

بخش دوم

جاپرو، عمق یاب و  
جهت یاب رادیویی

## مقدمه

این بخش از کتاب شامل دستگاههای جایرو، عمقیاب و جهت یاب رادیویی است و به لحاظ این که تمام این سیستمها، دریانوردان را در هنر هدایت بی خطر کشتیها یاری می کنند، به عنوان دستگاههای کمک ناوبری مطرح هستند.

در این بخش سعی شده است که اصول کار این دستگاهها و نحوه به کارگیری هریک از آنها به طور ساده تشریح شود. اهمیت و نفوذ روزافزون سیستمهای مدرن کمک ناوبری در طول دهه 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 ارتقاء دانش هنرجویان گرایش الکترونیک و مخابرات دریایی مفید واقع شود.

### جایرو

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل:

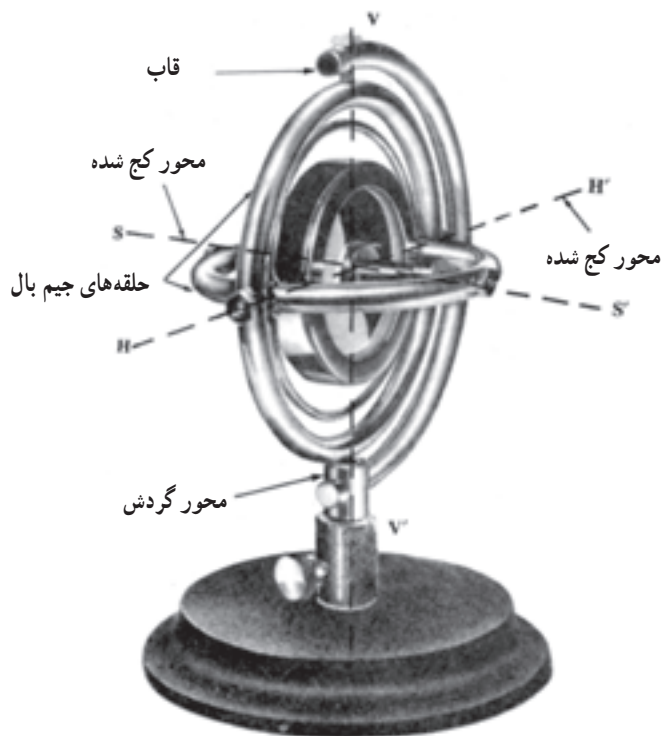
- ۱- اصول کار جایروسکوپ را با استفاده از دستگاه نشان دهد.
- ۲- خواص جایروسکوپی را بیان کند.
- ۳- اثر چرخش زمین را بر جایرو تشریح کند.
- ۴- چرخش ظاهری جایروسکوپ را شرح دهد.
- ۵- چگونگی تبدیل جایروسکوپ به جایرو را تشریح کند.
- ۶- نحوه متعادل کردن جایرو را توضیح دهد.
- ۷- قسمتهای مختلف المان حساس را تشخیص دهد.
- ۸- کار نگاه‌دارنده المان حساس را تشریح کند.
- ۹- در مورد سیستم کنترل جایرو توضیح دهد.
- ۱۰- عملکرد جایرو را نشان دهد.

### ۱-۵- 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 (Foucault) ساخته شد. او کسی بود که حالت گردش کره زمین را به نمایش درآورد. جایرو ساخته شده به وسیله وی فاقد موتور راه‌انداز و چرخ دنده حرکت بود. در طول این قرن به مرور زمان کم کم جایرو به عنوان یک وسیله علمی باقی ماند. پس از یک رکود دراز مدت، در چندین دهه 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 به عنوان سیستم تعادل کننده موشکها به طور گسترده‌ای به کار گرفته شده است. در این بخش سعی شده است که خواص جایروسکوپ و اصول تبدیل یک جایروسکوپ به جایرو قطب‌نمایی به گونه‌ای ساده تشریح شود.

برای درک قطب‌نمای جایرو، باید بعضی از اصول و پدیده‌های جایروسکوپی را دانسته به اصطلاحات موجود در این رشته از فیزیک آشنا بود. در این بخش اصول مربوط تشریح می‌شود. جایروسکوپ آزاد چرخ سنگین یا روتوری مُعلق است که محور آن می‌تواند در هر جهتی 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 ۵-۱).



شکل ۵-۱- جایروسکوپ

روتور جایروسکوپ دارای سه درجه آزادی است :

الف. آزادی چرخش ؛

ب. آزادی گردش ؛

پ. آزادی انحرافی.

این سه درجه آزادی به روتور اجازه می دهند که داخل قاب نگاه دارنده در هر وضعیتی قرار گیرد. روتور می تواند حول محور خود بچرخد و این اولین درجه آزادی عمل روتور است. حلقه جیم بال داخلی می تواند روی یاتاقانهای خود حول محور افقی  $H-H$  بچرخد، این دومین درجه آزادی عمل آن است. حلقه جیم بال خارجی می تواند روی یاتاقانهای خود حول محور  $V-V$  بچرخد، این سومین درجه آزادی عمل جایروسکوپ است.

## ۲-۵- خواص جایروسکوپی

یک فرفره در حال چرخش می ایستد و تعادلش را حفظ می کند ؛ همچنین یک تاپر در حال حرکت می تواند روی زمین بچرخد، بدون آن که تعادلش را از دست بدهد. این گونه پدیده ها مربوط به خواص اجسام در حال چرخش بوده و به عنوان اثرات جایروسکوپی شناخته شده است. حال وقتی روتور جایروسکوپ شکل (۱-۵) به سرعت می چرخد، جایروسکوپ چرخان دارای دو خاصیت است که در موقع سکون از آنها برخوردار نیست. این دو خاصیت که امکان استفاده از جایروسکوپ را به عنوان قطب نما ی جاپرو فراهم می سازد، عبارتند از :

۱- پایداری تعادل (Rigidity) ؛

۲- تغییر جهت محوری (PRECESSION).

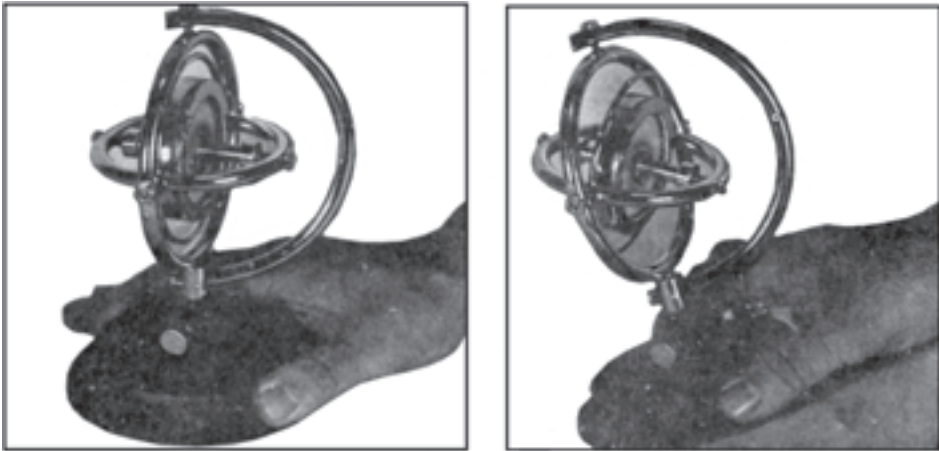
۱-۲-۵- پایداری تعادل (Rigidity) — هرگاه روتور یک جایروسکوپ را همراه با محور

آن که در یک جهت ثابت شده است، بچرخانیم (شکل ۲-۵) روتور بدون توجه به وضع قرار گرفتن قاب جایروسکوپ با محور خود در همان جهت تعیین شده به چرخش خود ادامه خواهد داد (شکل ۲-۵). در صورتی که بلبرینگها بدون اصطکاک باشد و روتور بچرخد، هرگونه چرخش قاب نگاه دارنده تأثیری در تعادل روتور نسبت به فضا نخواهد داشت.

این خاصیت جایروسکوپ را پایداری تعادل می نامند. این خاصیت را می توان به کمک قانون نیوتن که مربوط به حرکت است، توجیه کرد.

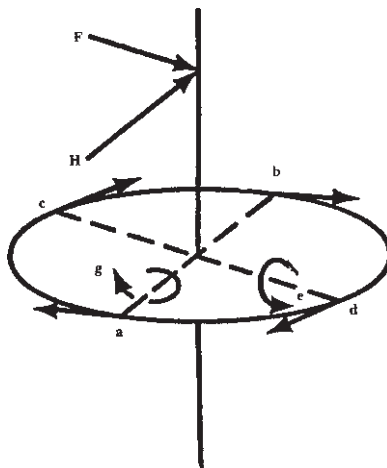
(قانون نیوتن: هر جسم در حال حرکت با یک سرعت ثابت در یک خط مستقیم به حرکت

خود ادامه می دهد، مگر این که تحت تأثیر یک نیروی خارجی قرار گیرد.)



شکل ۲-۵- پایداری و تعادل صفحه جایروسکوپ چرخان

هر نقطه از یک چرخ گردان در یک مسیر مدور می چرخد. 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 به صورت مدور در می آورد. ذراتی از روتور را در نقاط  $a, b, c, d$  در نظر بگیرید (شکل ۳-۵). نیروی لحظه‌ای  $F$  که به محورا اعمال شده سعی دارد جهت مسیر را در نقاط  $c$  و  $d$  تغییر دهد؛ یعنی نقطه  $c$  تمایل حرکت به طرف بالا و نقطه  $d$  میل حرکت به طرف پایین خواهند داشت. به علت وجود انرژی جنبشی خیلی زیاد این نقاط در مقابل هرگونه تغییر مسیر یا تغییر جهت مقاومت می کنند که این امر به دلیل پایداری صفحه است. انرژی و مومنتم (momentum) روتور سعی می کنند که صفحه روتور و یکسوئی محور را در فضا ثابت نگاه دارند.



شکل ۳-۵- روتور چرخان با یک محور عمودی

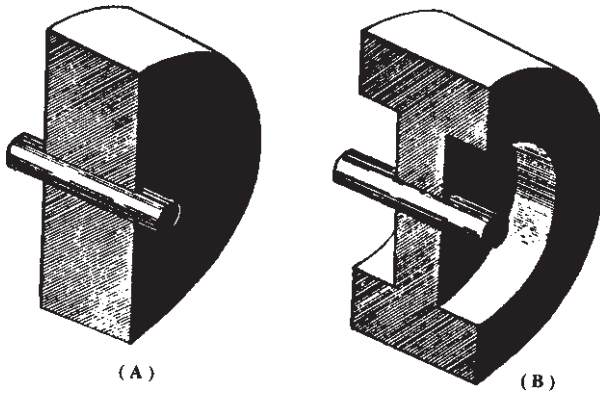
پایداری یک جایروسکوپ را می‌توان با استفاده از عوامل زیر بیشتر کرد :

۱- سنگینتر کردن روتور ؛

۲- سریعتر چرخاندن روتور ؛

۳- تمرکز کردن وزن روتور نزدیک به محیط آن.

اگر دو روتور با سطح مقطع‌هایی نظیر شکل (۵-۴) وجود داشته باشد که هم وزن بوده و با سرعت مساوی بچرخند، روتور شکل (۵-۴-B) پایدارتر از روتور شکل (۵-۴-A) خواهد بود. علت این امر تمرکز وزن روتور در نزدیک محیط آن است.



