l

آزمایشگاه فیزیک پایه 1

**گزارش کار آزمایش شماره 8**

**« حرکت دورانی لختی دورانی »**

**گروه 2**

محمدرضا مهدیه

**تاریخ آزمایش :**  6/9/1390

**تاریخ تحویل گزارش کار:** 27/9/1390

**استاد:** آقای روزبه ترکی

**تئوری آزمایش:**

**حرکت دورانی**

**یکی از حرکتهای مهم ، حرکت دورانی است. نمونه‌های بسیاری از این نوع حرکت را هر روز مشاهده می‌‌کنیم. چرخش زمین به دور محور خود نمونه‌ای از حرکت دورانی است. باید توجه داشته باشیم که حرکت بر روی مسیر دایره‌ای ، با دوران یک جسم به دور یک محور تفاوت دارد. هر حرکت دورانی با محور دوران و زاویه دوران مشخص می‌‌شود. زاویه دوران در سرعت زاویه‌ای جسم لحاظ می‌‌شود.**

**سینماتیک دوران**

**جسم صلبی را در نظر بگیرید که حول محوری که بر سطح این جسم عمود است، دوران می‌‌کند. برای سادگی فرض می‌‌کنیم که محور دوران ثابت می‌‌باشد. اگر محل ذره‌ای بر روی جسم در چارچوب مرجع ما معلوم باشد، می‌‌توانیم وضعیت تمامی ‌جسم در حال دوران را در این چارچوب مرجع مشخص کنیم. لذا برای سینماتیک این مسیله ، کافی است که فقط حرکت یک ذره بر روی یک دایره را در نظر بگیریم. اندازه دوران در هر لحظه به وسیله زاویه θ ، زاویه‌ای که موضع زاویه‌ای ذره نسبت به موضع اولیه می‌‌سازد، تعیین می‌‌شود. لذا اگر جهت دوران پاد ساعتگرد را مثبت اختیار کنیم، در نتیجه θ هنگام دوران پاد ساعتگرد افزایش و هنگام دوران ساعتگرد کاهش پیدا می‌‌کند.**

**سرعت زاویه‌ای ω**

**آهنگ تغییرات جابه‌جایی زاویه‌ای ذره (θ) نسبت به زمان به عنوان سرعت زاویه‌ای متوسط تعریف می‌‌شود. در واقع اگر تغییرات زاویه‌ای را با θ∆ و مدت زمان این تغییر را با t∆ نشان دهیم، در این صورت سرعت زاویه‌ای با نسبت θ/∆t∆ برابر است. حال اگر چنانکه از این عبارت هنگامی ‌که t∆ به سمت صفر میل می‌‌کند، حد بگیریم کمیت حاصل سرعت زاویه‌ای لحظه‌ای خواهد بود. با توجه به تعریف مشتق در واقع می‌‌توان گفت که سرعت زاویه‌ای با مشتق زمانی جابجایی زاویه‌ای θ برابر است. یکای سرعت زاویه‌ای عکس یکای زمان است و معمولا یکاهای آن را رادیان بر ثانیه یا دور بر ثانیه انتخاب می‌‌کنند.**

**شتاب زاویه‌ای α**

**اگر سرعت زاویه‌ای تغییر بکند، این تغییر سبب ایجاد شتاب می‌‌گردد. این شتاب ، شتاب زاویه‌ای نام دارد. اگر و ω\_۲ به ترتیب سرعتهای زاویه‌ای لحظه‌ای در زمانهای t\_۱ و t\_۲ باشند، در این صورت شتاب زاویه‌ای متوسط به صورت زیر خواهد بود:**

****

**حال اگر از این عبارت هنگامی که t∆ به سمت صفر میل می‌‌کند، حد بگیریم، در این صورت کمیت حاصل را شتاب زاویه‌ای لحظه‌ای می‌گویند. چون سرعت زاویه‌ای (ω) برای تمام ذرات جسم صلب یکسان است، لذا شتاب زاویه‌ای (α) نیز برای تمام ذرات یکسان خواهد بود. یکای شتاب زاویه‌ای عکس مجذور زمان است و یکاهای آن را معمولا رادیان بر مجذور ثانیه یا دور بر مجذور ثانیه تعریف می‌‌کنند.**

