهار پایین بیاید.

این اثر انحرافی باعث می‌شود که جایروسکوپ به‌صورت یک دستگاه شمال‌یاب درآید.

۵ــ۵ــ تبدیل جایروسکوپ به جایرو

قبل از این که یک جایروسکوپ ساده را بتوان به‌صورت یک قطب نما درآورد، باید در اجزای متشکله جایروسکوپ تغییراتی جزیی به‌وجود آورد.

همان‌طوری که از شکل (A ــ ۱۲ــ۵) پیداست، روتور یا چرخ در داخل یک محفظه یا کره قرار گرفته که این کره به نوبهٔ خود در داخل یک حلقه عمودی جا داده شده است. این وسایل در مجموع روی یک پایه نصب شده‌اند که حلقه فانتوم نامیده می‌شوند.



شکل A ــ ۱۲ــ ۵ــ جایروسکوپ ساده

با صرف‌نظر کردن از نیروهای خارجی،حال فرض می‌کنیم که جایروی چرخان وضعیت خود را در فضا حفظ می‌کند. در این حالت این مسأله مطرح می‌شود که جایرو چگونه می‌تواند شمال حقیقی را پیدا کرده و آن را حفظ کند.

شمال در این حالت در جهتی است که به‌وسیله خط افقی در سطح نصف‌النهار از نقطه قابل رؤیت در هر نقطه از سطح زمین نسبت به قطب شمال دیده می‌شود.

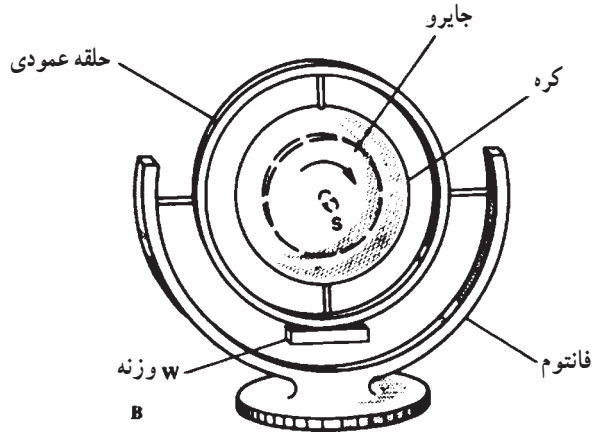
به منظور تبدیل جایروسکوپ به قطب نمای جایرو باید به گونه‌ای آن را تکامل بخشید که بتواند :

۱ــ محورش را روی صفحهٔ نصف‌النهار تنظیم کند.

۲ــ محورش را تقریباً افقی تنظیم کند.

۳ــ محورش را در حالت افقی در صفحهٔ نصف‌النهار نگاه دارد.

برای اصلاحات بیشتر در ساختمان جایروسکوپ ساده، وزنه W را در انتهای حلقه عمودی قرار می‌دهند. این عمل باعث سنگین شدن قسمت پایین دستگاه شده، به آن حالت پاندولی می‌دهد (شکل B ــ۱۲ــ ۵).



شکل B ــ۱۲ــ ۵ــ جایروسکوپ اصلاح شده

هنگامی‌که جایرو درخط استوا واقع است، محور آن‌افقی بوده در امتداد شرقی ــ غربی قرار می‌گیرد. وقتی از غرب به آن نگاه کنید، روتور آن را می‌بینید که در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. در نقطه A شکل (۱۳ــ۵) جایرو و حلقه عمودی به طور عمودی قرار گرفته، هیچ نیروی گشتاوری در اثر وزنه W وارد نمی‌شود.

همان‌طوری که زمین گردش می‌کند، نقطه B (شکل ۱۳ــ۵) نیروی اینرسی و تغییر جهت محوری جایروسکوپ عمل کرده، محور و حلقه عمودی تمایل پیدا می‌کنند که به‌صورت افقی درآیند. عامل به وجود آورنده حالت پاندولی یا وزنه،در حالی که بالا می‌رود، تحت کشش نیروی جاذبه زمین قرار گرفته،یک نیروی گشتاوری حول محور افقی جایرو اعمال می‌شود.

نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه وزنه در اطراف محور افقی جایرو وارد می‌شود،تغییر جهت محوری جایرو را در جهتی که در قسمت C (شکل ۱۳ــ۵) نشان داده شده، باعث می‌شود. جایرو در این حالت از وضعیت شرقی ــ غربی خود خارج می‌شود. وقتی انتهای جایرو که قبلاً به‌سمت مشرق بوده (از این به بعد انتهای شمالی خوانده می‌شود)، به صعود خود ادامه دهد، نیروی گشتاور حاصل از نیروی جاذبه و وزنه بر روی جایرو زیادتر می‌شود، زیرا بازویی که وزنه بر روی آن عمل می‌کند در اثر انحراف زیاد بلندتر می‌شود.

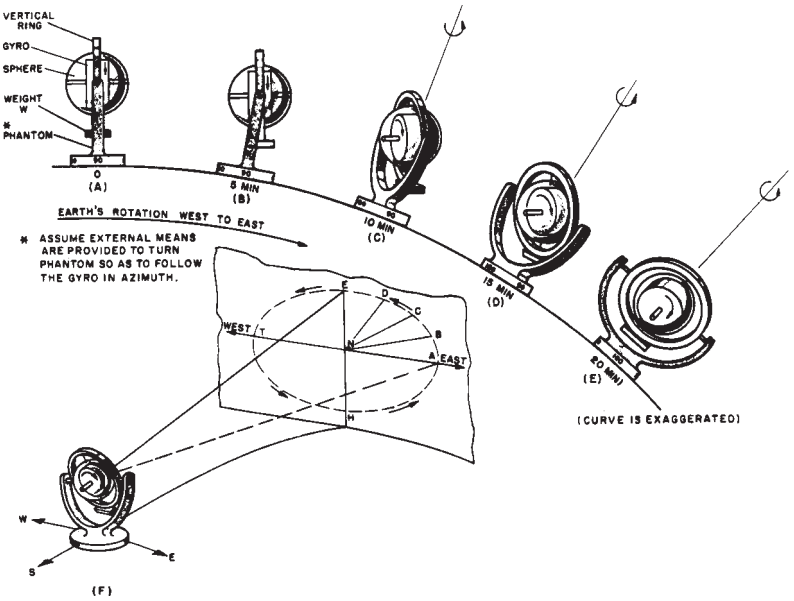
چون سرعت تغییر جهت محوری نسبت مستقیم با مقدار انحراف دارد،جایرو با سرعت زیاد

به‌دور محور عمودی خود گردش می کند. درحالت E (شکل ۱۳ــ۵) محور جایرو با حداکثر انحراف، ماکزیمم تغییر جهت محوری و حداکثر نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه بر وزنه به‌وجود می‌آید،در روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

اثر وزنه پاندولی سبب می‌شود که جایرو هنگام عبور از روی نصف النهار تغییر جهت دهد. موقعی که انتهای شمالی محور جایرو از روی نصف‌النهار عبور می‌کند، انحراف آن در اثر گردش زمین کاهش می‌یابد. در اثر کاهش مقدار انحراف، سرعت تغییر جهت محوری نیز تا زمانی که محور جایرو در حالت افقی قرار گیرد کم می‌شود. در این حالت انحراف در جهت مغرب متوقف می‌شود و وزنه‌ای که به پایین آویزان است هیچ‌گونه نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید نمی‌کند. در این نقطه انحراف غربی محور از نصف‌النهار درست به اندازه انحراف شرقی آن از نصف‌النهار است.

ادامه گردش زمین باعث پایین رفتن انتهای شمالی محور می‌شود،در حالی که وزنه در انتهای دیگر محور افقی در جهت مخالف بالا می‌رود.

اثر این تغییر جهت محوری در جهت مخالف بوده، محور جایرو را هنگام عبور از روی نصف‌النهار به وضعیت اولیه خود برمی‌گرداند. در این نقطه سیکل دوباره تکرار می‌شود، مگر این که عاملی نوسان را متوقف سازد. در شکل F (۱۳ــ۵) نوسان انتهای محور جایرو روی یک صفحه عمودی تصویر شده است.



شکل ۱۳ــ۵ــ اثر وزنه و گردش روی جایروسکوپ

نسبت حرکت جایرو حول محور افقی (که به وسیله گردش ظاهری به وجود می‌آید) به حرکت تغییرجهت محوری‌حول محور عمودی (که به وسیله وزنه پاندولی ظاهرمی‌شود) شکل بیضی را به‌وجود می‌آورد.

چنانچه وزنه سنگینتر شود، تغییر جهت محوری سریعتر عمل کرده، درنتیجه شکل بیضی مسطح خواهد شد. اگر وزن وزنه کاهش یابد،سرعت تغییر جهت محوری کُندتر شده و شکل بیضی به‌دایره نزدیکتر می‌شود.

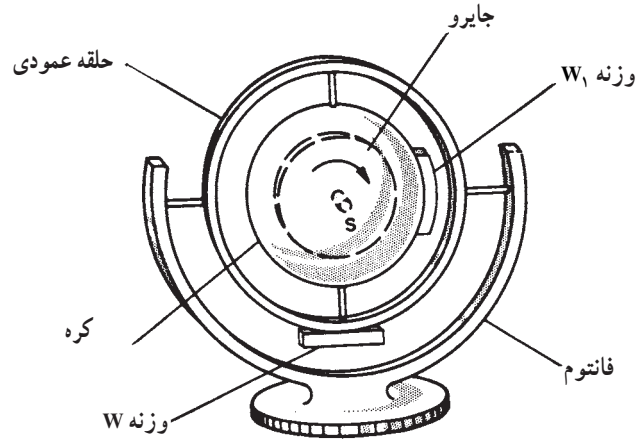
زمان یک نوسان کامل برحسب دقیقه را زمان تناوب نوسان می‌نامند. بدون توجه به زاویه نوسان چرخ برای هر سرعت و اندازه مشخص چرخ در یک نقطه معلوم از زمین، زمان تناوب نوسانات یکسان خواهد بود. عامل تغییردهندهٔ زمان تناوب، وزنه‌ای است که روی حلقه عمودی قرار دارد.

اکنون روشن است که با افزایش وزنه W به حلقه عمودی، یک جایرو شمال‌یاب ساخته می‌شود. علاوه بر این باید نوسانات را متوقف ساخته و در یک نصف‌النهار آن را به حالت تعادل درآوریم.

مطالعه آزاد

۶ــ۵ــ نحوهٔ متعادل کردن جایرو

برای جلوگیری از نوسان جایرو در حول مدار نصف‌النهار،اجازه دهید که یک وزنه اضافی کوچکتر W_1 را به سمت شرقی محفظه روتور یا کره، همان طوری که درشکل (۱۴ــ۵) نشان داده شده، اضافه کنیم.



شکل ۱۴ــ۵ــ جایروسکوپ با وزنه‌هایی روی کره و حلقه عمودی

با تراز بودن محور جایرو،هیچ مؤلفه‌ای از گشتاور حول محور عمودی جایرو به‌وسیله نیروی جاذبه روی وزنه W_1 ایجاد نمی‌شود و نیروی گشتاوری به‌وسیله یاتاقانهای محور عمودی مهار می‌شود. به هر حال هنگامی که درنتیجه چرخش زمین محور جایرو کج می‌شود، محور عمودی به‌طرف خارج صفحه متمایل می‌گردد.