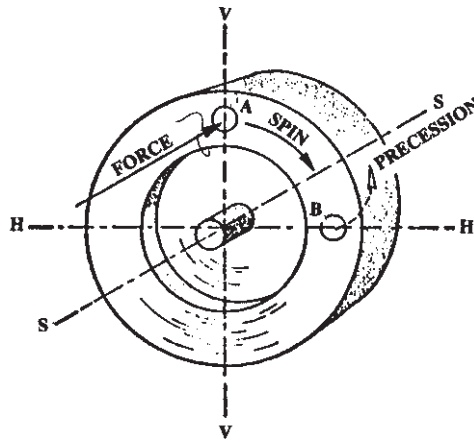
شکل ۵-۴

۲-۲-۵- تغییر جهت محوری (PRECESSION) - 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 (۵-۳) اثری چرخشی ایجاد کرده که جایروسکوپ را حول محور ab کج می‌کند. اگر روتور در حال چرخش نباشد، محور آن تحت تأثیر 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، در نتیجه 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 محوری که نیروی گشتاوری وارد شده است، تغییر جهت محوری (PRECESSION) نامیده می‌شود. تغییر جهت محوری موقعی ظاهر می‌شود که نیروی بخواد روتور چرخان جایروسکوپ را منحرف کند. تغییر جهت محوری که بر اثر نیروی وارده به وجود می‌آید همیشه حول محوری است که با محوری که نیروی گشتاوری به آن اعمال شده، زاویه  $90^\circ$  درجه بسازد. برای تعیین سمت تغییر جهت محوری در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.



شکل ۵-۵

نیروی وارد شده به نقطه A در بالای چرخ را در نظر بگیرید. این نقطه در جهت نیروی اعمال شده حرکت نمی‌کند، بلکه نقطه‌ای که در موقعیت  $90^\circ$  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 صفحه روتور با صفحه نیرو یکی شود. در این وضعیت نیرو در حول محور چرخان بوده و هیچ‌گونه تغییر جهتی به وجود نمی‌آید.

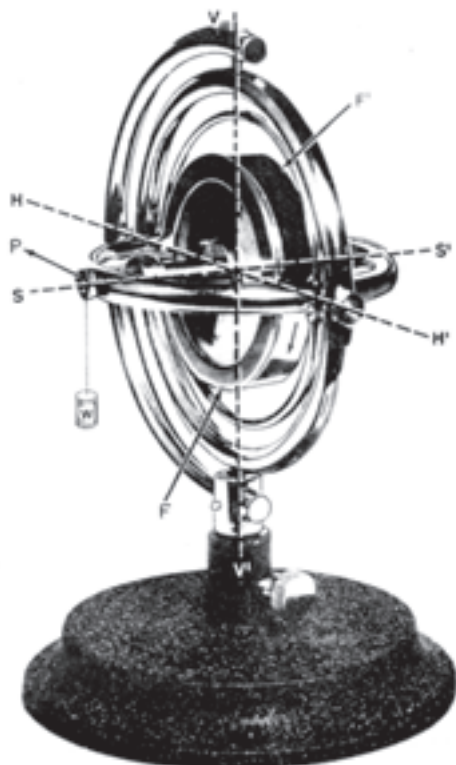
اگر صفحه نیرو با سرعتی برابر و در جهت مشابه با تغییر جهت محوری که به وجود می‌آورد حرکت کند، عمل تغییر جهت محوری ادامه خواهد یافت. این وضع در شکل (۵-۶) نشان داده شده است. در آن نیروی تغییر دهنده صفحه چرخش به وسیله وزنه W که از انتهای محور افقی آویزان است، تأمین می‌شود.

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



شکل ۵-۶- 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 هر حال 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.

وقتی که 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

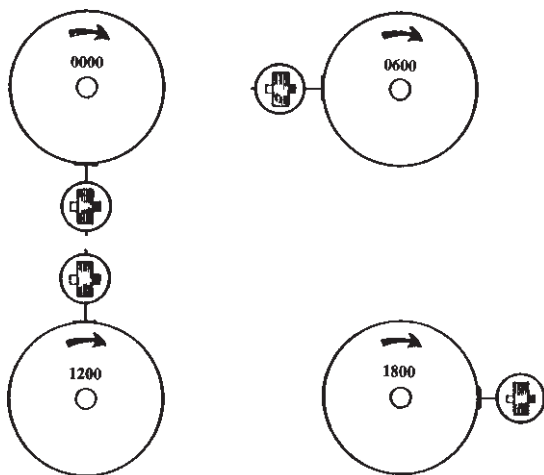
جایروسکوپ ایجاد می‌کند. برای یک نیروی معین هرچه فاصله آن تا محور چرخش بیشتر باشد، گشتاور آن بیشتر خواهد بود. اگر نیرو بر روی محور چرخان اثر کند گشتاور صفر خواهد بود.

$$(F \times \circ = \circ)$$

هر نیرویی که از طریق مرکز ثقل جایروسکوپ به آن وارد می‌شود، زاویه صفحه 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. بدین ترتیب جایروسکوپ چرخان را می‌توان به وسیله قاب نگاه دارنده آن آزادانه در فضا حرکت داد، بدون آن که صفحه چرخش روتور تغییر کند. علت وجود این حالت، این است که نیروی اعمال شده به قاب نگاه دارنده 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.

### ۵-۳- اثر گردش زمین بر جایروسکوپ

همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، یک جایروسکوپ با چرخش آزاد می‌تواند بدون آن که زاویه صفحه چرخش خود را تغییر دهد، در هر جهتی حرکت کند. اگر این جایروسکوپ را در خط استوا روی سطح زمین قرار دهیم، به طوری 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 ۵-۷).

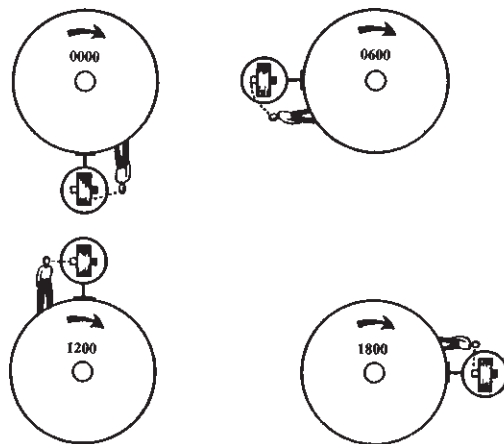


شکل ۵-۷

با گردش زمین پایداری صفحه باعث ثابت ماندن چرخ در فضا شده و همواره در همان صفحه باقی خواهد ماند. همان گونه که در شکل (۵-۷) نشان داده شده است، فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 به کار انداخته شده و شروع به چرخش کرده است، در حالی که محور آن در جهت شرقی - غربی و به موازات سطح زمین است. در ساعت 0600 یعنی شش ساعت بعد زمین  $9^\circ$  درجه چرخیده و محور جایروسکوپ به موازات حالت اول قرار می گیرد. در ساعت  $120^\circ$  زمین به اندازه  $18^\circ$  درجه چرخیده است، در حالی که وضعیت جایروسکوپ تغییر نکرده است.

در ساعت  $180^\circ$  زمین  $27^\circ$  درجه چرخیده، اما کماکان وضعیت جایروسکوپ به همان حالت باقی مانده است. در نهایت در ساعت 0000 زمین  $36^\circ$  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 به نظر می رسد که چرخ جایروسکوپ حول محور افقی خود دوران می کند. شکل (۵-۸) چگونگی وضع جایروسکوپ را برای ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است، نشان می دهد.



شکل ۵-۸

فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 شروع به چرخش کند، در حالی 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  $120^\circ$  محور جایروسکوپ دوباره به وضع افقی برگشته، اما از دید ناظر محور روتور  $18^\circ$  درجه چرخیده است. در ساعت  $180^\circ$  محور دوباره عمود بر سطح زمین بوده و به بالا نشانه می رود. در ساعت 0000، زمین  $36^\circ$  درجه چرخیده محور جایروسکوپ به وضع اولیه خود برمی گردد.

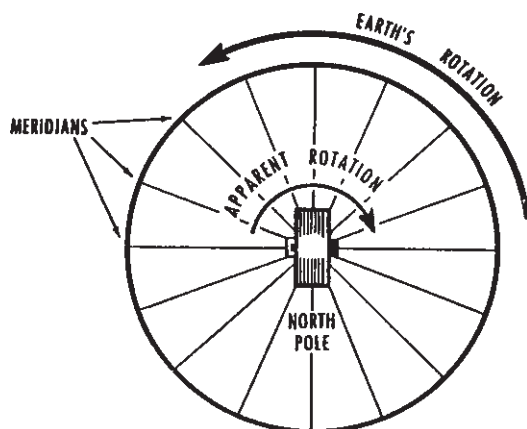
#### ۴-۵- چرخش ظاهری جایروسکوپ

چرخش جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین ایستاده است، چرخش ظاهری می‌گویند. چرخش ظاهری در نتیجه پایداری صفحه که سعی می‌کند صفحه چرخ جایروسکوپ را به موازات وضعیت اولیه آن در فضا نگاه دارد، به وجود 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 می‌نیم 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 استقرار داده شود (شکل ۹-۵)، 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 ۹-۵- گردش ظاهری جایروسکوپ در قطب شمال

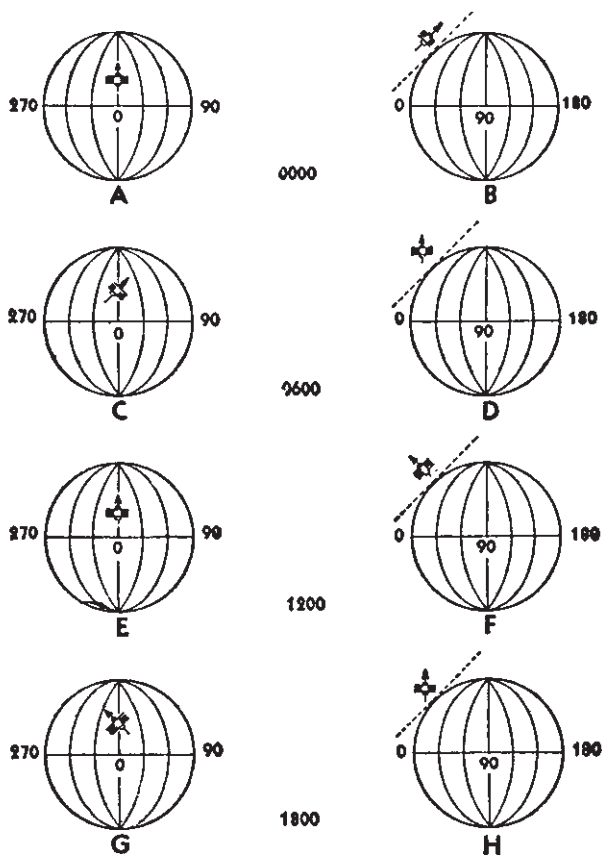
زمین در زیر آن می‌چرخد. این چرخش ظاهری حول محور عمودی به عنوان اثر سرعت عمودی زمین تلقی شده (Vertical earth Rate effect) و با سینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند. مقدار آن در دو قطب ماکزیمم و در استوا می‌نیم است.

$$DRIFT = \sin LaT.$$

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 (۱-۵) 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 ۱-۵- گردش ظاهری جایروسکوپ در طول جغرافیایی ۴۵ شمالی