**مقایسه حرکت دورانی حول محور ثابت و حرکت انتقالی**

**دوران ذره (یا جسم صلب) حول یک محور ثابت با حرکت انتقالی ذره (یا جسم صلب) در یک امتداد ثابت هم‌خوانی صوری دارد. متغیرهای سینماتیک در حالت اول θ (جابجایی زاویه‌ای) ، ω (سرعت زاویه‌ای) و α (شتاب زاویه‌ای) هستند، اما در حالت دوم x (جابه‌جایی خطی)، v شتاب خطی هستند. این کمیتها دو به دو متناظرند. البته اینها از لحاظ یکا با هم اختلاف دارند. هرگاه در حرکت انتقالی محدودیت مربوط به حرکت در امتداد خط راست را حذف کنیم و حالت کلی حرکت سه بعدی را بر روی مسیر منحنی در نظر بگیریم، متغیرهای خطی a ، v ، x به صورت مولفه‌های اسکالر بردارهای سینماتیکی ظاهر می‌‌شوند، اما در صورت حذف محدودیت دوران حول محور ثابت ، متغیرهای سینماتیک دوران به این سادگی به بردار تبدیل نمی‌‌شوند.با استفاده از تناظری که اشاره شد، به راحتی می‌‌توان معادلات حرکت را در حرکت دورانی حول یک محور ثابت بدست آورد. فقط کافی است متغیرهای سینماتیکی حرکت انتقالی در امتداد ثابت را با متغییرهای سینماتیکی حرکت دورانی جایگزین کنیم.**

**نمایش برداری کمیتهای دورانی**

**جابجایی ، سرعت و شتاب خطی کمیتهای برداری هستند. کمیتهای زاویه‌ای متناظر آنها نیز می‌‌توانند بردار باشند، چون علاوه بر بزرگی باید جهتی نیز برای آنها در نظر گرفت. به عنوان مثال ، اگر محور دوران ثابت نباشد، در این صورت نمی‌‌توان گفت که کمیتهای α ، ω ، θ باز هم حالت اسکالر دارند، اما نمی‌‌توانیم این کمیتها را بردار تصور کنیم. به عنوان مثال ، جابجایی زاویه‌ای θ نمی‌‌تواند بردار باشد، چون به صورت برداری با هم جمع نمی‌‌شوند. از ریاضیات می‌‌دانیم که حاصل جمع دو بردار خاصیت جابجایی دارد، یعنی وقتی که دو بردار A و B را باهم جمع می‌‌کنیم، فرقی ندارد که A + B بنویسیم یا B + A. در صورتی که در مورد θ که زاویه دوران است، چنین نیست، اما اگر جابجایی زاویه‌ای بینهایت کوچک باشد، می‌‌توان آن را برداری در نظر گرفت.**

**رابطه سینماتیک خطی و زاویه‌ای**

**هرگاه جسم صلبی حول یک محور ثابت بچرخد، هر ذره از آن بر روی یک مسیر دایره‌ای حرکت می‌‌کند. لذا می‌‌توانیم حرکت این ذره را با متغیرهای خطی یا متغیرهای زاویه‌ای توصیف کنیم. با استفاده از رابطه میان متغیرهای خطی و زاویه‌ای می‌‌توانیم از توصیف یکی توصیف دیگری را نتیجه بگیریم و اگر سرعت خطی را با v و سرعت زاویه‌ای را با ω و فاصله نقطه مورد نظر از جسم صلب از محور دوران را با r نشان دهیم. در این صورت v = ω r خواهد بود. در حرکت دایره‌ای دو نوع شتاب می‌‌تواند وجود داشته باشد. یکی شتاب مماسی است که از تغییر سرعت خطی v حاصل می‌‌شود و دیگری شتاب زاویه‌ای است که از تغییرات سرعت زاویه‌ای ω بوجود می‌‌آید.**

**گشتاور نیرو**

**در حرکت انتقالی نیرو را به شتاب خطی جسم وابسته می‌‌کنیم. در حرکت دورانی کمیتی که به شتاب زاویه‌ای جسم وابسته است، گشتاور نیرو می‌‌باشد. ابتدا گشتاور نیرو را برای حالت خاص یک ذره منفرد که از یک چارچوب مرجع لخت مشاهده می‌‌شود، تعریف می‌‌کنیم. سپس آن را به دستگاههای ذرات تعمیم می‌‌دهیم. در مورد یک ذره منفرد که به فاصله r از مبدا مختصات قرار دارد و تحت تاثیر نیروی F حول محوری که از مبدا مختصات گذشته و بر صفحه شامل ذره و نیرو عمود است، دوران می‌کند، گشتاور نیرو با حاصل‌ضرب برداری r در F برابر است.در حرکت دورانی گشتاور نیرو با شتاب زاویه‌ای ارتباط نزدیکی دارد، یعنی همان گونه که در حرکت انتقالی نیرو با حاصل‌ضرب جرم و شتاب خطی برابر است، گشتاور نیرو نیز با حاصل‌ضرب شتاب زاویه‌ای در ممان اینرسی (یعنی گشتاور لختی یا لختی دورانی) برابر است، یعنی اگر گشتاور نیرو را با T و ممان اینرسی را با I نشان دهیم، خواهیم داشت I = T .**