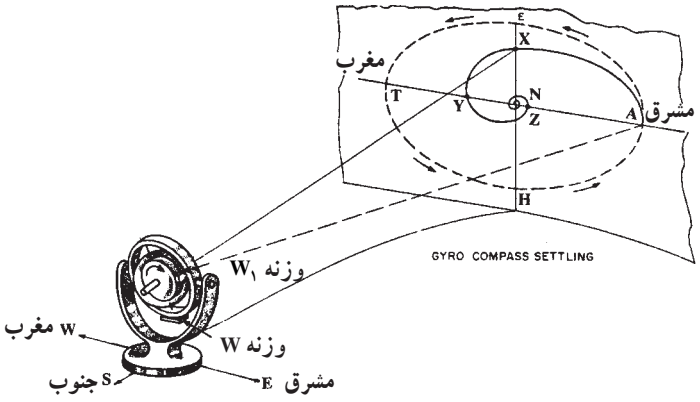
نیروی جاذبه روی وزنه W_1 که آن را به طرف پایین می‌کشد،یک نیروی گشتاوری حول محور عمودی وارد کرده و باعث می‌شود که محور چرخش به عقب تغییر جهت محوری داده و به حالت افقی نزدیک شود.

با هر دو وزنه W و W_1 ،جایرو در اثر حرکت زمین شروع به انحراف می‌کند. اگر خارج از نصف‌النهار باشد، باعث تغییر جهت محوری آزیموت به سمت نصف‌النهار شده جایرو به سمت پایین به حالت تراز درمی‌آید ؛ در نتیجه عمل تراز وزنه W_1 هنگام نزدیک شدن به مدار نصف‌النهار موجب می‌شود که انحراف کمتری در اطراف نصف‌النهار انجام شود.

نتیجهٔ این عمل ترکیبی انحراف کمتر محور جایرو هنگام رسیدن به مدار نصف‌النهار است ؛ بنابراین، این تغییر جهت محور جایرو در مغرب نصف‌النهار به اندازه تغییر جهت محور جایرو در شرق نصف‌النهار (که در ابتدای نوسان به وجود آمده) نخواهد بود.

به هرحال نوسان ادامه داشته، پس از رسیدن به حد غربی خود، انتهای شمالی جایرو به طرف پایین کج خواهد شد.

همان‌گونه که تشریح شد،نوسانات متوالی از نظر اندازه بتدریج کوچک شده مسیر آنها طبق شکل (۱۵ــ۵) از حالت بیضی خارج شده و به شکل مارپیچ درآمده است. با



شکل ۱۵ــ۵ــ اثر هر دو وزنه روی جایروسکوپ

درنظر گرفتن عمل وزنه‌ها تنها حالت سکونی که برای جایرو امکانپذیر است، زمانی خواهد بود که محور جایرو افقی بوده و روی نصف‌النهار قرار داشته باشد.

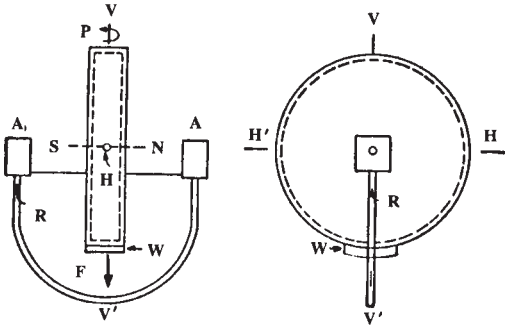
این جایروسکوپ آزاد اکنون به یک قطب نمای جایرو تبدیل شده است که می‌تواند روی نصف‌النهار قرار گرفته تراز شود. زمان تناوب را می‌توان با تغییر وزن وزنه W عوض کرده با تغییر اندازه W_1 ، سرعت رسیدن به حالت سکون را میزان کرد.

قطب‌نمای جایروی ابتدایی برای استفاده در استوا بر روی یک سکوی ثابت طرح‌ریزی شده است. امروز قطب‌نمای جایرو طوری طرح‌ریزی شده که بتواند در شتابها و حرکات کشتیها در هر طول جغرافیایی عمل خود را انجام دهد.

اساس روشهای جاری

روشهای مختلفی برای جایگزینی وزنه‌هایی که تا به حال از آنها یاد کرده‌ایم، وجود دارد. دربارهٔ دو روش جاری متداول در این جا بحث خواهد شد.

۱ــ۶ــ۵ــ روش پاندولی ــ در بعضی قطب‌نماهای جایرویی از وزنه W براساس آنچه گفته شد، استفاده می‌شود؛ هرچند که به جای وزنه W_1 از یک بالستیک روغنی مطابق شکل (۱۶ــ۵) استفاده شده است.



محور چرخان _ S,N

محور عمودی _ V,V′

محور افقی _ H,H′

مخزنهای روغن متصل شده _ A,A

محدود کننده جریان روغن _ R

مشخصه وزنه یا پاندول _ W

نیروی جاذبه _ F

شکل ۱۶ــ ۵ــ طرز عمل میرایی قطب نمای پاندولی

دو مخزن که در داخل آنها روغن رقیق ریخته شده است، هم خط با محور شمالی ــ جنوبی روتور به دو طرف محفظه روتور متصل شده‌اند. این دو مخزن به‌وسیله لوله باریکی به یکدیگر مربوط هستند، به طوری که روغن می‌تواند به آهستگی از یک مخزن به مخزن دیگر جاری شود.

به‌خاطر باریک بودن مسیر حرکت روغن در لوله رابط، عمل میرایی به تأخیر می‌افتد. اثر این تأخیر موجب کندتر کردن اثر وزنه پاندولی می‌شود.

اگر انتهای شمالی محور جایروسکوپ بالا رود، وزنه پاندولی نیرویی را به‌طرف پایین به محور بالایی یا شمالی وارد می‌سازد ؛ در همین موقع روغن :

۱ــ از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جاری می‌شود.

۲ــ نیروی کمی به انتهای پایینی یا جنوبی وارد می‌سازد.

به علت مسیر باریک روغن در لوله رابط، جریان روغن برای مدتی بی‌اثر می‌شود. اگر انحراف برای مدت کافی ادامه داشته باشد، انباشته شدن روغن کافی در مخزن جنوبی، اثر وزنه پاندولی را در انتهای بالایی محور کم می‌کند. هرچه مدت زمان انحراف بیشتر باشد، مقدار روغن در مخزن جنوبی بیشتر شده و نیروی وارده به‌وسیله وزنه پاندولی بر روی محور شمالی کمتر خواهد شد.

اگر این انحراف معکوس شود و محور جنوبی بالا رود، روغن اضافی موجود در مخزن جنوبی بر انتهای بالایی محور نیرو وارد می‌سازد ؛ از این‌رو مدت کمی پس از معکوس شدن انحراف، وزن روغن مخزن جنوبی به نیروی اعمال شده به‌وسیلهٔ وزنه بر روی محور بالایی جنوبی افزوده می‌شود.

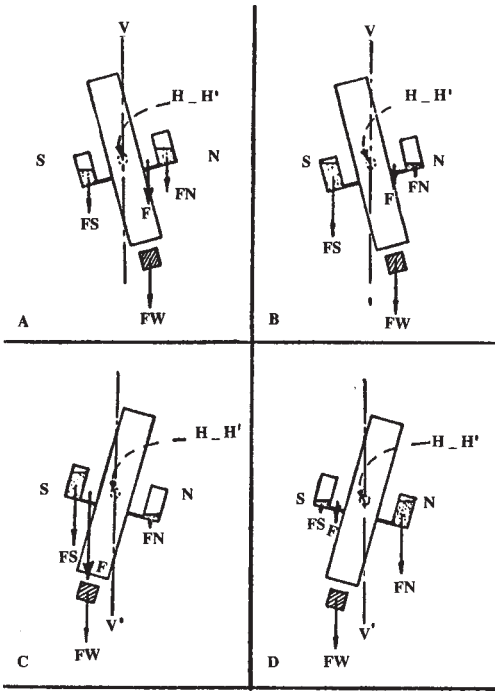
در شکل A (۱۷ــ۵) محور با انتهای شمالی خود به سمت بالا انحراف پیدا کرده زمان کافی برای عبور مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی وجود نداشته است.

در شکل B (۱۷ــ۵) حالت انحراف به مدت کافی باقی مانده تا مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی جاری شود و نیروی حاصل به مقدار زیادی کاهش یابد.

در شکل C (۱۷ــ۵) حالت انحراف معکوس شده است و هنوز مقداری روغن اضافی در مخزن جنوبی وجود دارد. این روغن اضافی به وزنه پاندولی اضافه شده باعث زیاد شدن نیرو می‌شود.

در شکل D (۱۷ــ۵) محور جنوبی برای مدتی به طرف بالا کج شده و روغن در مخزن شمالی جمع شده است ؛ به‌طوری که اثر وزنه کاهش یافته است. طول فلشها

مقدار نیروی اعمال شده را نشان می‌دهد.



FW نیرو به وسیله وزنه پاندولی اعمال شده
FS نیرو به وسیله روغن مخزن جنوبی اعمال شده
F نیروی نتیجه
FN نیرو به وسیله روغن مخزن شمالی اعمال شده

شکل ۱۷ــ۵ــ عمل مخزنهای میرا کننده

اگر قطب‌نمایی را که به اندازه ۳۰ درجه در شرق نصف‌النهار منحرف شده و تراز است، در نظر بگیریم (شکل ۱۸ــ۵) سرعت زمین باعث بالا رفتن محور شمالی خواهد شد.

این عمل باعث می‌شود که وزنه پاندولی و محور شمالی ارتفاع بگیرند ؛ در نتیجه یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی به وجود آمده،باعث تغییر جهت محوری، محور عمودی به سمت غرب می‌شود. هرچند که به علت ارتفاع گرفتن محور شمالی، مخزن شمالی بالا می‌رود، این کار باعث انتقال روغن به مخزن جنوبی می‌شود.

این عمل انتقال روغن به‌مخزن جنوبی، به‌خاطر باریک بودن لوله اتصال به آهستگی انجام گرفته است و در شروع اثر چندانی نخواهد داشت.

به مرور زمان روغنی که در مخزن جنوبی جمع می‌شود یک نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید می‌کند که با نیروی گشتاوری تولید شده به وسیله وزنه پاندولی مخالفت کرده در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل، از نیروی گشتاوری که به وسیله وزنه

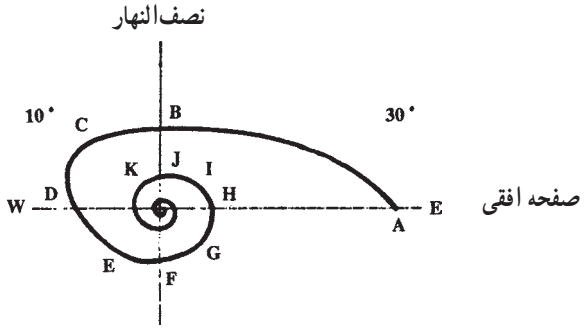
پاندولی تولید می‌شود کمتر خواهد بود.

سرعت تغییر جهت محوری به خاطر کم‌بودن نیروی گشتاوری که باعث تغییر جهت محوری می‌شود، کم خواهد بود. محور شمالی قطب‌نما تا زمانی‌که در مشرق نصف‌النهار باشد به صعود ادامه می‌دهد ؛ به‌طوری که وزنه پاندولی در تمام این مدت، نیروی گشتاوری کافی اعمال می‌کند تا در اثر آن محور مزبور به نصف‌النهار نزدیک شود (نقطه B شکل ۱۸ــ۵).

در هرحال این محور نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند، زیرا در این موقع دارای حداکثر انحراف بوده در نتیجه تغییر جهت محوری آن حداکثر خواهد بود.

هنگامی که محور شمالی قطب‌نما، نصف‌النهار را به طرف غرب قطع کند، گردش زمین باعث پایین آمدن محور شمالی خواهد شد.