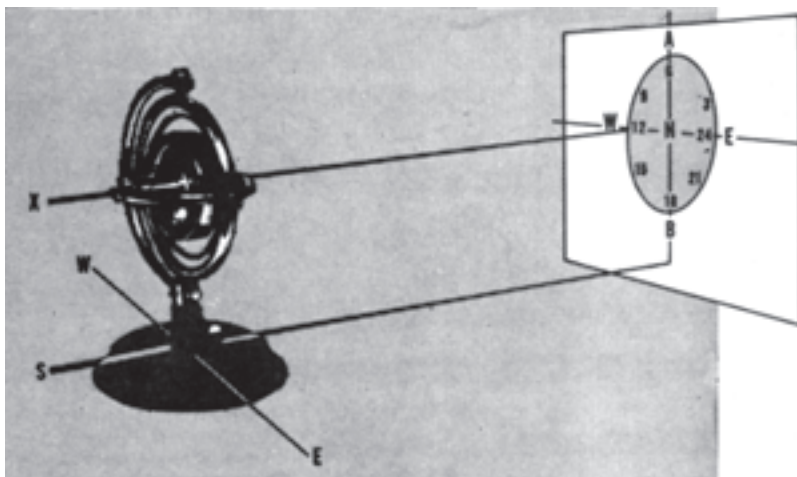
با چرخش زمین، موقعیتهای جایروسکوپ در ساعت‌های ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ چرخش ظاهری را حول محورهای افقی و عمودی نشان می دهند. هر دو شکل مربوط به یک جایروسکوپ است، منتهی از زوایای مختلف بررسی شده اند تا حرکت را در حول هر دو محور نشان دهند. در هر دو حالت، ناظر در بالای سطح زمین بوده اما با زمین می چرخد. هر دو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

قسمتهای A و B شکل (۱۰-۵) 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 به نصف النهار خارج شده در ۴۵ درجه شرقی نصف النهار 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 نصف النهار برمی‌گردد، اما در این حالت محور به اندازه ۹۰ درجه از سطح افقی انحراف می‌یابد. در ساعت ۱۸۰۰ (قسمتهای G و H) محور در ۴۵ درجه غرب نصف النهار 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 نصف النهار 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 ۱۱-۵).

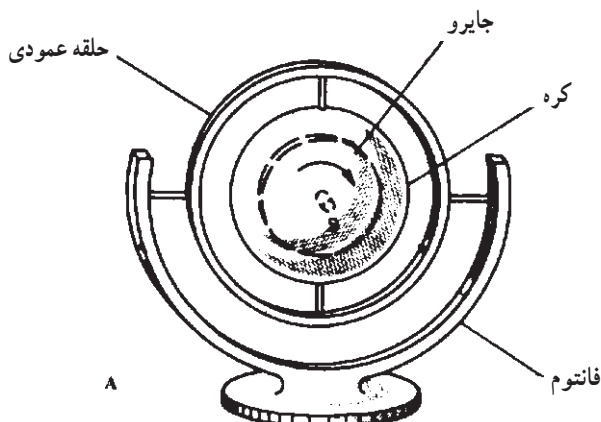


شکل ۱۱-۵- مسیر محور چرخان یک جایروسکوپ آزاد

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 به صورت یک دستگاه شمال‌یاب درآید.

## ۵-۵- تبدیل جایروسکوپ به جایرو

قبل از این که یک جایروسکوپ ساده را بتوان به صورت یک قطب نما درآورد، باید در اجزای متشکله جایروسکوپ تغییراتی جزئی به وجود آورد. همان طوری که از شکل (A-۱۲-۵) پیداست، روتور یا چرخ در داخل یک محفظه یا کره قرار گرفته که این کره به نوبه 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-۱۲-۵- جایروسکوپ ساده

با صرف نظر 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 به وسیله خط افقی در سطح نصف‌النهار از نقطه قابل رؤیت در هر نقطه از سطح زمین نسبت به قطب شمال دیده می‌شود.

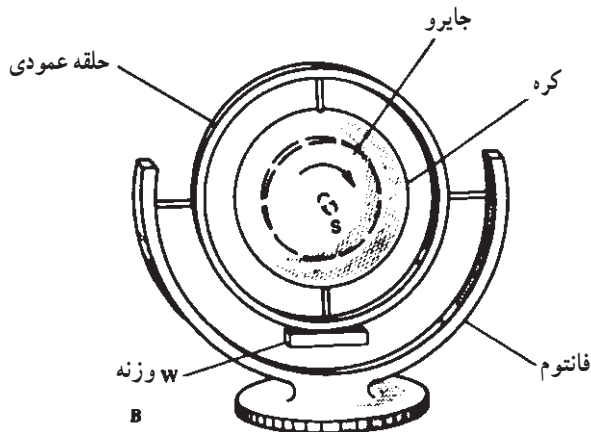
به منظور تبدیل جایروسکوپ به قطب نمای جایرو باید به گونه‌ای آن را تکامل بخشید که

بتواند :

۱- محورش را روی صفحه نصف‌النهار تنظیم کند.

۲- محورش را تقریباً افقی تنظیم کند.

۳- محورش را در حالت افقی در صفحه نصف النهار 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-۱۲-۵).



شکل B-۱۲-۵- جایروسکوپ اصلاح شده

هنگامی که جایرو در خط استوا واقع است، محور آن افقی بوده در امتداد شرقی - 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 (۵-۱۳) جایرو و حلقه عمودی به طور عمودی قرار گرفته، هیچ نیروی گشتاوری در اثر وزنه  $W$  وارد نمی‌شود.

همان طوری که زمین گردش می‌کند، نقطه B (شکل ۵-۱۳) نیروی اینرسی و تغییر جهت محوری جایروسکوپ عمل کرده، محور و حلقه عمودی تمایل پیدا می‌کنند که به صورت 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 ۵-۱۳) نشان داده شده، باعث می‌شود. جایرو در این حالت از وضعیت شرقی - غربی خود خارج می‌شود. وقتی انتهای جایرو که قبلاً به سمت 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

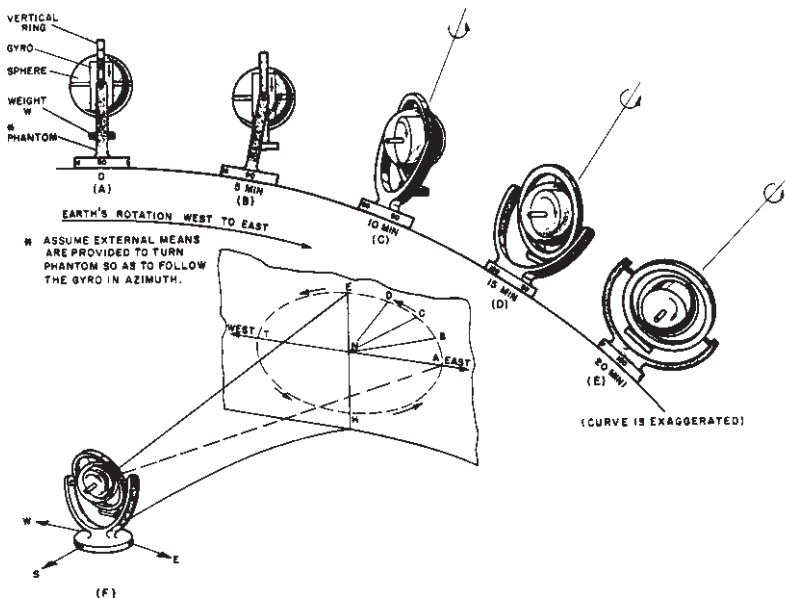


به دور محور عمودی خود گردش می کند. در حالت E (شکل ۱۳-۵) محور جایرو با حداکثر انحراف، ماکزیمم تغییر جهت محوری و حداکثر نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه بر وزنه به وجود می آید، در روی نصف النهار قرار می گیرد.

اثر وزنه پاندولی سبب می شود که جایرو هنگام عبور از روی نصف النهار تغییر جهت دهد. موقعی که انتهای شمالی محور جایرو از روی نصف النهار عبور می کند، انحراف آن در اثر گردش زمین کاهش می یابد. در اثر کاهش مقدار انحراف، سرعت تغییر جهت محوری نیز تا زمانی که محور جایرو در حالت افقی قرار گیرد کم می شود. در این حالت انحراف در جهت مغرب متوقف می شود و وزنه ای که به پایین آویزان است هیچ گونه نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید نمی کند. در این نقطه انحراف غربی محور از نصف النهار درست به اندازه انحراف شرقی آن از نصف النهار است.

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

اثر این تغییر جهت محوری در جهت مخالف بوده، محور جایرو را هنگام عبور از روی نصف النهار به وضعیت اولیه خود برمی گرداند. در این نقطه سیکل دوباره تکرار می شود، مگر این که عاملی نوسان را متوقف سازد. در شکل F (۱۳-۵) نوسان انتهای محور جایرو روی یک صفحه عمودی تصویر شده است.



شکل ۱۳-۵- اثر وزنه و گردش روی جایروسکوپ

نسبت حرکت جایرو حول محور افقی (که به وسیله گردش ظاهری به وجود می‌آید) به حرکت تغییر جهت محوری حول محور عمودی (که به وسیله وزنه پاندولی ظاهر می‌شود) شکل بیضی را به وجود می‌آورد.

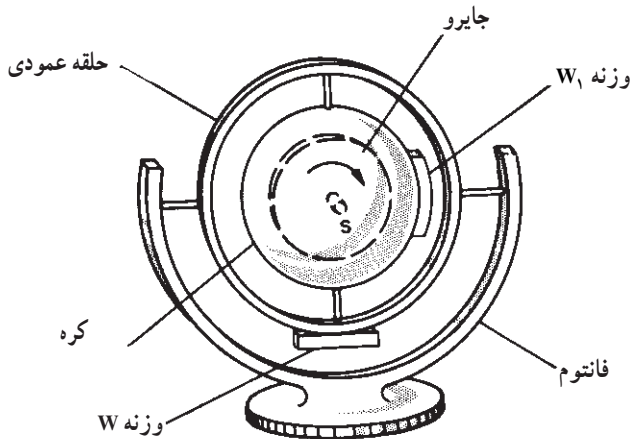
چنانچه وزنه سنگینتر شود، تغییر جهت محوری سریعتر عمل کرده، در نتیجه شکل بیضی مسطح خواهد شد. اگر وزن وزنه کاهش یابد، سرعت تغییر جهت محوری کندتر شده و شکل بیضی به دایره نزدیکتر می‌شود.

زمان یک نوسان کامل بر حسب 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 تغییر دهنده 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 نصف النهار آن را به حالت تعادل درآوریم.

## مطالعه آزاد

### ۵-۶- نحوه متعادل کردن جایرو

برای جلوگیری از نوسان جایرو در حول مدار نصف النهار، اجازه دهید که یک وزنه اضافی کوچکتر  $W_1$  را به سمت شرقی محفظه روتور یا کره، همان طوری که در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده، اضافه کنیم.