**حرکت دورانی حول محوری که حرکت انتقالی دارد**

**دوران حول یک محور ثابت حالت خاصی از حرکت دورانی است، اما اگر محور دوران ثابت نباشد، در این صورت شرایط فرق می‌‌کند. به عنوان مثال ، استوانه‌ای که بر روی یک سطح افقی می‌‌غلتد، نمونه‌ای از این نوع حرکت است. حرکت غلتان این جسم را می‌‌توان ترکیبی از حرکتهای انتقالی و دورانی در نظر گرفت. در مورد استوانه در هر لحظه نقطه تماس استوانه و سطح در حال حرکت است، چون جسم نمی‌‌لغزد. بنابراین در این حالت می‌‌توان حرکت را ترکیب حرکت انتقالی مرکز جرم و حرکت دورانی حول محوری که از مرکز جرم می‌‌گذرد، دانست که هم ارز است با یک حرکت دورانی محض با همان سرعت زاویه‌ای حول محوری که از نقطه تماس جسم غلتان می‌‌گذرد.**

**دوران جسم صلب حول محور دلخواه**

**در کلی‌ترین حالت دوران جسم صلب حول محوری که ثابت نبوده و حرکت دورانی دارد، مورد بحث قرار می‌‌گیرد. در این حالت برای بررسی حرکت جسم صلب به صورت زیر عمل می‌‌کنیم:**

**دو سیستم مختصات که یکی در خارج از جسم ثابت بوده و دیگری در روی جسم صلب قرار داشته و به همراه آن می‌‌چرخد، در نظر می‌‌گیریم. سیستم مختصات متصل به جسم را با پریم مشخص می‌‌کنیم. در این صورت سه محور چارچوب ثابت و چارچوب متصل به جسم با هم زاویه می‌‌سازد که این زوایا را زوایای اویلر می‌‌گویند. به بیان دیگر ، می‌‌توان گفت که با سه دوران پی‌درپی به اندازه این زاویه‌ها دو چارچوب پریم‌دار و بدون پریم بر هم منطبق می‌‌شوند.**

**بنابراین چارچوب برای نشان دادن جهت گیری جسم صلب در فضا نسبت به چارچوب ساکن در نظر گرفته می‌‌شود، اما در مورد جسم صلب می‌‌توان سه محور عمود بر هم چنان انتخاب کرد که حاصلضرب ممانهای اینرسی صفر شوند. لازم به توضیح است ممان اینرسی جسم صلب ، در حالت کلی ، به صورت یک ماتریس خواهد بود که اعضای قطر اصلی ، ممان اینرسی اصلی و سایر عناصر را حاصل‌ضرب ممانهای اینرسی می‌‌گویند. بنابراین چارچوب سومی ‌در نظر گرفته می‌‌شود که سه محور آن محورهای اصلی جسم صلب هستند.**

**به این ترتیب معادلات حرکت جسم صلب تنظیم می‌‌گردد و در مورد نحوه حرکت و تعادل جسم صلب بحث می‌‌شود. بدیهی است که در این حالت کمیتها به صورت تانسوری در نظر گرفته می‌‌شوند. به عنوان مثال ، اندازه حرکت خطی به صورت L = Iω بیان می‌‌شود که دراین جا I تانسور اینرسی است که نمایش آن به صورت یک ماتریس مربعی است و ω به صورت یک ماتریس ستونی می‌‌باشد. به خاطر پیچیدگیهای ریاضی از ارایه معادلات حرکت خودداری می‌‌شود.**

**چرخ طیار**

**چرخ از ابزاری است كه تاريخ استفاده ازآن توسط بشرچندان مشخص نيست .قديمي ترين چرخ موجود در جهان كه در صنعت حمل و نقل مورداستفاده قرار گرفته است چرخ ارابه اي است كه از دوران هخامنشي برجاي مانده است و اكنون در موزه ي ملي ايران به نمايش گذاشته شده است . اما ازهمان آغاز بشر خاصيت و ذخيره انرژي چرخ را نيز كشف كرده بود وآن را به عنوان وسيله اي براي يكنواخت سازي سرعت وحفظ تعادل وسايل ساده اي كه مي ساخت بكارميبرد .ساختار اصلي چرخ لنگرعبارت است از يك disk تو پر يا حلقه اي شكل و كه به حول محور اصلي و مركزي خود دوران ميكند. اين وسيله ساده قابليت هاي خود را به خوبي به اثبات رسانده و در آينده استفاده هاي بيشتري را از آن شاهد خواهيم بود.**