این عمل باعث کاهش بیشتر تأثیر وزنه پاندولی خواهد شد و به علت بالا رفتن محور شمالی، روغن به مخزن جنوبی منتقل می‌شود تا سرانجام نقطه‌ای به‌دست خواهد آمد که در آن نیروی گشتاوری حاصل از روغن بالستیکی کاملاً برابر و مخالف با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی خواهد بود. در این موقع، نیروی گشتاوری منتجه حول محور افقی صفر است (شکل ۱۸ــ۵ نقطه C) ؛ بنابراین تغییر جهت محوری به‌طرف غرب متوقف می‌شود. در هر حال محور شمالی قطب‌نما (که در غرب نصف‌النهار قرار دارد) در اثر گردش زمین به پایین آمدن خود ادامه داده و درنتیجه نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی را کم می‌کند.



شکل ۱۸ــ۵ــ مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

اکنون نیروی گشتاوری حاصل از بالستیک روغن از نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی بیشتر بوده و باعث می‌شود گردش محور در جهت غرب انجام گیرد، حتی اگر هنوز محور تراز نشده باشد.

وقتی محور شمالی تراز شود نقطه D شکل (۱۸ــ۵) کماکان به دلیل باریک بودن لوله رابط مقداری روغن اضافی در مخزن جنوبی وجود خواهد داشت.

وجود روغن اضافی در مخزن جنوبی باعث می‌شود که تغییر جهت محوری به‌سمت شرق ادامه داشته محور شمالی در اثر گردش زمین به پایین آمدن ادامه دهد ؛ درنتیجه محور جنوبی بالا خواهد رفت.اکنون وزنه پاندولی یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی به وجود آورده که در ضمن باعث تغییر جهت محوری به سمت شرق می‌شود.

در این موقع بالستیک روغن و وزنه پاندولی نیروهای گشتاوری وارد می‌سازند که به یکدیگر کمک می‌کنند. در حالی که محور جنوبی ارتفاع یافته است، روغن آنقدر به مخزن شمالی منتقل می‌شود تا نقطه‌ای به‌دست آید که در آن‌جا مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه E شکل ۱۸ــ۵). تغییر جهت محوری به علت نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی به سمت شرق ادامه دارد و محور جنوبی ارتفاع یافته باعث انتقال روغن به مخزن شمالی می‌شود. این عمل مقداری روغن اضافی را در مخزن شمالی به وجود می‌آورد که باعث می‌شود نیروی گشتاوری حول محور افقی با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی مخالفت کند. تا زمانی‌که محور شمالی در غرب نصف‌النهار باشد، به پایین آوردن خود ادامه داده در نتیجه نیروی گشتاوری کافی برای رسیدن به نصف‌النهار تولید می‌کند (نقطه F شکل ۱۸ــ۵).

در این موقع حداکثر انحراف و حداکثر تغییر جهت محوری به‌وجود خواهد آمد که در نتیجه محور مزبور نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند.

محور شمالی قطب‌نما اکنون در شرق نصف‌النهار است که در اثر گردش زمین بالا رفته باعث کم شدن اثر وزنه پاندولی می‌شود.

در این مدت روغن در مخزن شمالی جمع می‌شود و سرانجام به نقطه‌ای خواهد رسید که در آن جا نیروی گشتاوری حاصل از بالستیک روغن به طور کامل مساوی و مخالف نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیلهٔ وزنه پاندولی را کاهش می‌دهد.

اکنون بالستیک روغن نیروی گشتاوری بیشتری از نیروی گشتاوری وزنه پاندولی ایجاد کرده باعث می‌شود که تغییر جهت محوری در سمت غرب انجام گیرد، حتی اگر محور شمالی هنوز تراز نشده باشد.

هنگامی که محور شمالی تراز می‌شود (نقطه H شکل ۱۸ــ۵)، به علت باریک

بودن لوله ارتباطی هنوز مقداری روغن در مخزن شمالی وجود دارد که باعث تغییر جهت قطب‌نما به طرف غرب می‌شود.

وقتی محور شمالی در اثر گردش زمین ارتفاع می‌گیرد، وزنه پاندولی را به‌طرف شمال بالا برده، یک نیروی گشتاوری حول محور افقی ایجاد می‌کند که باعث تغییر جهت محوری به سمت غرب می‌شود.

نیروهای گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی بالستیک روغن یکدیگر را کمک می‌کنند.

اکنون که محور شمالی ارتفاع گرفته است، روغن به مخزن جنوبی منتقل شده، سرانجام به نقطه‌ای خواهد رسید که مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه I شکل ۱۸ــ۵). در اثر وزنه پاندولی تغییر جهت محوری در جهت غرب ادامه یافته، عمل انتقال روغن به مخزن جنوبی که اکنون یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید می‌کند، ادامه خواهد یافت. این نیروی گشتاوری با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی مخالفت می‌کند تا زمانی‌که محور شمالی در شرق نصف‌النهار قرار دارد به‌عمل بالا رفتن ادامه می‌دهد.

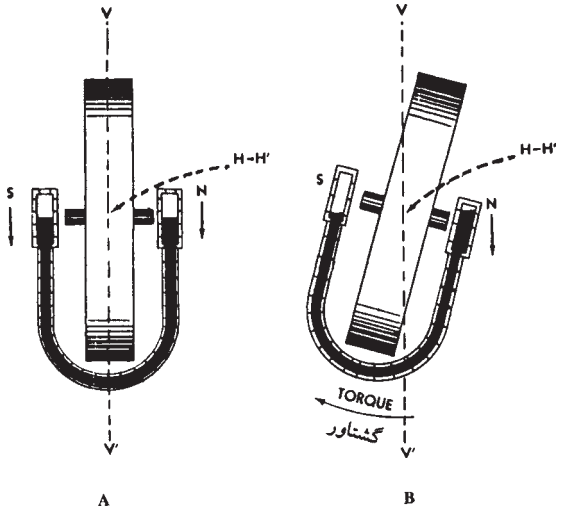
وقتی محور شمالی به نصف‌النهار رسید ،دارای حداکثر انحراف و بنابراین حداکثر تغییر جهت محوری بوده، در نتیجه نمی‌تواند در نصف‌النهار باقی بماند (نقطه J شکل ۱۸ــ۵). این عمل تا حدود ۲۱/۵ نوسان ادامه می‌یابد و سپس قطب‌نما متوقف شده روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

به علت حرکت آهسته روغن،اثر مخزنهای میرایی همیشه پس از اثر وزنه پاندولی ظاهر می‌شود. این زمان تأخیری بالستیک روغن را به‌عنوان یک عنصر میرایی مفید درمی‌آورد، زیرا بالستیک اجازه می‌دهد که وزن روغن، درست در موقع دور شدن نوسانات از نصف‌النهار با آنها مخالفت کند.

۲ــ۶ــ۵ــ روش غیر پاندولی ــ روش دیگر برای جایگزینی وزنه‌ها، استفاده از بالستیک جیوه‌ای است. در این روش از دو مخزن جیوه که هر کدام در یک انتهای محور روتور سوار شده‌اند، استفاده شده است. این دو مخزن به‌وسیله یک لوله به‌یکدیگر وصل شده‌اند ؛ به‌طوری که جیوه می‌تواند آزادانه از یک مخزن به مخزن دیگر جریان پیدا کند (شکل A ۱۹ــ ۵).

هنگامی که محور تراز باشد، مقدار جیوه در هر دو مخزن و وزن آنها برابر بوده

نیرویی که هر کدام به انتهای محور وارد می‌سازند، با یکدیگر مساوی است.



شکل ۱۹ــ۵ــ عمل متعادل‌کننده یک بالستیک جیوه‌ای

بنابراین در حول محورها هیچ‌گونه نیروی گشتاوری ایجاد نخواهد شد. هنگامی‌که محور منحرف می‌شود، حتی به مقدار خیلی کم شکل(B ۱۹ــ۵)جیوه از طریق لوله ارتباطی از مخزن بالایی به مخزن پایینی جاری می‌شود.

در این موقع مقدار جیوه دو مخزن دیگر برابر نخواهد بود، چون مخزن پایین به‌علت داشتن جیوه سنگینتر شده است ؛ بنابراین مخزن پایینی، نیرویی بیشتر از مخزن بالایی به محور وارد می‌سازد که در نتیجه یک نیروی گشتاوری در حول محور .H – H به‌وجود می‌آید.

این نیروی گشتاوری که به ظاهر میل به انحراف بیشتری دارد، به‌جای این عمل تغییر جهت محوری را در حول محور عمودی .V – V سبب می‌شود. وقتی از انتهای جنوبی محور به روتور نگاه کنید، خواهید دید که روتور در این قطب‌نما،عکس جهت عقربه‌های ساعت گردش می‌کند. هنگامی که انتهای شمالی پایین باشد، جیوه اضافی در مخزن شمالی فشاری به سمت پایین بر روی انتهای شمالی محور وارد ساخته، تغییر جهت محوری در جهت مشرق یا در جهت حرکت عقربه ساعت ایجاد می‌کند. موقعی که انتهای شمالی بالا است، جیوه اضافی در مخزن جنوبی فشاری به‌سمت پایین بر روی انتهای جنوبی محور وارد ساخته، باعث گردش محور در جهت غرب یا عکس عقربه‌های ساعت می‌شود.

همان‌طور که می‌دانید، زمانی که انتهای شمالی محور روتور در شرق نصف‌النهار قرار گیرد، گردش زمین باعث بالا رفتن انتهای شمالی این محور می‌شود.

وقتی یک بالستیک جیوه‌ای به جایروسکوپ اضافه می‌شود، بالا رفتن محور شمالی یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی ایجاد می‌کند که تغییر جهت محوری در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت یا در جهت مغرب تولید می‌کند. وقتی که انتهای شمالی محور در غرب نصف‌النهار باشد، گردش زمین باعث پایین آمدن آن می‌شود.

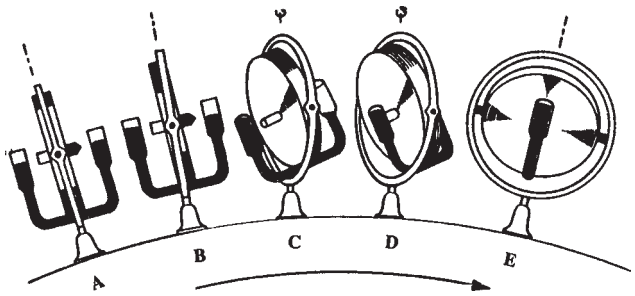
محور شمالی اگر پایین باشد، باعث می‌شود که بالستیک جیوه‌ای یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید کرده، یک تغییر جهت محوری در جهت حرکت عقربه ساعت یا درجهت مشرق به‌وجود بیاید.

اگر این جایروسکوپ همراه با بالستیک جیوه‌ای خود روی خط استوا طوری قرار گیرد که محور آن به طرف مشرق نصف النهار و چرخش روتور آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت باشد (شکل A ـ ۲۰ـ۵)، انتهای شمالی محور به‌علت چرخش زمین در زیر آن به طرف بالا کج می‌شود.

وقتی این حالت کج شدن اتفاق افتاد، جیوه از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جریان یافته و مخزن جنوبی سنگینتر می‌شود. مخزن جنوبی یک نیروی گشتاوری حول محور افقی وارد می‌سازد (شکل B ـ ۲۰ـ۵)،این نیروی گشتاوری باعث یک حرکت محوری در حول محور عمودی به سمت نصف‌النهار و مغرب می‌شود. چون زمین به‌طور دائم می‌چرخد، جایروسکوپ به‌طور متناوب به‌طرف بالا کج می‌شود و بنابراین جیوه بیشتری به داخل مخزن جنوبی جاری شده و نیروی گشتاوری حول محور افقی بتدریج همراه با زیاد شدن تغییر جهت محوری حول محور عمودی زیادتر می‌شود (شکل C و D ۲۰ـ ۵).