شکل ۵-۱۴- جایروسکوپ با وزنه‌هایی روی کره و حلقه عمودی

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

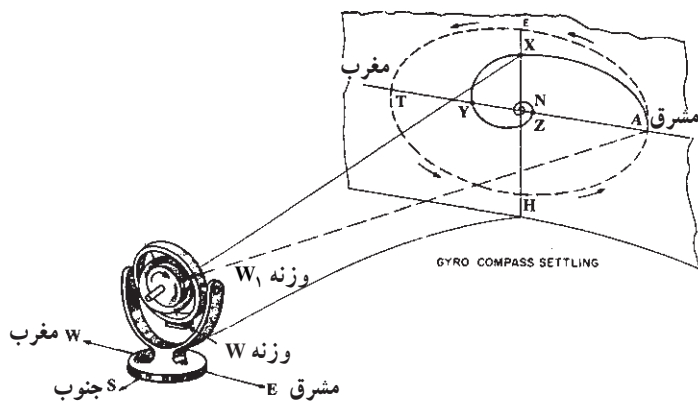
نیروی جاذبه روی وزنه  $W_1$  که آن را به طرف پایین می‌کشد، یک نیروی گشتاوری حول محور عمودی وارد کرده و باعث می‌شود که محور چرخش به عقب تغییر جهت محوری داده و به حالت افقی نزدیک شود.

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

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

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

همان گونه که تشریح شد، نوسانات متوالی از نظر اندازه بتدریج کوچک شده مسیر آنها طبق شکل (۱۵-۵) از حالت بیضی خارج شده و به شکل ماریچ درآمده است. با



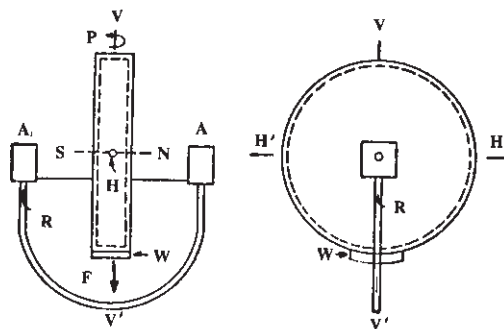
شکل ۱۵-۵ اثر هر دو وزنه روی جایروسکوپ

در نظر گرفتن عمل وزنه‌ها تنها حالت سکونی که برای جایرو امکانپذیر است، زمانی خواهد بود که محور جایرو افقی بوده و روی نصف النهار قرار داشته باشد. این جایروسکوپ آزاد اکنون به یک قطب نمای جایرو تبدیل شده است که می‌تواند روی نصف النهار 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.

۱-۶-۵- روش پاندولی - در بعضی قطب‌نماهای جایروی از وزنه  $W$  بر اساس آنچه گفته شد، استفاده می‌شود؛ هرچند که به جای وزنه  $W_1$  از یک بالستیک روغنی مطابق شکل (۱۶-۵) استفاده شده است.



$S, N$  - محور چرخان

$V, V'$  - محور عمودی

$H, H'$  - محور افقی

$A, A'$  - مخزنهای روغن متصل شده

$R$  - محدود کننده جریان روغن

$W$  - مشخصه وزنه یا پاندول

$F$  - نیروی جاذبه

شکل ۱۶-۵ - طرز عمل میرایی قطب‌نمای پاندولی

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

به خاطر 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 به طرف پایین به محور بالایی یا شمالی وارد می‌سازد؛ در همین موقع روغن:

۱- از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جاری می‌شود.

۲- 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 به وسیله 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 این رو مدت کمی پس از معکوس شدن انحراف، وزن روغن مخزن جنوبی به نیروی اعمال شده به وسیله وزنه بر روی محور بالایی جنوبی افزوده می‌شود.

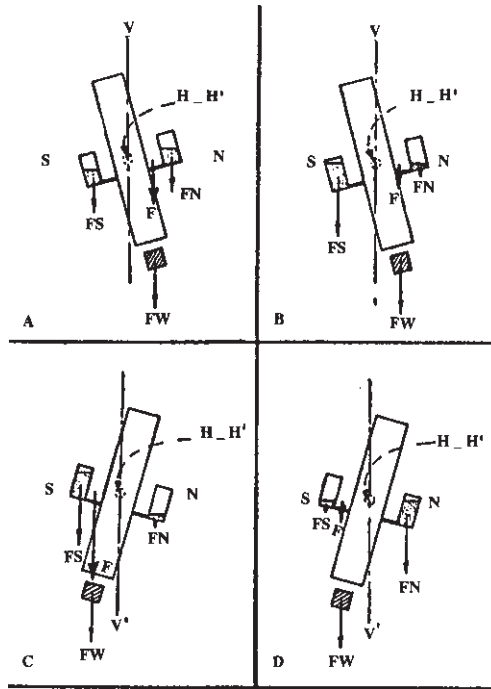
در شکل A (۵-۱۷) محور با انتهای شمالی خود به سمت بالا انحراف پیدا کرده زمان کافی برای عبور مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی وجود نداشته است.

در شکل B (۵-۱۷) 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 (۵-۱۷) 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 (۵-۱۷) محور جنوبی برای مدتی به طرف بالا کج شده و روغن در مخزن شمالی جمع شده است؛ به طوری 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  
 FN نیرو به وسیله روغن مخزن شمالی اعمال شده  
 F نیروی نتیجه

### شکل ۱۷-۵- عمل مخزنهای میراکننده

اگر قطب‌نمایی را که به اندازه  $30^\circ$  درجه در شرق نصف‌النهار منحرف شده و تراز است، در نظر بگیریم (شکل ۱۸-۵) 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 به مخزن جنوبی، به خاطر باریک بودن لوله اتصال به آهستگی انجام گرفته است و در شروع اثر چندانی نخواهد داشت.

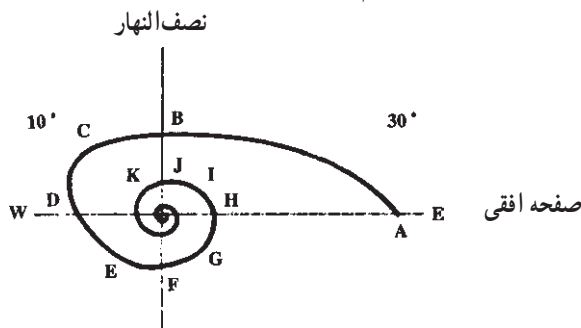
به مرور زمان روغنی که در مخزن جنوبی جمع می‌شود یک نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید می‌کند که با نیروی گشتاوری تولید شده به وسیله وزنه پاندولی مخالفت کرده در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل، از نیروی گشتاوری که به وسیله وزنه

پاندولی تولید می‌شود کمتر خواهد بود.

سرعت تغییر جهت محوری به خاطر کم بودن نیروی گشتاوری که باعث تغییر جهت محوری می‌شود، کم خواهد بود. محور شمالی قطب‌نما تا زمانی که در مشرق نصف‌النهار باشد به صعود ادامه می‌دهد؛ به طوری 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 ۱۸-۵).

در هر حال 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 به دست 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 ۱۸-۵ نقطه C)؛ بنابراین تغییر جهت محوری به طرف 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 در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی را کم می‌کند.



شکل ۱۸-۵- 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 (۵-۱۸) 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 به سمت شرق ادامه داشته محور شمالی در اثر گردش زمین به پایین آمدن ادامه دهد؛ در نتیجه 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 به دست آید که در آن جا مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه E شکل ۵-۱۸). 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 زمانی که محور شمالی در غرب نصف النهار باشد، به پایین آوردن خود ادامه داده در نتیجه نیروی گشتاوری کافی برای رسیدن به نصف النهار تولید می‌کند (نقطه F شکل ۵-۱۸).

در این موقع حداکثر انحراف و حداکثر تغییر جهت محوری به وجود خواهد آمد که در نتیجه محور مزبور نمی‌تواند روی نصف النهار باقی بماند. محور شمالی قطب‌نما اکنون در شرق نصف النهار 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 وسیله 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 ۵-۱۸)، 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 به طرف 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 ۱۸-۵). 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 زمانی که محور شمالی در شرق نصف‌النهار قرار دارد به عمل بالا رفتن ادامه می‌دهد.

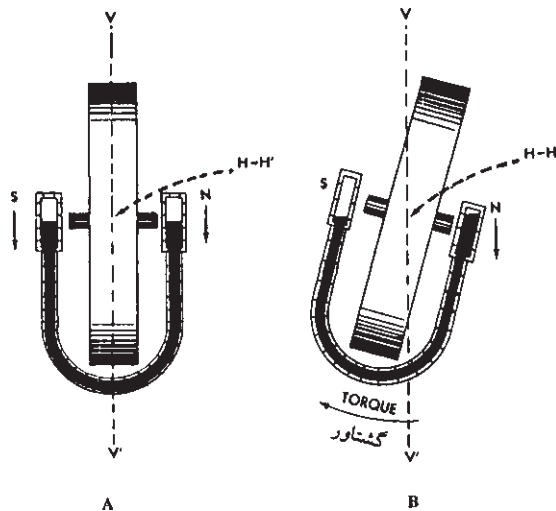
وقتی محور شمالی به نصف‌النهار رسید، دارای حداکثر انحراف و بنابراین حداکثر تغییر جهت محوری بوده، در نتیجه نمی‌تواند در نصف‌النهار باقی بماند (نقطه J شکل ۱۸-۵). این عمل تا حدود  $21/5$  نوسان ادامه می‌یابد و سپس قطب‌نما متوقف شده روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

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.

۲-۶-۵- روش غیر پاندولی - 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 به وسیله یک لوله به یکدیگر وصل شده‌اند؛ به طوری که جیوه می‌تواند آزادانه از یک مخزن به مخزن دیگر جریان پیدا کند (شکل A ۱۹-۵).

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

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



شکل ۱۹-۵- عمل متعادل‌کننده یک بالستیک جیوه‌ای

بنابراین در حول محورها هیچ‌گونه نیروی گشتاوری ایجاد نخواهد شد. هنگامی که محور منحرف می‌شود، حتی به مقدار خیلی کم (شکل B ۱۹-۵) 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 به علت داشتن جیوه سنگینتر شده است؛ بنابراین مخزن پایینی، نیروی بیشتر از مخزن بالایی به محور وارد می‌سازد که در نتیجه یک نیروی گشتاوری در حول محور H-H به وجود می‌آید.

این نیروی گشتاوری که به ظاهر میل به انحراف بیشتری دارد، به جای 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 به سمت 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.

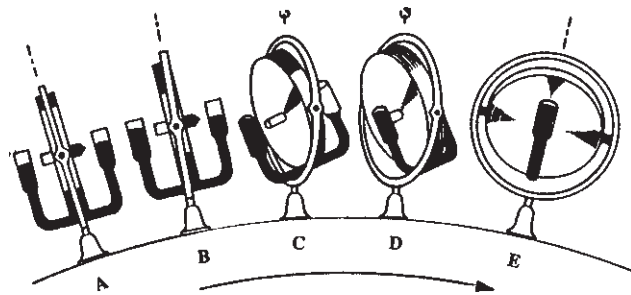
محور شمالی اگر پایین باشد، باعث می‌شود که بالستیک جیوه‌ای یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید کرده، یک تغییر جهت محوری در جهت حرکت عقربه ساعت یا در جهت مشرق به وجود بیاید.

اگر این جایروسکوپ همراه با بالستیک جیوه‌ای خود روی خط استوا طوری قرار گیرد که محور آن به طرف مشرق نصف‌النهار و چرخش روتور آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت باشد (شکل A -  $2^{\circ}$ - $5$ )، انتهای شمالی محور به علت 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 -  $2^{\circ}$ - $5$ )، 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 به طرف 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 -  $2^{\circ}$ - $5$ ).