این انحراف تا زمانی که محور جایروسکوپ روی نصف‌النهار قرار دارد، به‌سمت بالا ادامه خواهد داشت (شکل E ۲۰ـ۵) و مقدار جیوه مخزن جنوبی از مخزن شمالی بیشتر بوده جایروسکوپ در بیشترین مقدار خود به سمت بالا کج می‌شود. در این نقطه سرعت تغییر جهت محوری در حداکثر مقدار خود است.

پس از این‌که محور جایروسکوپ، نصف‌النهار را قطع کرد، به سمت پایین کج می‌شود و درنتیجه جیوه از مخزن جنوبی به مخزن شمالی جریان می‌یابد. این انتقال



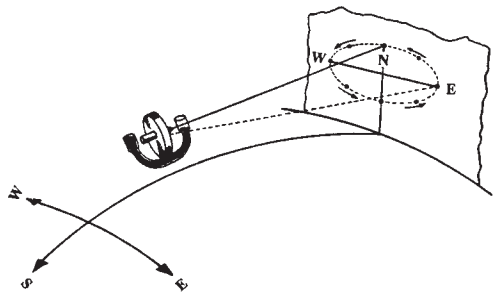
شکل ۲۰ــ۵ــ چرخش زمین از غرب به شرق

جیوه بتدریج نیروی گشتاوری را درحول انتهای جنوبی محور کاهش می‌دهد که در ضمن سرعت تغییر جهت محوری جایروسکوپ نیز متناسب با آن در حول محور عمودی کاهش می‌یابد. وقتی محور جایروسکوپ دوباره تراز شد، به سمت مغرب نصف‌النهار نشانه رفته، جیوه به مقدار مساوی در دو مخزن تقسیم می‌شود ؛ درنتیجه هیچ نیروی گشتاوری به محور شمالی یا جنوبی وارد نشده تغییر جهت محوری متوقف می‌شود.

همین‌طور که زمین به حرکت خود ادامه می‌دهد، انتهای شمالی محور جایروسکوپ به‌طرف پایین کج شده جیوه به داخل مخزن شمالی جریان می‌یابد که یک نیروی گشتاوری به انتهای شمالی محور چرخان وارد می‌سازد ؛ از این‌رو جهت گردش محور معکوس شده در جهت شرق قرار می‌گیرد. کج شدن محور چرخان به‌طرف پایین ادامه داشته مقدار نیروی گشتاوری و سرعت تغییر جهت محوری افزایش می‌یابد.

زمانی که محور جایروسکوپ به نصف‌النهار می‌رسد، سرعت گردش محور آن دوباره به حداکثر رسیده در این موقع به طرف پایین کج می‌شود. پس از گذشتن جایروسکوپ ازنصف‌النهار، چرخش زمین باعث می‌شود که انتهای شمالی محور جایروسکوپ به طرف بالا شروع به کج شدن کند. مادامی‌که این عمل اتفاق می‌افتد، نیروی گشتاوری حول محور شمالی بتدریج به صفر رسیده حرکت تغییر جهت محوری حول محور عمودی آهسته می‌شود تا این‌که محور جایروسکوپ دو مرتبه افقی‌تر شده وتغییر جهت محوری متوقف می‌شود.

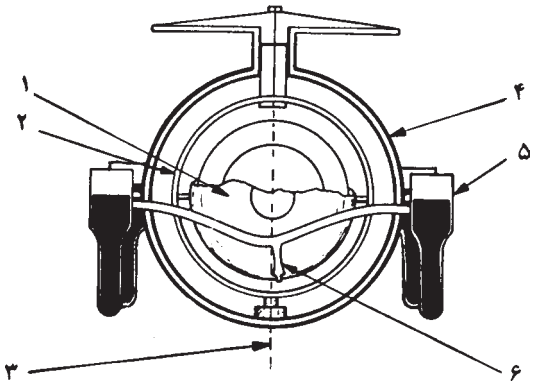
وقتی محور جایروسکوپ افقی می‌شود، محور به سمت نقطه شروع حرکت اولی خود برمی‌گردد. شکل (۲۱ــ۵) نشان می‌دهد که مسیر طی شده به‌وسیلهٔ محور شمالی جایروسکوپ شکل بیضی دارد و تا زمانی‌که روتور جایروسکوپ به چرخش خود ادامه دهد، جایروسکوپ به نوسان خود ادامه می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۵ــ زمان تناوب قطب نمای میرا نشده در استوا

در این قطب نمای غیرپاندولی که از بالستیک جیوه ای استفاده می شود، میراشدن نوسانات با به کاربردن قسمتی از نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیله عمل نیروی جاذبه مؤثر بر بالستیک جیوه‌ای صورت می‌گیرد که در این صورت مقداری از انحراف که به‌وسیله گردش زمین به محور روتور داده شده از بین می‌رود.

همان‌طور که قبلاً در مبحث بالستیکهای جیوه‌ای شرح داده شد، مخزنها به‌طور مستقیم به دو انتهای محور روتور روی یاتاقانها نصب شده‌اند. در قطب نمای واقعی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بالستیک در روی حلقه فانتوم طوری متکی شده است که تنها نقطه اتصال آنها با قسمت حساس جایروسکوپ از طریق یک بازوی اتصال بوده که در مقابل قسمت انتهای محفظه روتور مقاومت می‌کند (شکل ۲۲ــ۵). محفظه روتور مانند حلقه داخلی جایروسکوپ بوده، یاتاقانی را که محور بر روی آن می‌چرخد، نگاه می‌دارد.



۱ــ قفسه روتور
۲ــ حلقه عمودی
۳ــ خط مرکز
۴ــ قسمت فانتوم
۵ــ بالستیک جیوه‌ای
۶ــ بازوی اتصال خارجی

شکل ۲۲ــ۵ــ اجزای قطب نمای غیر پاندولی

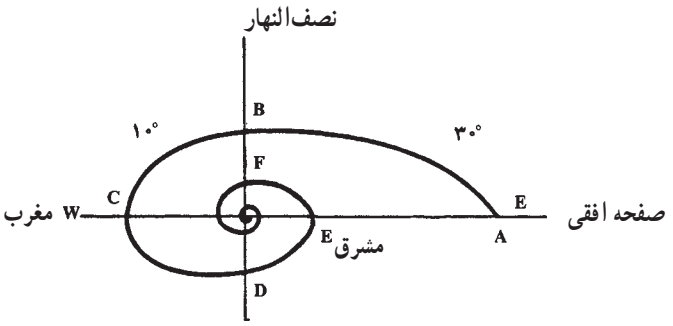
اگر نقطه اتصال بین بالستیک جیوه‌ای و محفظه روتور در یک خط با محور عمودی باشد، تنها نیروی گشتاوری که به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای وارد می‌شود، به‌دور محور افقی اثر گذاشته تغییر جهت محوری حاصل تنها در حول محور عمودی انجام می‌گیرد. در این صورت قطب‌نما تنها در اطراف نصف‌النهار نوسان خواهد کرد.

درهرحال، اگر نقطه اتصال بین مخازن بالستیک و محفظه روتور به اندازه کسری از اینچ به‌طرف شرق محور عمودی قرار داده شود (شکل ۲۲ــ ۵)، نیروی ایجاد شده به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای به هر دو محور افقی و عمودی اعمال شده نیروی گشتاوری به دور هر دو محور وارد می‌شود و سپس تغییر جهت محوری در حول هر دو محور عمودی و افقی رخ می‌دهد. تغییر جهت محوری در حول محورافقی خیلی آهسته‌تر از تغییر جهت محوری در حول محور عمودی صورت می‌گیرد، زیرا نقطه اتصال به‌فاصله خیلی کمی از محور عمودی تغییر محل داده شده است.

وقتی که قطب‌نما در ۳۰ درجه شرقی نصف‌النهار تراز شود (نقطه A شکل ۲۳ــ۵)، گردش زمین باعث بالا رفتن محور شمالی می‌شود. وقتی انتهای شمالی بالا رفت سبب می‌شود که جیوه به مخزن جنوبی منتقل شود.

اثر جاذبه زمین روی این جیوه اضافی در مخزن جنوبی باعث اعمال نیروهای گشتاوری در حول هر دو محور افقی و عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور افقی باعث تغییر جهت محوری انتهای شمالی محور جایروکمپاس به سمت مغرب در حول محور عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری انتهای شمالی محور قطب‌نمای جایرو به‌طرف پایین در حول محور افقی می‌شود. در این موقع، تغییر جهت محوری حول محور افقی با گردش ظاهری در حول محور افقی مخالفت می‌کند. تغییر جهت محوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت قطب‌نما به‌طرف نصف‌النهار می‌شود. در هرحال، قطب‌نما نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند (نقطه B شکل ۲۳ــ۵). زیرا در این موقع قطب‌نما در حداکثر انحراف خود است و به همین جهت دارای حداکثر سرعت تغییر جهت محوری در حول محور عمودی خواهد بود.

در حالی که جایرو تغییر جهت محوری داده از نصف‌النهار می‌گذرد، جهت گردش ظاهری در حول محور افقی و جهت تغییر جهت محوری در حول محور افقی هر دو به طرف پایین خواهند بود. این عمل باعث تراز جایرو می‌شود (نقطه C شکل ۲۳ــ۵).



شکل ۲۳ــ۵ــ مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای غیر پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

هنگامی که محور تراز شد، تغییر جهت محوری به‌علت عدم اعمال نیروی گشتاوری به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای متوقف می‌شود.

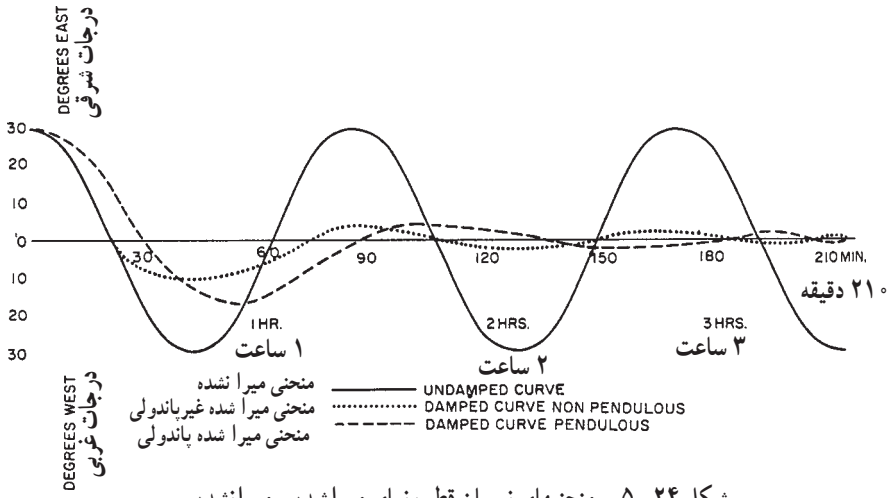
اگر نیروهای گشتاوری لازم و کافی اعمال شده باشند، قطب‌نما تنها به اندازه ۱۰ درجه از غرب نصف‌النهار دور شده، نوسان به اندازهٔ ۶۶ درصد کاهش می‌یابد.

مادامی‌که زمین به گردش خود ادامه می‌دهد، باعث می‌شود که قطب‌نما به حالت تراز باقی نماند. گردش ظاهری حول محور افقی سبب می‌شود که محور شمالی به طرف پایین کج شود. این عمل باعث انتقال جیوه به مخزن شمالی می‌شود. اثر جاذبه زمین بر روی این جیوه اضافی در مخزن شمالی موجب ایجاد نیروهای گشتاوری در حول محور افقی و عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور افقی سبب تغییر جهت محوری درحول محور عمودی گردیده و انتهای شمالی به طرف مشرق حرکت می‌کند. نیروی گشتاوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری در حول محور افقی شده و انتهای شمالی به طرف بالا حرکت می‌کند و دوباره با گردش ظاهری حول محور افقی مخالفت می‌کند.

تغییر جهت محوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری جایرو به‌طرف نصف‌النهار می‌شود (نقطه D شکل ۲۳ــ۵) و جایرو نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند، زیرا در این زمان دارای حداکثر انحراف و در نتیجه دارای حداکثر سرعت تغییر جهت محوری بوده و باعث می‌شود که جایرو با تغییر جهت محوری از نصف‌النهار بگذرد. اکنون که محور شمالی دوباره در شرق نصف‌النهار قرار دارد، گردش ظاهری حول محور افقی و سمت تغییر جهت محوری حول محور افقی باعث می‌شوند که محور شمالی با سرعت بیشتری تراز شود (نقطه E شکل ۲۳ــ۵). در این لحظه قطب‌نما

تقریباً به اندازه $۳\frac{۱}{۳}$ درجه شرقی از نصف‌النهار دور می‌شود. این عمل میرایی تقریباً به اندازه $۱\frac{۱}{۲}$ نوسان ادامه دارد ؛ سپس قطب‌نما روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

برای مقایسه، منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای میرا نشده (Undamping) و منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای غیرپاندولی و پاندولی میرا شده در شکل (۲۴ــ۵) نشان داده شده‌اند. زمان تناوب نوسانات میرا شده برای هر دو قطب‌نما تا حدی بیشتر از زمان تناوب نوسانات میرا نشده بوده و همچنین زمان تناوب میرا شده قطب‌نمای پاندولی از قطب‌نمای غیرپاندولی بیشتر است.



شکل ۲۴ــ۵ــ منحنیهای نوسان قطب نمای میرا شده و میرا نشده

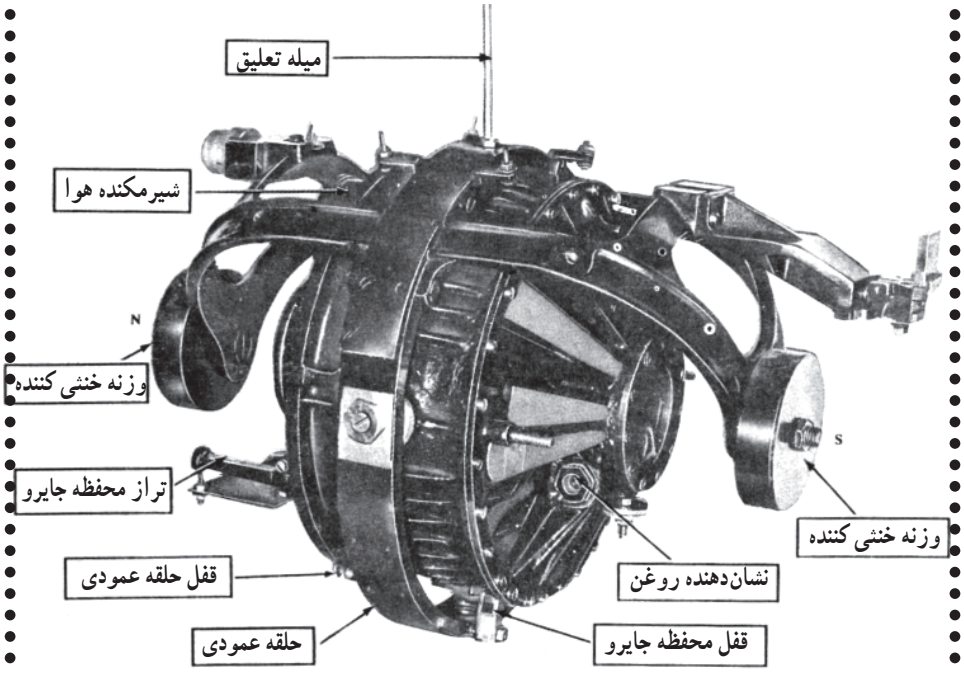
مقداری که هر نوسان متوالی از نصف‌النهار می‌گذرد به‌وسیله دستگاه میراکننده کاهش می‌یابد ؛ البته مقدار این کاهش در کلیه نوسانات یکسان نیست.

در قطب نمای پاندولی کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی کمتر است. در قطب‌نمای غیر پاندولی، کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی بیشتر است. میانگین مقداری که نوسانات متوالی بتدریج کاهش می‌یابند، درصد میرایی یا ضریب میرایی نامیده می‌شود. میانگین این مقدار در حدود ۷۰ درصد در قطب نماهای پاندولی و غیرپاندولی است.

۷ــ ۵ــ قسمتهای مختلف اِلمان حسّاس جایرو (Sensitive element)

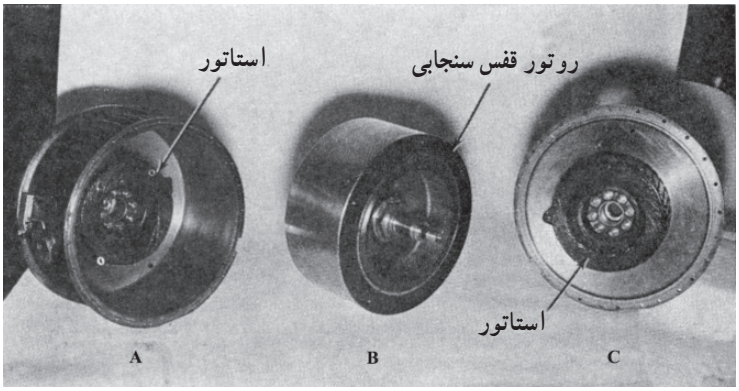
قسمت حساس جایرو که در شکل (۲۵ــ۵) نشان داده شده است، همان سیستم

شمال‌یاب قطب‌نما است. این قسمت شامل دستگاه جایرو، حلقه عمودی، وزنه‌های خنثی‌کننده، شاخص دنباله‌رو و قسمت مُعلّق است. اجزای قطب‌نمای جایرو اسپری مارک ۱۱ مدل ۶ به عنوان نمونه تشریح می‌شود.



شکل ۲۵ــ۵ــاجزای قسمت حسّاس قطب‌نمای اسپری مارک ۱۱ مدل ۶

۱ــ۷ــ۵ــ موتور جایرو ــ این دستگاه یک نیروی جهت‌دار برای قسمت حساس فراهم می‌سازد که باعث شمال‌یابی قطب‌نما می‌شود. این دستگاه شامل موتور و محفظه است (شکل ۲۶ــ۵).



شکل ۲۶ــ۵ــ A و C استاتور موتور جایرو. B روتور موتور جایرو

دور موتور جایرو خیلی زیاد است (درحدود ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه). محفظه موتور شکل C و A (۲۶ــ۵) دارای یک سیم‌پیچ دو استاتوری سه فاز است که هر استاتور بر روی نیمی از محفظه سوار شده است.

محفظه، ضد نفوذ هوا است و موتور در خلأ کار می‌کند تا اصطکاک حاصل از مقاومت هوا را کم کند.

۲ــ۷ــ۵ــ حلقه عمودی ــ حلقه عمودی (شکل ۲۵ــ۵) به یک سیستم آویزان از قسمت سر فانتوم وصل شده است. حلقه فانتوم با حلقه عمودی متحدالمرکز بوده، قسمت حساس را کاملاً احاطه کرده است. یاتاقانهای نگاه‌دارنده فوقانی و تحتانی از حرکات عرضی حلقه عمودی در داخل حلقه فانتوم جلوگیری می‌کند. جدار خارجی یاتاقان بالایی به‌وسیله حلقه فانتوم نگاه داشته می‌شود و جدار داخلی یاتاقان از بست پایینی قسمت معلق تشکیل شده است. همچنین جدار خارجی یاتاقان پایینی در انتهای حلقه عمودی متصل شده و جدار داخلی از یک بست عمودی که از انتهای حلقه فانتوم به طرف بالا رفته، تشکیل شده است. برای جلوگیری از انحراف محفظه جایرو حول محور افقی خود هنگامی‌که قطب‌نما کار نمی‌کند. یک قفل برای محفظه جایرو تعبیه شده است. همچنین یک قفل نیز برای حلقه عمودی به منظور هم خط نگاه داشتن حلقه عمودی با حلقه فانتوم درنظر گرفته شده است.

۳ــ۷ــ۵ــ وزنه‌های خنثی‌کننده ــ وزنه‌های خنثی‌کننده (شکل ۲۵ــ۵) به‌وسیله دو قاب که به حلقه عمودی متصل است، نگهداری می‌شوند. این قابها در پشت دو انتهای محور روتور قرار گرفته‌اند. عمل این وزنه‌ها برای متعادل کردن وزن جایرو در اطراف محور عمودی است. آرمیچر انتقال‌دهنده سیگنال یا ترانسفورمر دنباله‌رو به یک بازو متصل است که به‌طور افقی از قسمت بالایی قاب وزنه خنثی‌کننده جنوبی بیرون آمده است.

۴ــ۷ــ۵ــ شاخص دنباله‌رو (فالو آپ) ــ شاخص دنباله‌رو وضعیت حلقه فانتوم را نسبت به اِلمان حسّاس نشان می‌دهد. این شاخص از یک صفحهٔ مدرّج و یک عقربه تشکیل شده است. صفحه برحسب درجه مدرّج شده و مرکز آن با حرف «O» نشان داده شده است تا در صورت وجود انحراف بین فانتوم و اِلمان حسّاس مشخص شود.

۵ــ۷ــ۵ــ سیمهای تعلیق اِلمان حسّاس (رابط نگاه دارنده) ــ سیمهای تعلیق (شکل ۲۵ــ۵) تمام اِلمان حسّاس را از قسمت فانتوم آویزان نگاه می‌دارند. این

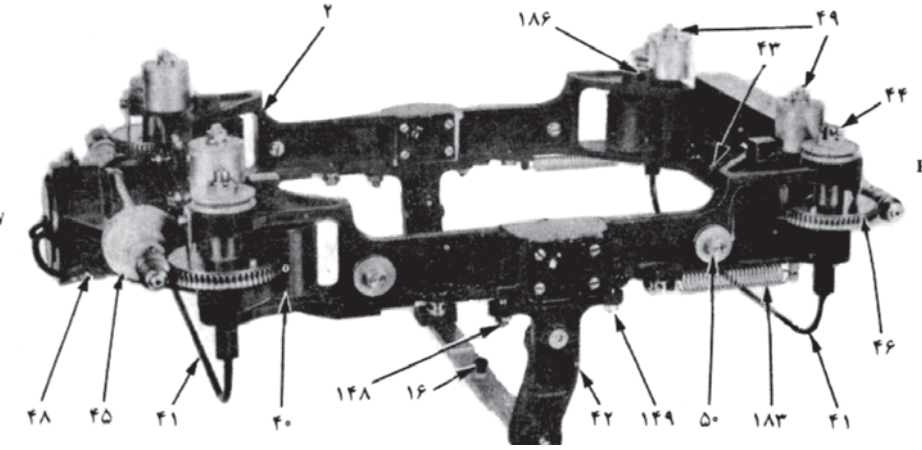
قسمت شامل تعدادی سیمهای باریک فولادی است که از انتهای بالایی به یک بست نگاه دارنده و از انتهای پایین به یک بست هدایت‌کننده متصل شده‌اند. یک مهره تنظیم، بست نگاه‌دارنده را به قسمت فانتوم متصل می‌کند و وسیله‌ای است برای نگاه داشتن قسمت حساس به‌صورت عمودی. بست راهنما (Guide Stud) از طریق یک حفره که در قسمت بالایی حلقه عمودی قرار داده شده، عبور کرده و به‌وسیله یک مهره به‌حلقه، اتصال داده شده است.