این انحراف تا زمانی که محور جایروسکوپ روی نصف‌النهار قرار دارد، به سمت بالا ادامه خواهد داشت (شکل E -  $2^{\circ}$ - $5$ ) 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 این که محور جایروسکوپ، نصف‌النهار را قطع کرد، به سمت پایین کج می‌شود و در نتیجه جیوه از مخزن جنوبی به مخزن شمالی جریان می‌یابد. این انتقال

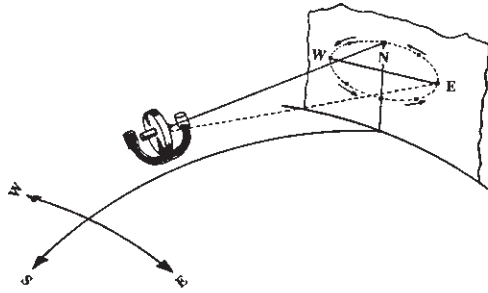


شکل ۲-۵- چرخش زمین از غرب به شرق

جیوه بتدریج نیروی گشتاوری را در حول 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؛ در نتیجه 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 به طرف پایین کج شده جیوه به داخل مخزن شمالی جریان می‌یابد که یک نیروی گشتاوری به انتهای شمالی محور چرخان وارد می‌سازد؛ از این رو جهت گردش محور معکوس شده در جهت شرق قرار می‌گیرد. کج شدن محور چرخان به طرف 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 از نصف‌النهار، چرخش زمین باعث می‌شود که انتهای شمالی محور جایروسکوپ به طرف بالا شروع به کج شدن کند. مادامی که این عمل اتفاق می‌افتد، نیروی گشتاوری حول محور شمالی بتدریج به صفر رسیده حرکت تغییر جهت محوری حول محور عمودی آهسته می‌شود تا این که محور جایروسکوپ دو مرتبه افقی تر شده و تغییر جهت محوری متوقف می‌شود.

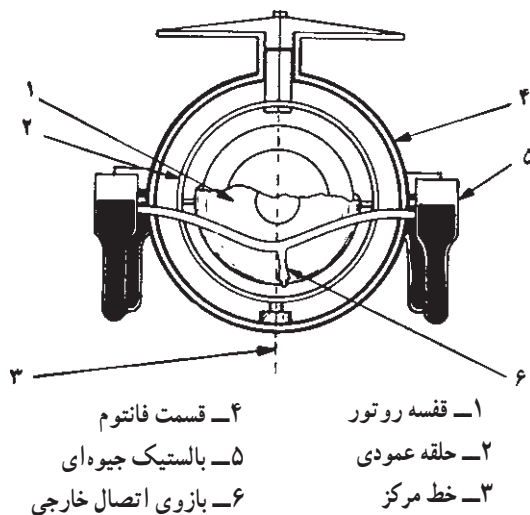
وقتی محور جایروسکوپ افقی می‌شود، محور به سمت نقطه شروع حرکت اولی خود برمی‌گردد. شکل (۲-۵) نشان می‌دهد که مسیر طی شده به وسیله محور شمالی جایروسکوپ شکل بیضی دارد و تا زمانی که روتور جایروسکوپ به چرخش خود ادامه دهد، جایروسکوپ به نوسان خود ادامه می‌دهد.



شکل ۲۱-۵- زمان تناوب قطب نمای میرا نشده در استوا

در این قطب نمای غیر پاندولی که از بالستیک جیوه ای استفاده می شود، میرا شدن نوسانات با به کاربردن قسمتی از نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیله عمل نیروی جاذبه مؤثر بر بالستیک جیوه ای صورت می گیرد که در این صورت مقداری از انحراف که به وسیله گردش زمین به محور روتور داده شده از بین می رود.

همان طور که قبلاً در مبحث بالستیکهای جیوه ای شرح داده شد، مخزنها به طور مستقیم به دو انتهای محور روتور روی یاتاقانها نصب شده اند. در قطب نمای واقعی که مورد استفاده قرار می گیرد، بالستیک در روی حلقه فانوم 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 می کند (شکل ۲۲-۵). محفظه روتور مانند حلقه داخلی جایروسکوپ بوده، یاتاقانی را که محور بر روی آن می چرخد، نگاه می دارد.



- |               |                      |
|---------------|----------------------|
| ۱- قفسه روتور | ۴- قسمت فانوم        |
| ۲- حلقه عمودی | ۵- بالستیک جیوه ای   |
| ۳- خط مرکز    | ۶- بازوی اتصال خارجی |

شکل ۲۲-۵- اجزای قطب نمای غیر پاندولی

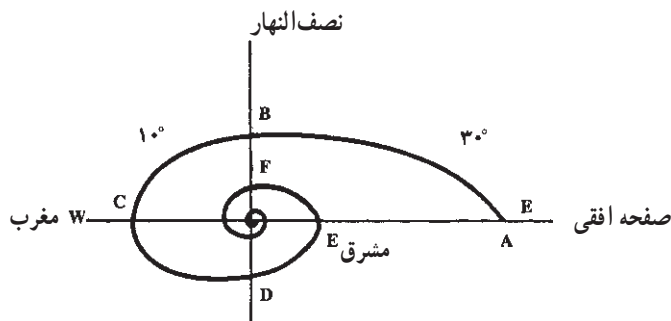
اگر نقطه اتصال بین بالستیک جیوه‌ای و محفظه روتور در یک خط با محور عمودی باشد، تنها نیروی گشتاوری که به وسیله بالستیک جیوه‌ای وارد می‌شود، به دور محور افقی اثر گذاشته تغییر جهت محوری حاصل تنها در حول محور عمودی انجام می‌گیرد. در این صورت قطب‌نما تنها در اطراف نصف‌النهار نوسان خواهد کرد.

در هر حال، اگر نقطه اتصال بین مخازن بالستیک و محفظه روتور به اندازه کسری از اینچ به طرف شرق محور عمودی قرار داده شود (شکل ۲۲-۵)، نیروی ایجاد شده به وسیله 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 محور افقی خیلی آهسته‌تر از تغییر جهت محوری در حول محور عمودی صورت می‌گیرد، زیرا نقطه اتصال به فاصله خیلی کمی از محور عمودی تغییر محل داده شده است.

وقتی که قطب‌نما در  $30^\circ$  درجه شرقی نصف‌النهار تراز شود (نقطه A شکل ۲۳-۵)، 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 جاپروکمپاس به سمت مغرب در حول محور عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری انتهای شمالی محور قطب‌نمای جاپرو به طرف 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 به طرف نصف‌النهار می‌شود. در هر حال، قطب‌نما نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند (نقطه B شکل ۲۳-۵). 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 جاپرو 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 جاپرو می‌شود (نقطه C شکل ۲۳-۵).



شکل ۲۳-۵- مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای غیر پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

هنگامی که محور تراز شد، تغییر جهت محوری به علت عدم اعمال نیروی گشتاوری به وسیله بالستیک جیوه‌ای متوقف می‌شود.

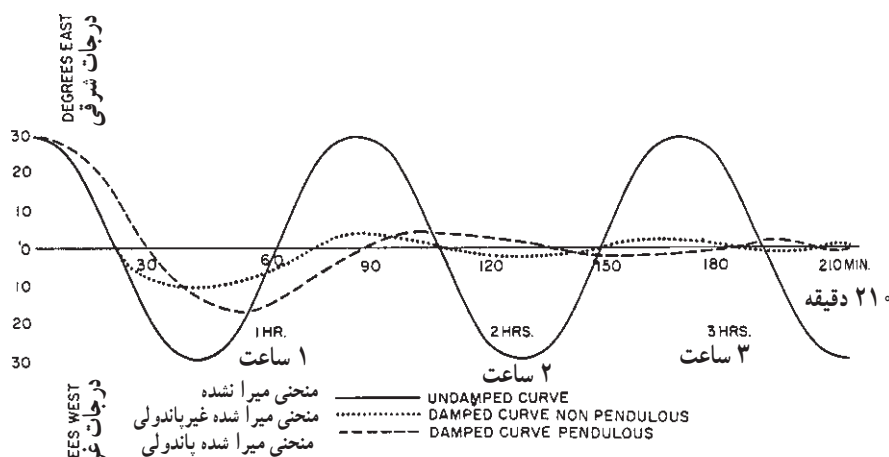
اگر نیروهای گشتاوری لازم و کافی اعمال شده باشند، قطب‌نما تنها به اندازه  $10^\circ$  درجه از غرب نصف النهار دور شده، نوسان به اندازه  $66^\circ$  درصد کاهش می‌یابد.

مادامی که 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 در حول 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 به طرف نصف النهار می‌شود (نقطه D شکل ۲۳-۵) و جایرو نمی‌تواند روی نصف النهار 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 نصف النهار بگذرد. اکنون که محور شمالی دوباره در شرق نصف النهار 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 ۲۳-۵). در این لحظه قطب‌نما

تقریباً به اندازه  $3\frac{1}{3}$  درجه شرقی از نصف النهار دور می‌شود. این عمل میرایی تقریباً به اندازه  $1\frac{1}{3}$  نوسان ادامه دارد؛ سپس قطب‌نما روی نصف النهار قرار می‌گیرد.

برای مقایسه، منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای میرا نشده (Undamping) و منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای غیرپاندولی و پاندولی میرا شده در شکل (۵-۲۴) 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.

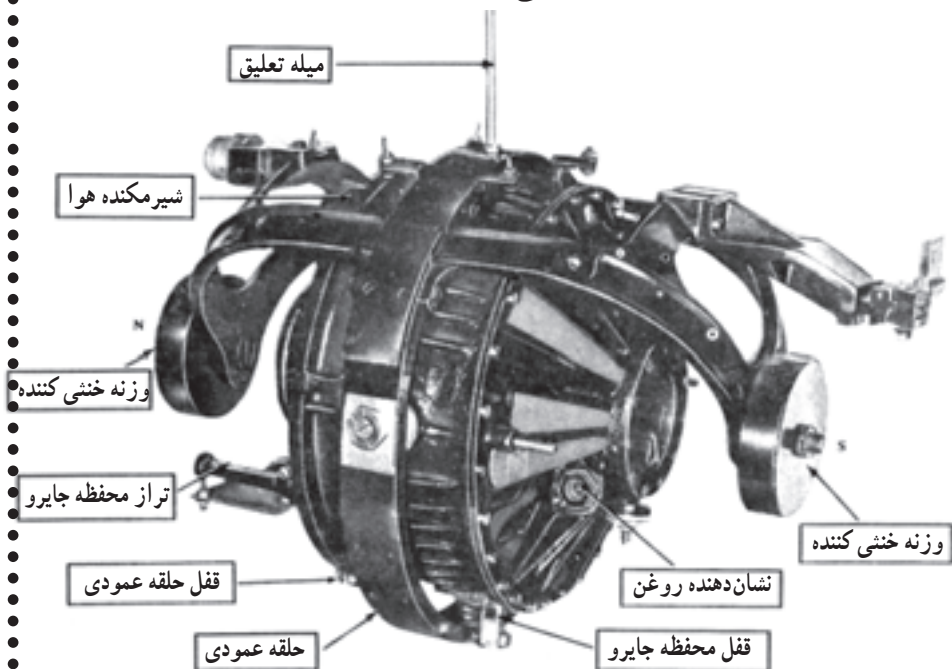


شکل ۵-۲۴ منحنیهای نوسان قطب‌نمای میرا شده و میرا نشده  
 مقداری که هر نوسان متوالی از نصف النهار می‌گذرد به وسیله دستگاه میراکننده کاهش می‌یابد؛ البته مقدار این کاهش در کلیه نوسانات یکسان نیست.  
 در قطب‌نمای پاندولی کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی کمتر است. در قطب‌نمای غیر پاندولی، کاهش مقدار نوسان 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  $7^\circ$  درصد در قطب‌نماهای پاندولی و غیرپاندولی است.

۷-۵- قسمت‌های مختلف المان حساس جایرو (Sensitive element)  
 قسمت حساس جایرو که در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است، همان سیستم

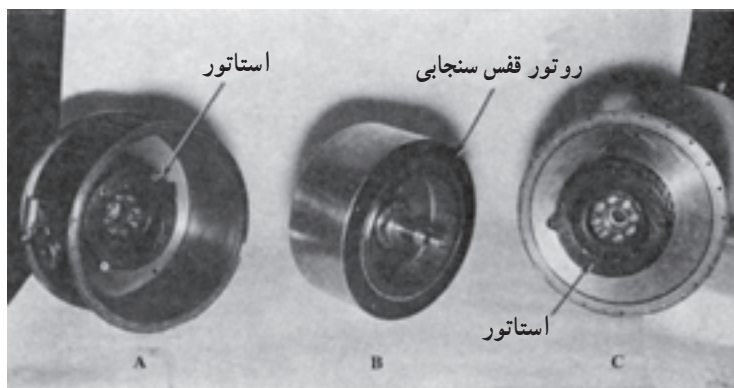


شمال یاب قطب نما است. این قسمت شامل دستگاه جایرو، حلقه عمودی، وزنه های خنثی کننده، شاخص دنباله رو و قسمت مُعلق است. اجزای قطب نما ی جایرو اسپری مارک ۱۱ مدل ۶ به عنوان نمونه تشریح می شود.



شکل ۲۵-۵- اجزای قسمت حساس قطب نما ی اسپری مارک ۱۱ مدل ۶

۱-۷-۵- موتور جایرو - این دستگاه یک نیروی جهت دار برای قسمت حساس فراهم می سازد که باعث شمال یابی قطب نما می شود. این دستگاه شامل موتور و محافظه است (شکل ۲۶-۵).



شکل ۲۶-۵- A و C استاتور موتور جایرو. B روتور موتور جایرو

دور موتور جاپرو خیلی زیاد است (در حدود ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه). محفظه موتور شکل C و A (۲۶-۵) دارای یک سیم پیچ دو استاتور سه فاز است که هر استاتور بر روی نیمی از محفظه سوار شده است. محفظه، ضد نفوذ هوا است و موتور در خلأ کار می کند تا اصطکاک حاصل از مقاومت هوا را کم کند.

**۲-۷-۵- حلقه عمودی** - حلقه عمودی (شکل ۲۵-۵) 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 نگاه دارنده فوقانی و تحتانی از حرکات عرضی حلقه عمودی در داخل حلقه فانتوم جلوگیری می کند. جدار خارجی یاتاقان بالایی به وسیله حلقه فانتوم نگاه داشته می شود 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 جاپرو حول محور افقی خود هنگامی که قطب نما کار نمی کند. یک قفل برای محفظه جاپرو تعبیه شده است. همچنین یک قفل نیز برای حلقه عمودی به منظور هم خط نگاه داشتن حلقه عمودی با حلقه فانتوم در نظر گرفته شده است.

**۳-۷-۵- وزنه های خنثی کننده** - وزنه های خنثی کننده (شکل ۲۵-۵) به وسیله دو قاب که به حلقه عمودی متصل است، نگهداری می شوند. این قابها در پشت دو انتهای محور روتور قرار گرفته اند. عمل این وزنه ها برای متعادل کردن وزن جاپرو در اطراف محور عمودی است. آرمیچر انتقال دهنده سیگنال یا ترانسفورمر دنباله رو به یک بازو متصل است که به طور افقی از قسمت بالایی قاب وزنه خنثی کننده جنوبی بیرون آمده است.

**۴-۷-۵- شاخص دنباله رو (فالو آپ)** - شاخص دنباله رو وضعیت حلقه فانتوم را نسبت به ایمان حساس نشان می دهد. این شاخص از یک صفحه مدرج و یک عقربه تشکیل شده است. صفحه برحسب درجه مدرج شده و مرکز آن با حرف «O» نشان داده شده است تا در صورت وجود انحراف بین فانتوم و ایمان حساس مشخص شود.

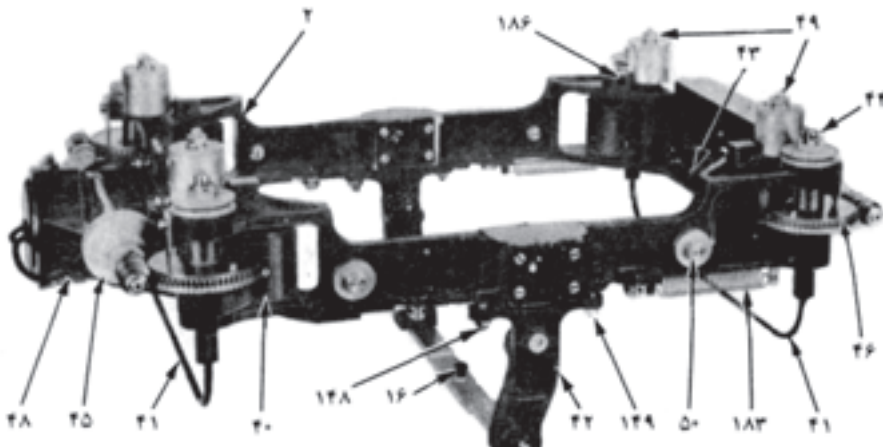
**۵-۷-۵- سیمهای تعلیق ایمان حساس** (رابط نگاه دارنده) - سیمهای تعلیق (شکل ۲۵-۵) تمام ایمان حساس را از قسمت فانتوم آویزان نگاه می دارند. این

قسمت شامل تعدادی سیمهای باریک فولادی است که از انتهای بالایی به یک بست نگاه دارنده و از انتهای پایین به یک بست هدایت کننده متصل شده اند. یک مهره تنظیم، بست نگاه دارنده را به قسمت فانتوم متصل می کند و وسیله ای است برای نگاه داشتن قسمت حساس به صورت عمودی. بست راهنما (Guide Stud) از طریق یک حفره که در قسمت بالایی حلقه عمودی قرار داده شده، عبور کرده و به وسیله یک مهره به حلقه، اتصال داده شده است.

**بالمستیک جیوه ای** — بالمستیک جیوه ای (متعادل کننده جیوه ای) از قسمتهایی تشکیل یافته که نیروی کنترل کننده جاذبه را به دستگاه جاپرو اعمال کرده و باعث می شوند که جاپرو شمال یابی کند. این قسمت دارای یک قاب ثابت است که روی یاتاقانهای حلقه فانتوم نگهداری می شود. این یاتاقانها با یاتاقانهای محفظه افقی در حلقه عمودی طوری در یک خط قرار گرفته اند که بالمستیک جیوه ای بتواند آزادانه در حول محور مشرق - مغرب قسمت حساس کج شود.

قاب مزبور در هر یک از چهار گوشه خود یک مخزن جیوه دارد. مخزنهای شمالی و جنوبی در کناره شرقی قطب نما به وسیله یک لوله «U» شکل و مخزنهای شمالی و جنوبی در کناره غربی نیز به همین ترتیب به یکدیگر ارتباط یافته اند. نیروی کنترل کننده جاذبه بالمستیک جیوه ای از طریق بست قابل تنظیم یاتاقان که روی بازوی اتصال بالمستیک سوار است، به انتهای محفظه جاپرو اعمال می شود (شکل ۲۷-۵). یاتاقان اتصال از محور عمودی به اندازه کمی به طرف مشرق منحرف می شود 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 می کند که جذب این پیستون موجب حرکت بازویی می شود و تا وقتی که یاتاقان اتصال با محور عمودی جاپرو در یک خط قرار گیرد، حرکت آن ادامه خواهد داشت.

علاوه بر این، هر مخزن جیوه از پایه نگاه دارنده خود طوری منحرف می شود که بتواند به دور شاخه خود در قوسی برابر  $110^\circ$  درجه بچرخد تا بازوی اهرم هریک از مخزنها را تکان دهد. به این ترتیب زمان تناوب یک نوسان میرا کننده قطب نمای جاپرو در تمام طولهای جغرافیایی به وسیله میزان کردن مخازن جیوه ثابت نگاه داشته می شود. این تنظیم کردن را تنظیم طول جغرافیایی بالمستیک می نامند.



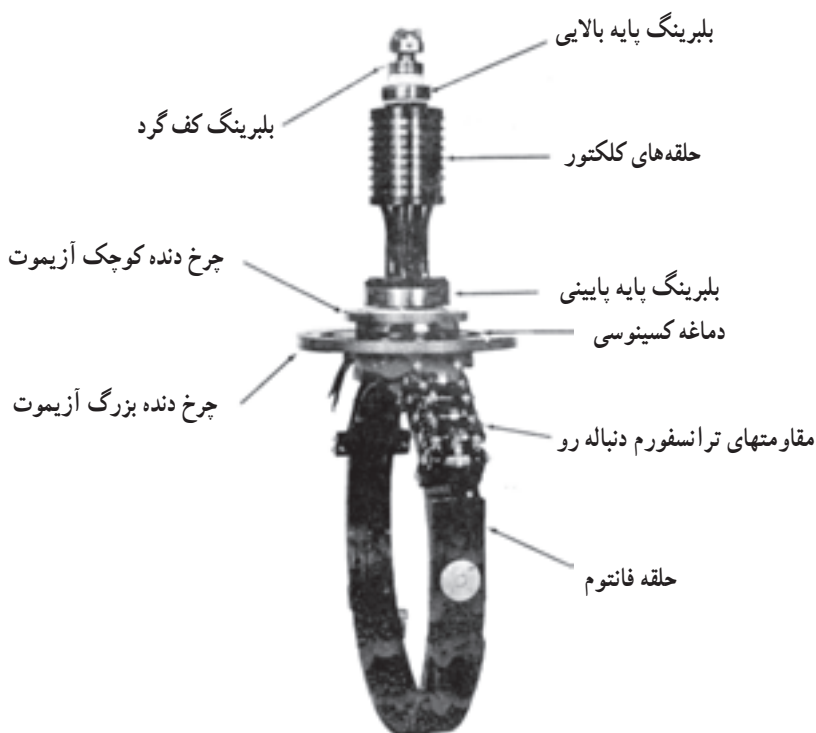
- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| ۴۶ صفحه مدرج طول جغرافیایی           | ۲ قاب بالستیک جیوه‌ای              |
| ۴۸ مغناطیس حذف کننده میرایی          | ۱۶ بست اتصال           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

شکل ۲۷-۵- بالستیک جیوه‌ای

## ۸-۵- قسمت فانتوم (نگاه دارنده الیمان حساس)

فانتوم (شکل ۲۸-۵) 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. قسمت 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 به‌وسیله عمل سیستم تعقیب کننده دنبال می‌کند).