بالستیک جیوه‌ای ــ بالستیک جیوه‌ای (متعادل کننده جیوه‌ای) از قسمتهایی تشکیل یافته که نیروی کنترل کننده جاذبه را به دستگاه جایرو اعمال کرده و باعث می‌شوند که جایرو شمال‌یابی کند. این قسمت دارای یک قاب ثابت است که روی یاتاقانهای حلقه فانتوم نگهداری می‌شود. این یاتاقانها با یاتاقانهای محفظه افقی در حلقه عمودی طوری در یک خط قرار گرفته‌اند که بالستیک جیوه‌ای بتواند آزادانه درحول محور مشرق ــ مغرب قسمت حساس کج شود.

قاب مزبور در هر یک از چهار گوشه خود یک مخزن جیوه دارد. مخزنهای شمالی و جنوبی در کنارهٔ شرقی قطب‌نما به‌وسیله یک لوله «U» شکل و مخزنهای شمالی و جنوبی در کنارهٔ غربی نیز به همین ترتیب به یکدیگر ارتباط یافته‌اند. نیروی کنترل‌کننده جاذبه بالستیک جیوه‌ای از طریق بست قابل تنظیم یاتاقان که روی بازوی اتصال بالستیک سوار است، به انتهای محفظه جایرو اعمال می‌شود (شکل ۲۷ــ۵).

یاتاقان اتصال از محور عمودی به اندازه کمی به طرف مشرق منحرف می‌شود تا مقدار میرایی تنظیم شود. هنگامی که حذف میرایی مورد نظر باشد، یک سولونوئید (یا مغناطیس حذف کننده میرایی) به وسیله یک کلید خودکار (حذف کننده میرایی) تحریک شده یک پیستون را جذب می‌کند که جذب این پیستون موجب حرکت بازویی می‌شود و تا وقتی که یاتاقان اتصال با محور عمودی جایرو در یک خط قرار گیرد، حرکت آن ادامه خواهد داشت.

علاوه بر این، هر مخزن جیوه از پایه نگاه‌دارنده خود طوری منحرف می‌شود که بتواند به دور شاخهٔ خود در قوسی برابر ۱۱۰ درجه بچرخد تا بازوی اهرم هریک از مخزنها را تکان دهد. به این ترتیب زمان تناوب یک نوسان میراکننده قطب‌نمای جایرو در تمام طولهای جغرافیایی به وسیله میزان کردن مخازن جیوه ثابت نگاه داشته می‌شود. این تنظیم کردن را تنظیم طول جغرافیایی بالستیک می‌نامند.



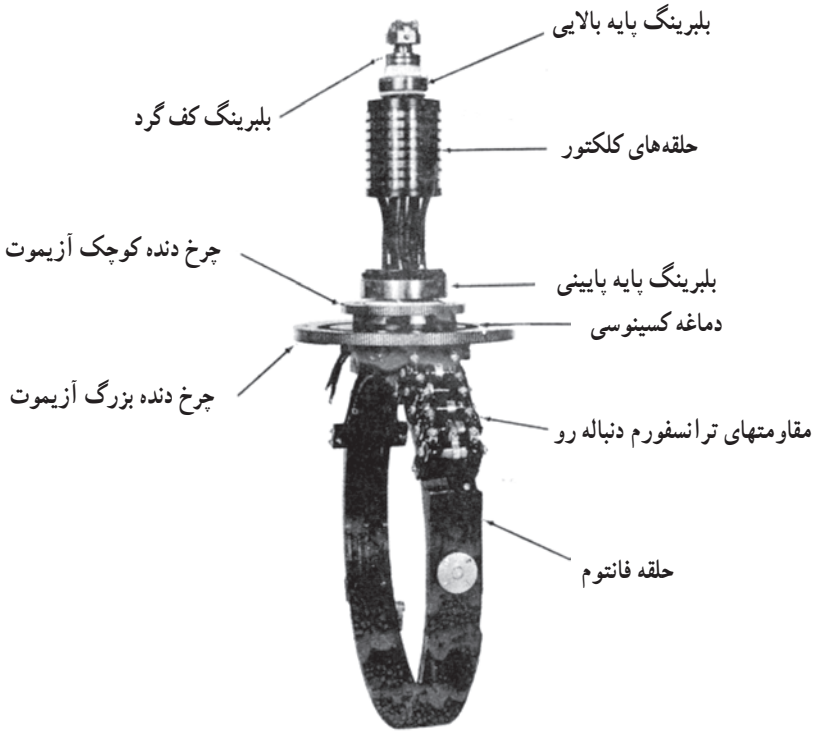
۲قاب بالستیک جیوه‌ای
۱۶ بست اتصال
۴۰ مخازن جیوه
۴۱ لوله جیوه
۴۲ بازوی اتصال
۴۳ بست نگاه دارنده بالستیک جیوه‌ای
۴۴ مهره نگهدارنده مخزن جیوه‌ای
۴۵ چرخ تنظیم طول جغرافیایی
۴۶ صفحهٔ مدرّج طول جغرافیایی
۴۸ مغناطیس حذف کنندهٔ میرایی
۴۹ وزنه‌های بالانس کنندهٔ غیر پاندولی
۵۰ وزنه‌های بالانس کنندهٔ افقی
۱۴۸ پیچ تنظیم غیر میرایی
۱۴۹ تنظیم میرایی
۱۸۳ فنر اتصال مغناطیس
۱۸۶ حفره‌های پیچ تراز کننده

شکل ۲۷ــ ۵ــ بالستیک جیوه‌ای

۸ــ۵ــقسمت فانتوم (نگاه‌دارنده اِلمان حسّاس)

فانتوم (شکل ۲۸ــ۵) از مجموعه قسمتهایی که قسمت حساس را نگهداری می‌کند، تشکیل شده است. این قسمت یک استوانه توخالی است که به‌طور شعاعی از حلقه فانتوم خارج شده است. قست فانتوم به‌وسیله سیمهای تعلیق، قسمت حساس را نگاه می‌دارد و از خود هیچ‌گونه خاصیت شمال‌یابی ندارند، اگرچه همواره جهت شمال را نشان می‌دهد (زیرا طوری ساخته شده که تمام حرکات قسمت حساس را به‌وسیلهٔ عمل سیستم تعقیب‌کننده دنبال می‌کند).

یک یاتاقان کف گِرد روی بدنه در مرکز دستگاه اسپایدر مطابق شکل (۲۸ــ۵) قرار گرفته است و وزن قسمتهای فانتوم و حساس را تحمل می‌کند. یاتاقانهای بالایی



شکل ۲۸ــ۵ ــ قسمت فانتوم اسپری مارک ۱۱

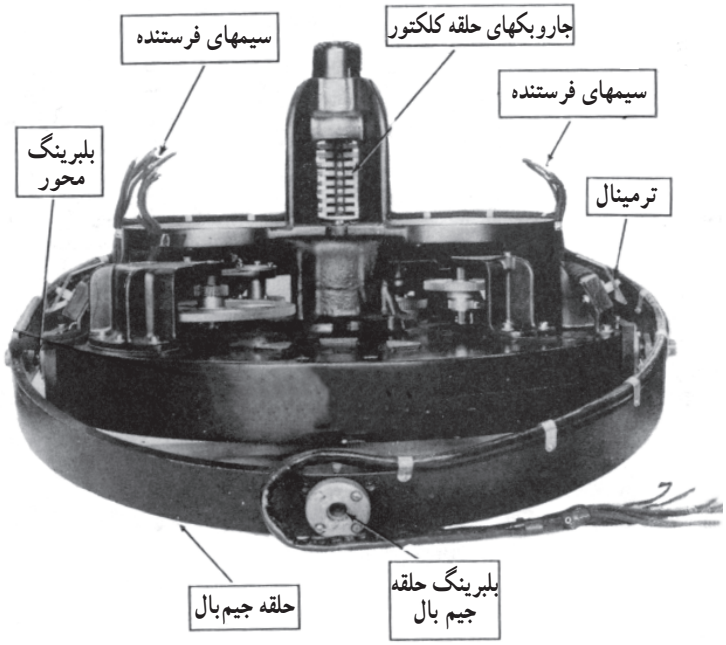
و پایینی بدنه، آن را با محور عمودی اسپایدر در یک خط نگاه می‌دارند، اما قسمت فانتوم را آزاد می‌گذارند تا در حول محور عمودی خود بچرخد.

حلقه فانتوم همچنین یاتاقانهایی را که حامل بالستیک جیوه‌ای هستند،نگاه می‌دارد. محور این یاتاقانها با محور یاتاقانهای افقی دستگاه جایرو منطبق هستند. حلقه‌های کلکتور روی بدنه فانتوم در زیر یاتاقان بالایی بدنه سوار شده‌اند تا مدارهای مختلف الکتریکی را از قسمت ثابت به قسمتهای متحرک قطب‌نما اتصال دهند. چرخ‌دنده‌های بزرگ و کوچک آزیموت در مکانیزم آزیموت دنباله‌رو قرار دارند.

اسپایدر ــ اسپایدر (شکل ۲۹ــ۵) یک میز دایره‌ای ازجنس آلیاژ آلومینیوم است که تمام قسمت داخلی یا متحرک قطب‌نما را به‌وسیله دستگاهی که روی آن یاتاقانهای کف‌گرد قرار دارند ؛ نگاه می‌دارد.

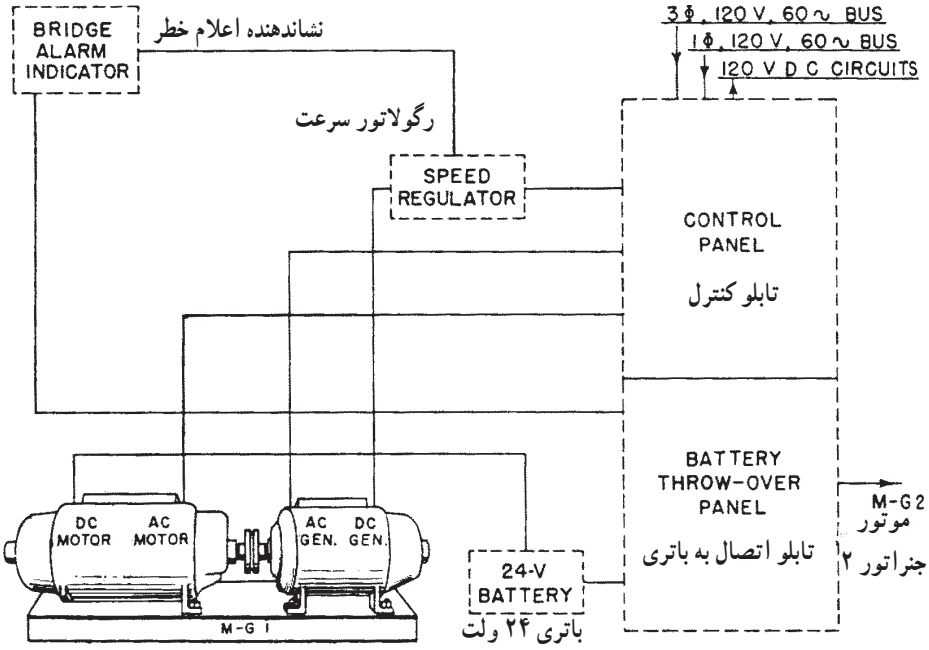
۹ــ۵ــ سیستم کنترل جایرو

سیستم کنترل و اعلام خطر جایرو شامل یک موتور جنراتور، رگولاتور سرعت، پانل کنترل، پانل تغذیه از باتری و سیستم اعلام خطر است. کلید نشاندهنده‌ها و کلیدهای



شکل ۲۹ــ۵ــ اسپایدر جایروی اسپری مارک ۱۱

کنترل بر روی پانل کنترل نصب شده‌اند. شکل (۳۰ــ۵) قسمتهای مختلف یک سیستم کنترل جایرو را نشان داده است.