یک یاتاقان کف گرد روی بدنه در مرکز دستگاه اسپایدر مطابق شکل (۲۸-۵) قرار گرفته است و وزن قسمتهای فانتوم و حساس را تحمل می‌کند. یاتاقانهای بالایی



شکل ۲۸-۵ - قسمت فانتوم اسپری مارک ۱۱

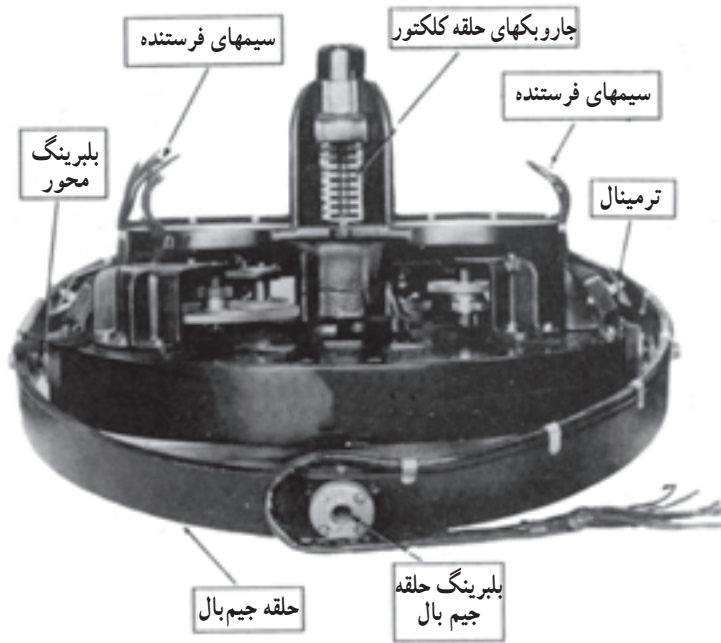
و پایینی بدنه، آن را با محور عمودی اسپایدر در یک خط نگاه می‌دارند، اما قسمت فانتوم را آزاد می‌گذارند تا در حول محور عمودی خود بچرخد.

حلقه فانتوم همچنین یاتاقانهایی را که حامل بالستیک جیوه‌ای هستند، نگاه می‌دارد. محور این یاتاقانها با محور یاتاقانهای افقی دستگاه جیرو 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 - اسپایدر (شکل ۲۹-۵) یک میز دایره‌ای از جنس آلیاژ آلومینیوم است که تمام قسمت داخلی یا متحرک قطب‌نما را به وسیله دستگاهی که روی آن یاتاقانهای کف‌گرد قرار دارند؛ نگاه می‌دارد.

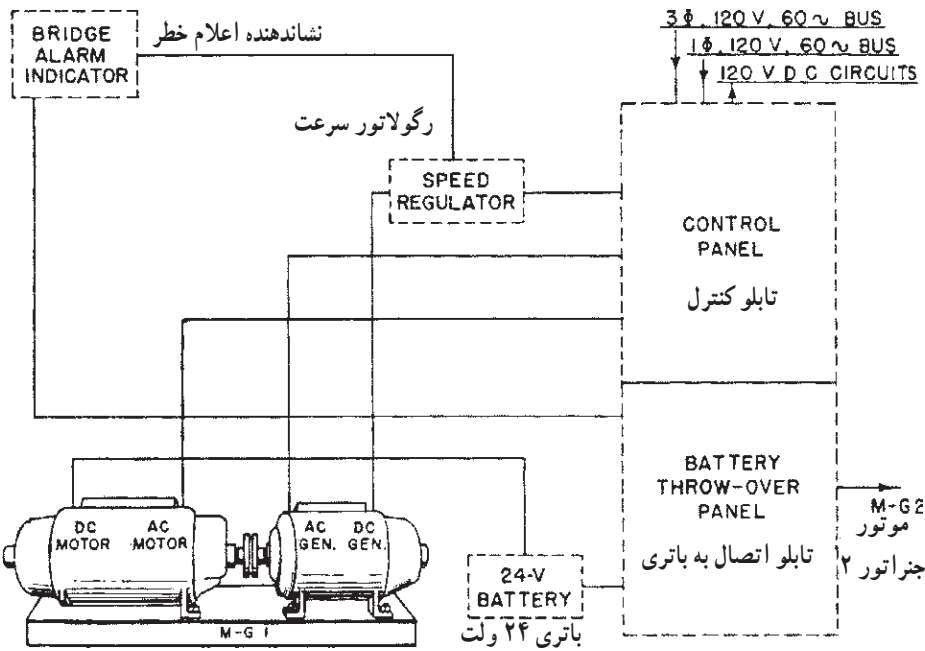
## ۹-۵ - سیستم کنترل جیرو

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



شکل ۲۹-۵- اسپایدر جایروی اسپری مارک ۱۱

کنترل بر روی پانل کنترل نصب شده‌اند. شکل (۳۰-۵) قسمت‌های مختلف یک سیستم کنترل جایرو را نشان داده است.



شکل ۳۰-۵- 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.

۱-۹-۵- موتور جنراتور - برای هر دستگاه جایرو، یک کنورتور مجزا در نظر 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.

۲-۹-۵- سیستم تغذیه از باتری - هر دستگاه موتور جنراتور به‌صورت یک واحد کامل درآمده و روی یک صفحه 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.

۳-۹-۵- تنظیم‌کننده سرعت (تابلو کنترل) - 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.

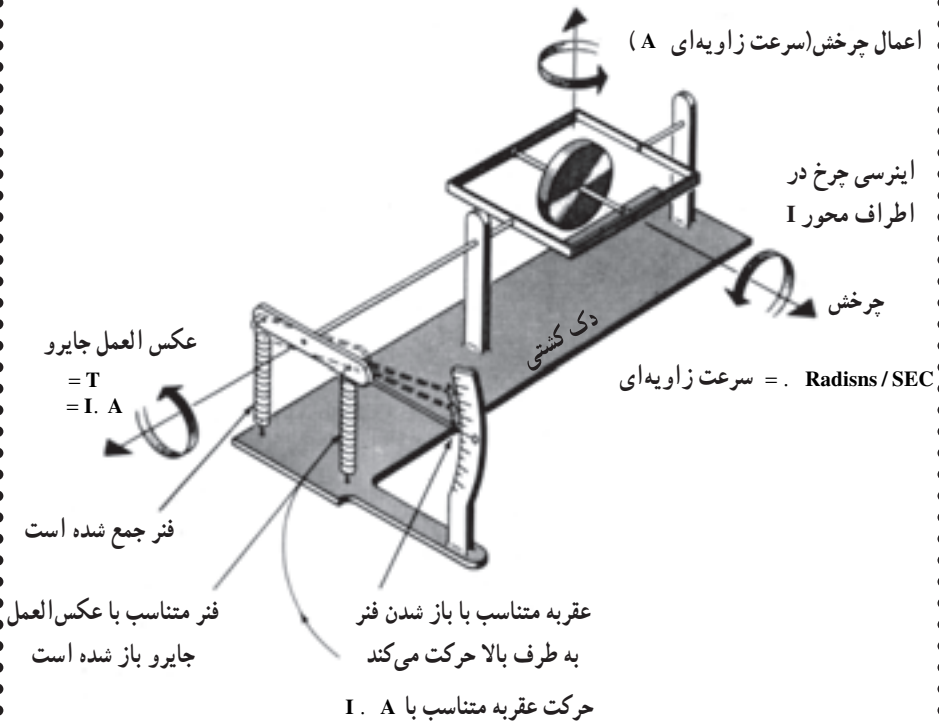
## ۱۰-۵- موارد استفاده جایرو

جایروها به دو صورت کلی 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) - 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 - تغییر جهت محوری به جایرو اعمال و عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود. این اصول کار یک مشتق‌گیر که شتاب را محاسبه می‌کند می‌باشد (Rate Gyro) در اشکال (۳۱-۵ و ۳۲-۵) نمونه‌هایی از مشتق‌گیرها برای اندازه‌گیری شتاب چرخش

کشتی و اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) تشریح می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۵-۳۱) نشان داده شده است، کشتی نیروی مورد نیاز 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.



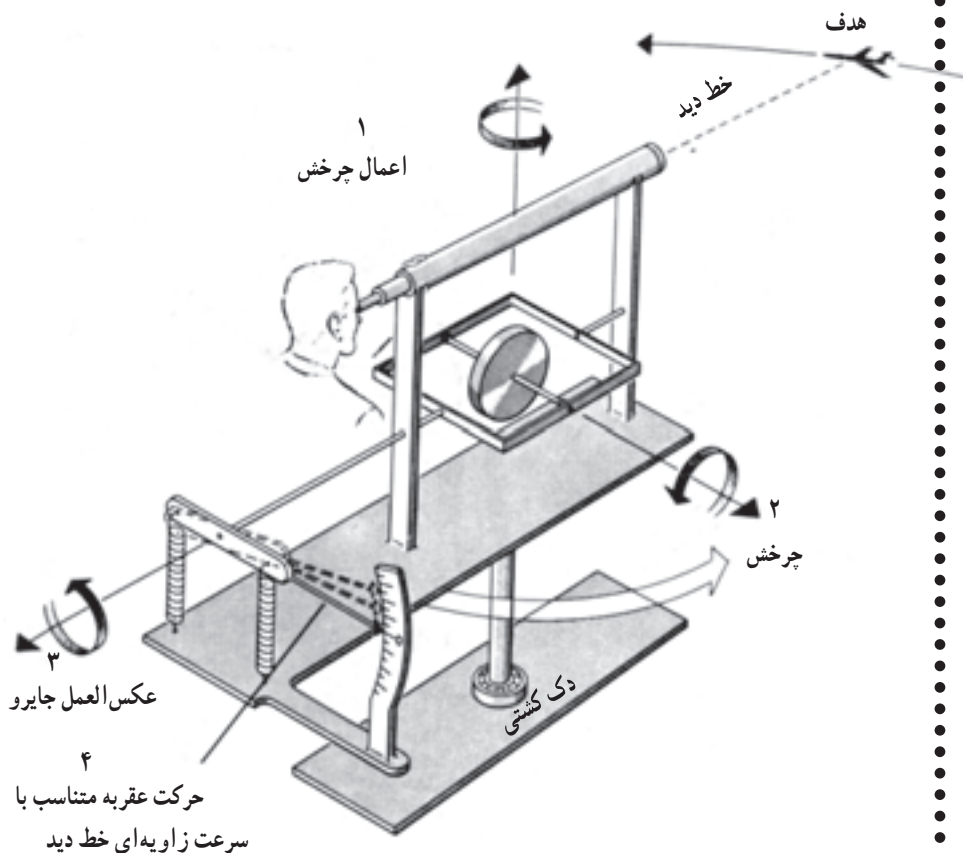
شکل ۵-۳۱

در شکل (۵-۳۲) اصول جایروی مشتق‌گیر (شتاب‌سنج) که برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) است، نشان داده شده است. وقتی تلسکوپ به دنبال هدف حرکت داده می‌شود، تغییر جهت محوری حاصل موجب تغییر حالت فنرها شده و در نتیجه عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود.