شکل ۳۰ــ۵ــ سیستم کنترل و اعلام خطر

سیستم تغذیه جایرو شامل منبع اصلی و اضطراری است که سیستم اصلی آن برق سه فاز متناوب و برق اضطراری آن منبع جریان مستقیم باتری است.

۱ــ۹ــ۵ــ موتور جنراتور ــ برای هر دستگاه جایرو، یک کنورتور مجزا درنظر گرفته شده است. هر دستگاه کنورتور شامل یک موتور القایی، یک موتور اضطراری DC، یک جنراتور AC و یک جنراتور DC است. موتور القایی و موتور اضطراری DC روی یک شافت مشترک در داخل یک قاب سوار شده‌اند. جنراتور AC و جنراتور DC همچنین روی یک شافت مشترک در داخل یک پوسته قرار گرفته‌اند. شافتهای این دو واحد به‌طور مستقیم متصل شده‌اند.

۲ــ۹ــ۵ــ سیستم تغذیه از باتری ــ هر دستگاه موتور جنراتور به‌صورت یک واحد کامل درآمده و روی یک صفحهٔ نگاه‌دارنده سوار شده است. تحت شرایط عادی، موتور القایی عامل تحرک جنراتور AC و جنراتور DC است و در صورت قطع برق، موتور القایی تحرک لازم را از طریق موتور DC که از برق باتری تغذیه می‌کند، به‌دست می‌آورد.

۳ــ۹ــ۵ــ تنظیم‌کننده سرعت (تابلو کنترل) ــ تنظیم‌کننده سرعت دستگاهی است که تغییرات ولتاژ منبع تغذیه یا فرکانس آن را جهت ثابت نگاه داشتن سرعت موتور القایی کنترل می‌کند؛ بنابراین ولتاژ اعمال شده به موتور جایرو دارای مقداری ثابت است.

۱۰ــ۵ــ موارد استفاده جایرو

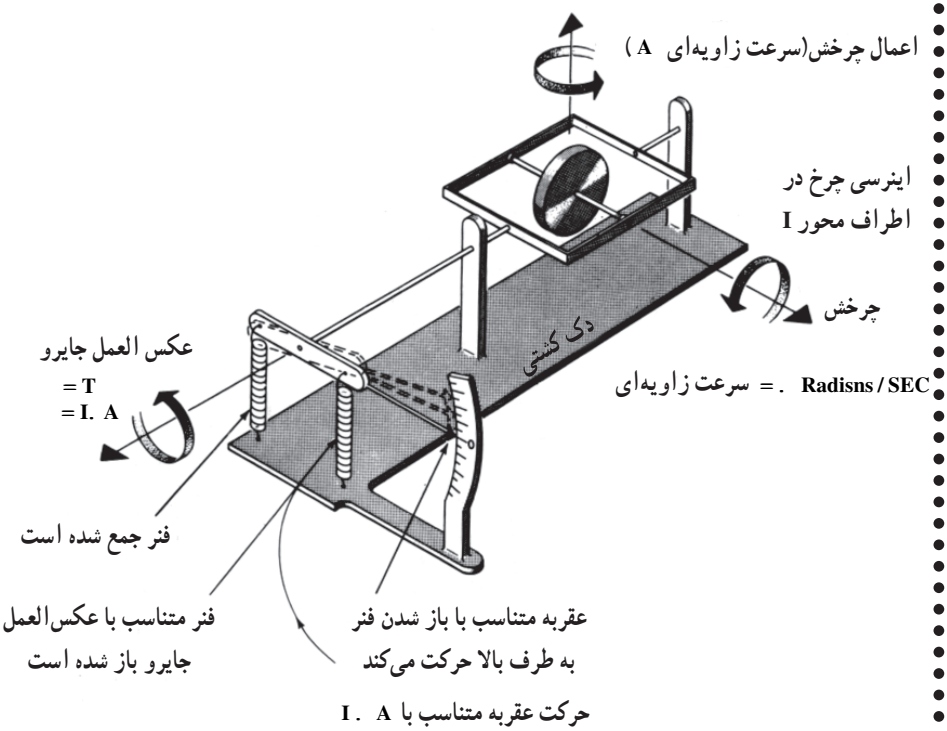
جایروها به دو صورت کلّی استفاده می‌شوند: نوع اول جایروهایی که از طریق یکی از محورها مهار شده‌اند (Constrained Gyro) و دیگری جایرویی که از سه درجه آزادی برخوردار است (FREE GYRO).

جایرو مهار شده (Constrained Gyro) ــ جایرویی که یک درجه آزادی آن به‌وسیله یک فنر یا یک موتور گشتاوری ثابت شده و ممکن است به دو صورت استفاده شود.

نوع اول ــ تغییر جهت محوری به جایرو اعمال و عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود. این اصول کار یک مشتق‌گیر که شتاب را محاسبه می‌کند می‌باشد (Rate Gyro) دراشکال (۳۱ــ۵ و ۳۲ــ۵) نمونه‌هایی از مشتق‌گیرها برای اندازه‌گیری شتاب چرخش

کشتی و اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) تشریح می‌شود.

همان‌گونه که درشکل (۳۱ــ۵) نشان داده شده است، کشتی نیروی موردنیاز تغییر جهت محوری را با تغییر راه ایجاد کرده و در نتیجه فنر سمت چپ مهارکننده محور جمع و فنر سمت راست باز می‌شود. از این طریق عکس‌العمل جایرو که همان شتاب تغییر راه کشتی است، اندازه‌گیری می‌شود.

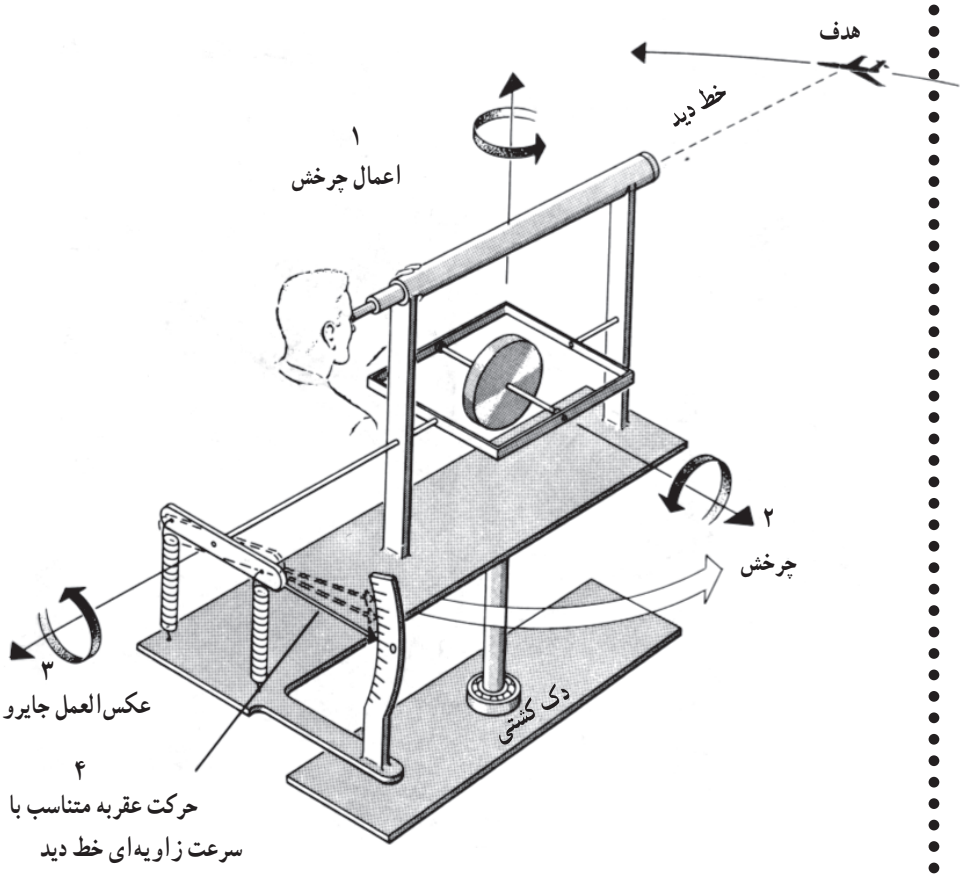


شکل ۳۱ــ۵

در شکل (۳۲ــ۵) اصول جایروی مشتق‌گیر (شتاب‌سنج) که برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) است، نشان داده شده است. وقتی تلسکوپ به‌دنبال هدف حرکت داده می‌شود،تغییر جهت محوری حاصل موجب تغییر حالت فنرها شده و در نتیجه عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود.

نوع دوم ــ استفاده دیگر از جایروی مهار شده (Constrained Gyro) عبارت است از اعمال گشتاور و اندازه‌گیری تغییر جهت محوری. در این حالت جایرو به‌صورت یک انتگرال‌گیر عمل می‌کند، زیرا تغییر گشتاور ورودی برحسب زمان را محاسبه

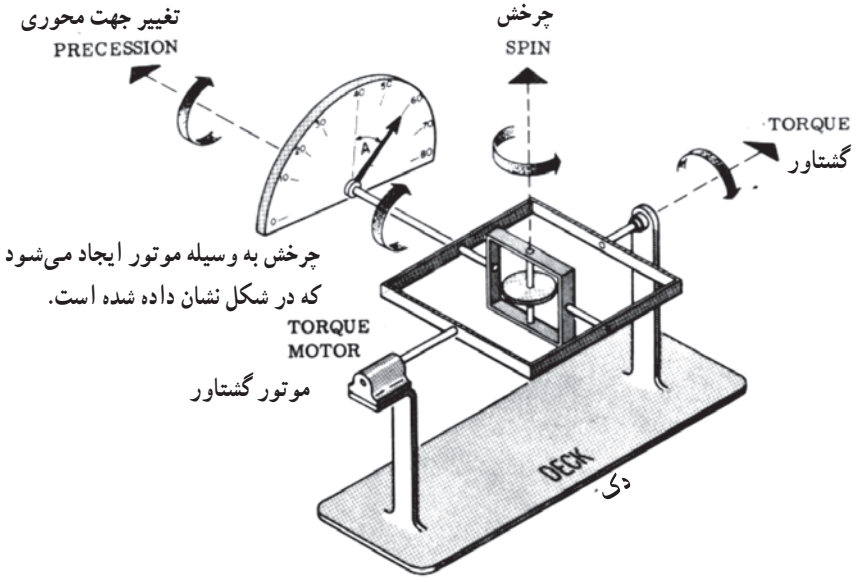
می‌کند. در جایروی نوع اخیر یعنی انتگرال‌گیرها می‌توان با مشاهدهٔ تغییر زاویه محوری، انتگرال گشتاور را برحسب زمان محاسبه کرد.



شکل ۳۲ــ ۵

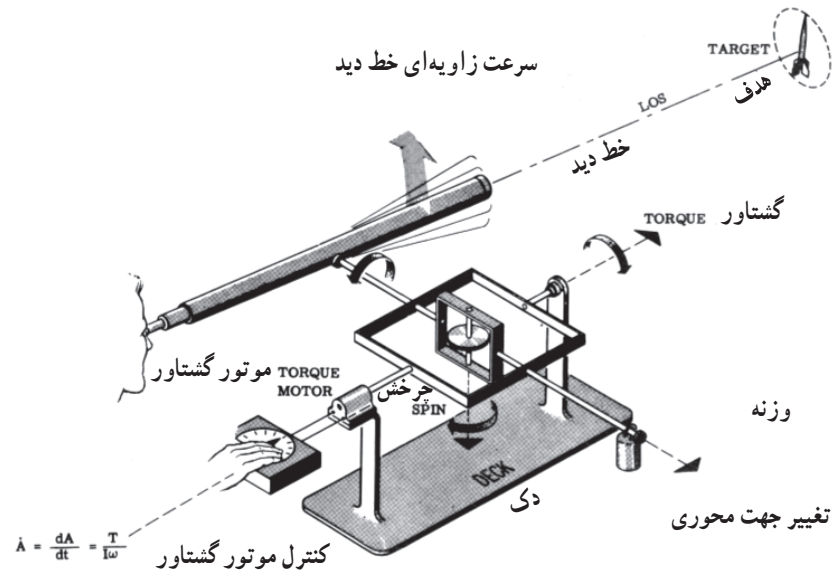
در یک انتگرال‌گیر می‌توان با مشاهده زاویه تغییر جهت محوری، انتگرال گشتاور را نسبت به زمان محاسبه کرد یا این‌که نیروی گشتاوری را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که جایرو خط دید (Line of Sight) را دنبال کند.

انتگرال‌گیر مستقیم ــ گشتاوری متناسب با مقدار مورد لزوم به جایرو اعمال و موجب تغییر جهت محوری می‌شود. با توجه به این‌که شتاب تغییر جهت محوری متناسب با گشتاور است، زاویه تغییر جهت محوری با انتگرال گشتاور نسبت به زمان متناسب است (شکل۳۳ــ۵).



شکل ۳۳ــ ۵

جایروی انتگرال‌گیر می‌تواند سرعت زاویه را همچنین از راه غیرمستقیم اندازه‌گیری کند. فرض کنید می‌خواهیم سرعت زاویه‌ای خط دید (L.O.S) را که بر روی هدفی متحرک حرکت می‌کند، اندازه‌گیری کنیم. در شکل (۳۴ــ۵) یک تلسکوپ به جایرو متصل است و جایرو به‌گونه‌ای تنظیم شده است که حرکت تلسکوپ حاصل از تغییر جهت محوری و خط دید (L.O.S) هر دو یک مسیر را طی می‌کنند.



شکل ۳۴ــ ۵

گشتاوری به جایرو اعمال می‌شود و آنقدر تغییر می‌کند تا این‌که هدف به‌طور دقیق بر روی محور تلسکوپ تنظیم شود.

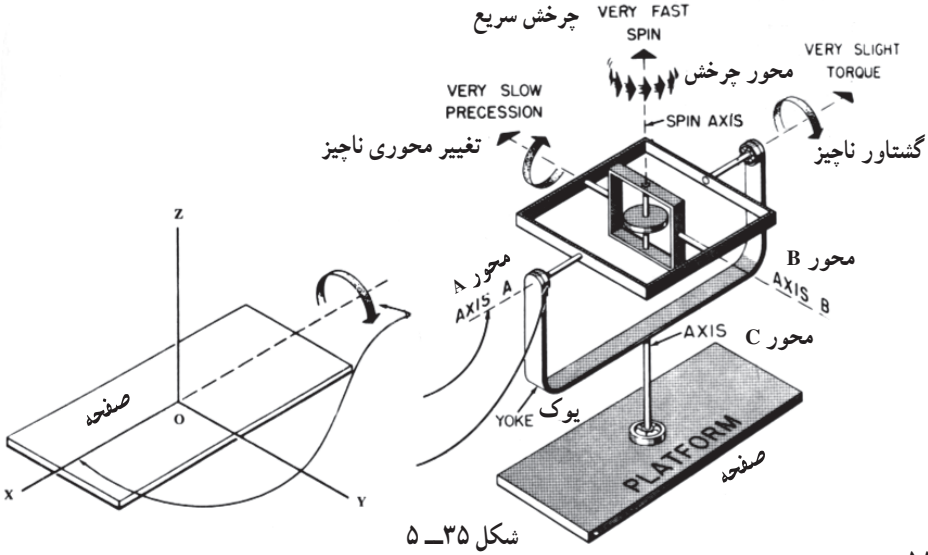
همان‌گونه که ملاحظه شد، گشتاور به ورودی سیستم اعمال و تغییر جهت محوری در خروجی ظاهر گردید یا به عبارت دیگر خروجی انتگرال ورودی است.

ما دریافتیم که با چه مقدار ورودی می‌توانیم خروجی سیستم را برای دنبال کردن هدف تنظیم کنیم. چنین روشی را انتگرال‌گیر غیرمستقیم می‌نامند.

جایروی آزاد (FREE Gyro) ــ تفاوت جایروی آزاد و جایروی مهار شده در این است که جایروی آزاد می‌تواند در هر سه محور آزادی عمل داشته باشد. با استفاده از اصول آن می‌توان یک مرجع با جهت ثابت تعیین کرد. موارد استفاده آن را می‌توان در المان ثابت (Stable Element) برای مرجع عمودی و در جایرو کمپاس برای مرجع افقی نام برد. ابتدا شرحی در رابطه با خصوصیاتی از جایرو که به‌عنوان یک مرجع با جهت ثابت عمل می‌کند خواهیم داشت.

فرض کنید یک جایروی سنگین و بزرگ در حال چرخش که آزادی حرکت در سه محور دارد، بر روی صفحه‌ای (Plat form) که قادر است در حول هر یک از سه محور Ox و Oy و Oz حرکت کند، نصب شده است.

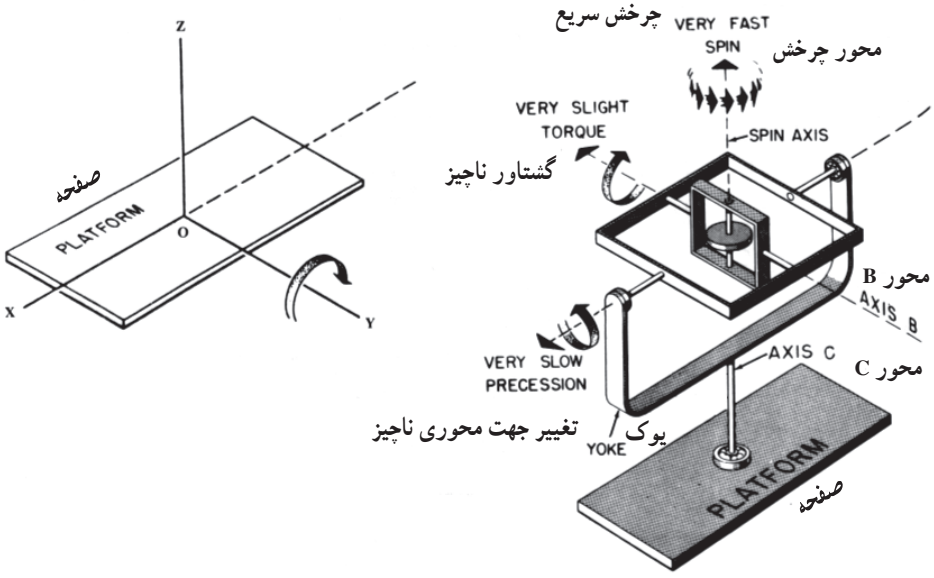
اگر صفحه حول محور Ox بچرخد، گشتاور ناچیزی که در اثر اصطکاک بلبرینگها به‌وجود می‌آید به محور A وارد می‌شود و حاصل آن یک تغییر جهت محوری آرام به اطراف محور B است (شکل۳۵ــ۵).



شکل ۳۵ــ ۵

بنابراین وقتی که صفحه حول محور Ox می‌چرخد، محور B در وضعیت افقی و محور چرخش جایرو به حالت عمودی باقی می‌ماند.

حال اگر صفحه به دور محور Oy به‌جای محور Ox بچرخد، یک گشتاور ناچیز که از اصطکاک بین محور B و بلبرینگهای آن حاصل می‌شود و یک تغییر جهت محوری ناچیز حول محور A، موجب می‌شود که محور X همراه با صفحه (Plat form) منحرف شود ؛ اما محور B هیچ‌گونه چرخش در فضا نداشته بنابراین محور چرخش به‌صورت عمودی ثابت می‌ماند.

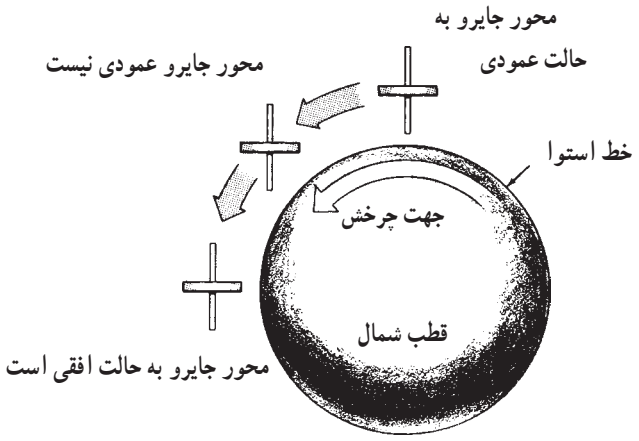


شکل ۳۶ــ ۵

در نتیجه با چرخش جایرو حول محورهای x و y وضعیت جایرو در فضا ثابت می‌ماند، اما با چرخش حول محور Oz جیم‌بال داخلی ثابت نمی‌ماند. دلیل این امر به‌خاطر موازی بودن محور گشتاور ایجاد شده (در بلبرینگهای محور C) با محور چرخش است ؛ بنابراین تغییر جهت محوری در جایرو حاصل نمی‌شود و در نتیجه حتی گشتاور کوچکی نیز موجب چرخش جیم‌بال‌ها و جایرو همراه با پایه خواهد شد.

برای این که پایداری سیستم حول OC میسر شود باید دومین جایرو به گونه‌ای نصب شود که محور چرخش آن افقی باشد ؛ بدین‌منظور می‌تواند به جیم‌بال داخلی نصب شود.

در سال ۱۸۵۲ لئون فوکالت با استفاده از این خاصیت، چگونگی چرخش زمین را نشان داد. برای درک بهتر جایرو در روی خط استوا قرار داده شده است (شکل ۳۷ـ۵).



شکل ۳۷ـ ۵

از این خاصیت (پایداری تعادل) می‌توان از دو روش اصلی استفاده کرد : یکی برای اندازه‌گیری چرخش صفحه (Plat form) و دیگری برای ایجاد دومین صفحه تعادل (Stable Plat form). به‌طور عمومی می‌توان چنان بیان کرد که یک جایروی آزاد (FREE GYRO) همراه با متعلقات کمکی می‌تواند ایجاد کننده یک مرجع ثابت باشد.

پرسش

۱ـ جایروسکوپ چیست؟

۲ـ خواص جایروسکوپی را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.

۳ـ پایداری یک جایرو را چگونه می‌توان افزایش داد؟

۴ـ گشتاور را تعریف کنید.

۵ـ چگونگی وضع جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است تشریح کنید.(جایروسکوپ روی خط استوا قرار دارد).

۶ـ سه شرط لازم برای تبدیل جایروسکوپ به قطب‌نمای جایرو را به‌طور مختصر شرح دهید.