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



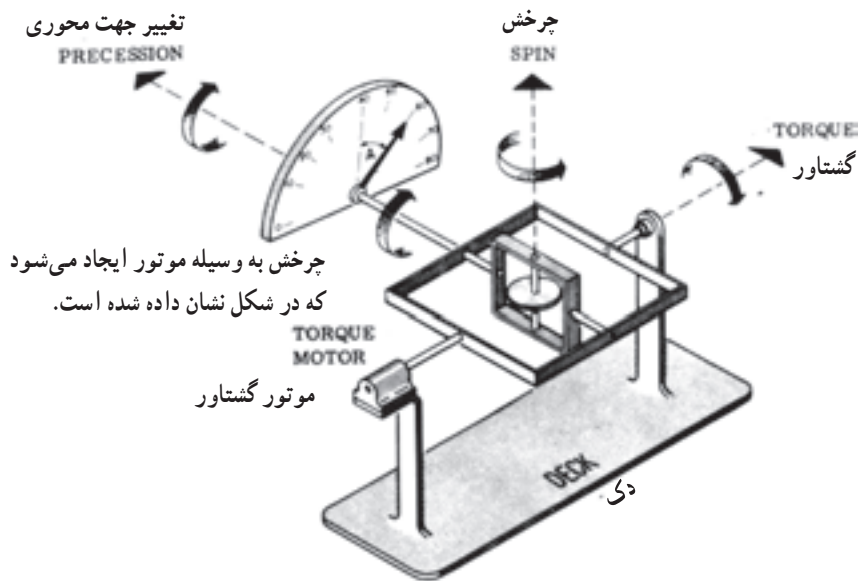
می‌کند. در جابرویی نوع اخیر یعنی انتگرال گیرها می‌توان با مشاهده زاویه محوری، انتگرال گشتاور را برحسب زمان محاسبه کرد.



شکل ۳۲-۵

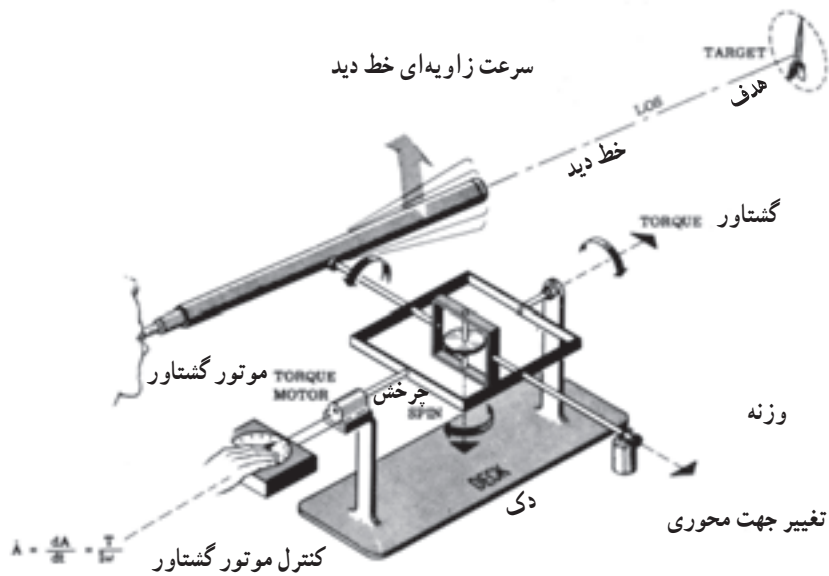
در یک انتگرال گیر می‌توان با مشاهده زاویه تغییر جهت محوری، انتگرال گشتاور را نسبت به زمان محاسبه کرد با این که نیروی گشتاوری را به گونه‌ای تنظیم کرد که جابرو خط دید (Line of Sight) را دنبال کند.

**انتگرال گیر مستقیم** — گشتاوری متناسب با مقدار مورد لزوم به جابرو اعمال و موجب تغییر جهت محوری می‌شود. با توجه به این که شتاب تغییر جهت محوری متناسب با گشتاور است، زاویه تغییر جهت محوری با انتگرال گشتاور نسبت به زمان متناسب است (شکل ۳۳-۵).



شکل ۳۳- ۵

جایروی انتگرال گیر می تواند سرعت زاویه را همچنین از راه غیرمستقیم اندازه گیری کند. فرض کنید می خواهیم سرعت زاویه ای خط دید (L.O.S) را که بر روی هدفی متحرک حرکت می کند، اندازه گیری کنیم. در شکل (۳۴-۵) یک تلسکوپ به جایرو متصل است و جایرو به گونه ای تنظیم شده است که حرکت تلسکوپ حاصل از تغییر جهت محوری و خط دید (L.O.S) هر دو یک مسیر را طی می کنند.



شکل ۳۴- ۵

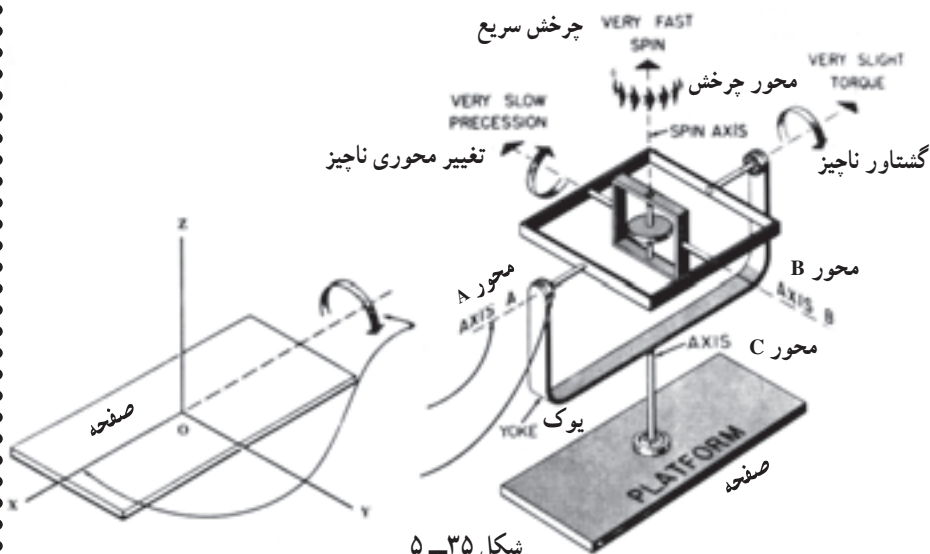
گشتاوری به جابرو اعمال می‌شود و آنقدر تغییر می‌کند تا این که هدف به‌طور دقیق بر روی محور تلسکوپ تنظیم شود.

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) —** 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 خصوصیات 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 (Platform) که قادر است در حول هر یک از سه محور  $Ox$  و  $Oy$  و  $Oz$  حرکت کند، نصب شده است.

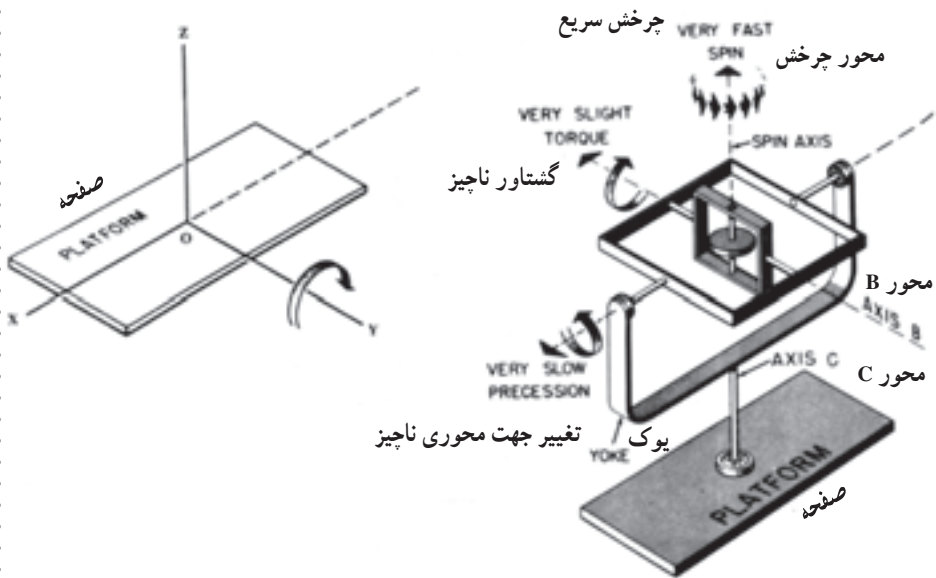
اگر صفحه حول محور  $Ox$  بچرخد، گشتاور ناچیزی که در اثر اصطکاک بلبرینگها به وجود می‌آید به محور  $A$  وارد می‌شود و حاصل آن یک تغییر جهت محوری آرام به اطراف محور  $B$  است (شکل ۳۵-۵).



شکل ۳۵-۵

بنابراین وقتی که صفحه حول محور Ox می چرخد، محور B در وضعیت افقی و محور چرخش جاپرو به حالت عمودی باقی می ماند.

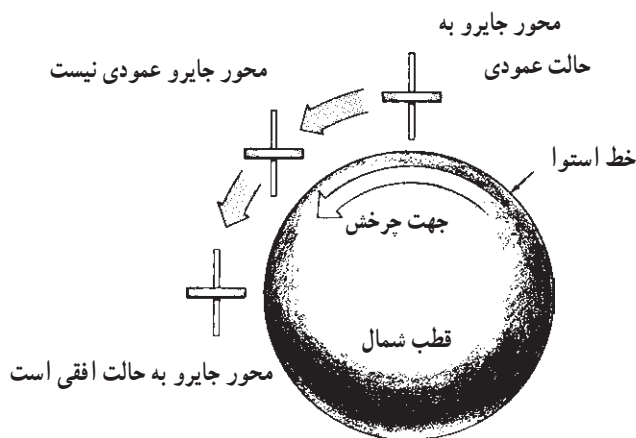
حال اگر صفحه به دور محور Oy به جای محور Ox بچرخد، یک گشتاور ناچیز که از اصطکاک بین محور B و بلبرینگهای آن حاصل می شود و یک تغییر جهت محوری ناچیز حول محور A، موجب می شود که محور X همراه با صفحه (Plat form) منحرف شود؛ اما محور B هیچ گونه چرخش در فضا نداشته بنابراین محور چرخش به صورت عمودی ثابت می ماند.



شکل ۳۶-۵

در نتیجه با چرخش جاپرو حول محورهای x و y وضعیت جاپرو در فضا ثابت می ماند، اما با چرخش حول محور Oz جیم بال داخلی ثابت نمی ماند. دلیل این امر به خاطر موازی بودن محور گشتاور ایجاد شده (در بلبرینگهای محور C) با محور چرخش است؛ بنابراین تغییر جهت محوری در جاپرو حاصل نمی شود و در نتیجه حتی گشتاور کوچکی نیز موجب چرخش جیم بال ها و جاپرو همراه با پایه خواهد شد. برای این که پایداری سیستم حول OC میسر شود باید دومین جاپرو به گونه ای نصب شود که محور چرخش آن افقی باشد؛ بدین منظور می تواند به جیم بال 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 ۳۷-۵).



شکل ۳۷-۵

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

- ۱- جایروسکوپ چیست؟
- ۲- خواص جایروسکوپی را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.
- ۳- پایداری یک جایرو را چگونه می‌توان افزایش داد؟
- ۴- گشتاور را تعریف کنید.
- ۵- چگونگی وضع جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است تشریح کنید. (جایروسکوپ روی خط استوا قرار دارد).
- ۶- سه شرط لازم برای تبدیل جایروسکوپ به قطب‌نمای جایرو را به‌طور مختصر شرح دهید.