**فيزيك تغيير انرژي در چرخ طيار:**

**در هر حركت دوراني انر‍‍ژي ‍ جنبشي برابر است باk=½ Iω² كهI ممان اينرسي جسم دوار و W سرعت زاويه اي اين دوران است بر اساس قانون لختي اين تمايل به حركت دوراني تا زماني كه مانعي بر سر راه آن قرار نگيرد ادامه مي يابد كه البته در واقعيت مسئله اصطكاك ياتاقان ها و هوا مانع اين كار مي شود.چرخ طيار را با توجه به اين اصل ساده به عنوان يك وسيله براي ذخيره انرژي به صورت انرژي جنبشي دوراني مي شناسيم . با توجه به تعريفI ميتوان ادعا كرد كه اين انرژي جنبشي در واحد جرم چرخ طيار ذخيره مي گردد و ميتوان آنرا در مواقع لزوم به كار گرفت.**

**دلايل استفاده از چرخ لنگر:**

**با توجه به اينكه اين چرخ قابليت بالايي در ذخيره انرژي دارد لذا از انرژي ذخيره شده در آن در دو مورد عمده استفاده مي شود يكي براي جبران كاهش لحظه اي انرژي در سيستم كه به دلايل مختلفي مي تواند اتفاق بيافتد.و ديگري به خاطر وزن زياد آن است كه ميتواند به عنوان چرخي براي بالانس حركات دوراني و يك نواخت سازي آن به كار برود.**

**چند نمونه از كاربرد هاي چرخ طيار :**

**در موتور هاي بنزين سوز : وظيفه ي اصلي چرخ طيار در اين موتورها يكنواخت سازي سرعت خروجي از ميل لنگ است اگر از انواع سنگين چرخ طياراستفاده شود ميتواند كاربرد بالانس ميل لنگ را هم به آن افزود اما در انواع سبك اين كاررا نمي تواند به خوبي انجام دهد.**

**در موتور هاي گاز سوز:**

**بعد از توقف هاي كوتاه مدت به دليل ضعيف بودن اين موتورها قدرت كافي براي آغاز مجدد حركت را ندارند و اين جا از انرژي ذخيره شده چرخ طيار استفاده مي شود.**

**دستگاه هاي پرس :**

**به دليل نحوه كار پرس بازه هايي وجود دارد كه موتور در حالت كار است اما پرس ضربه اي وارد نمي كند در اينجا چرخ طيار انرژي مصرف شده كه تبديل به انرژي مكانيكي شده را در خود ذخيره ميكند و در هنگام اعمال ضربه توسط پرس آن را به سيستم بر مي گردانداستفاده فوق را ميتوان به عنوان استفاده هاي سنتی چرخ طيار نام برد اما محققان با شناخت كامل خواص مكانيكي چرخ طيار تحقيقاتي را در زمينه كاربرد آن در مواردي تازه آغاز كرده اند كه بعضي از آنها به نتايج تازهاي رسيده اند:**

1. **استفاده از چرخ طيار در اتوبوس هاي عمومي كه توقف هاي زيادي دارند، اين كار سبب كاهش مصرف سوخت شده وآغاز مجدد حركت را روانتر خواهد نمود . دراين زمينه در هلند تحقيقات كاملي انجام شده است به نحوي كه به مدت 10 سال از يك اتوبوس كه از همين سيستم استفاده ميكرد بهره برده اند .**

**2) چرخ طيار در اوايل قرن 19 مورد علاقه بسياري از محققان ذخيره سازي انرژي بود. اما به دليل بروز مشكلات ساختاري آنرا رها كردند اما بعد از كشف كامپوزيتها دوباره تلاشهاي تازهاي براي به سر انجام رساندن اين طرح ها آغاز شد و اكنون محققان بر روي اين موضوع تمركز فراواني كرده اند در صورت موفقيت و ساخت نمونه اي قابل توليد انبوه با قيمت مناسب اين وسايل مي توانند باطريهاي شيميايي را كه سبب آلودگي زيست محيطي هم شده اند به حاشيه برانند به خاطر اهميت اين موضوع در صنايع نظامي هوا- فضا و ذخيره سازي انرژي رو به استفاده از این حرکت می باشند.**

**وسایل آزمایش:**

**دیسک ، پایه ،ریسمان ، کرنومتر، وزنه**

**شرح عملی آزمایش:**

**قسمت1)**

**ابتدا دیسک بر روی پایه به گونه ای تنظیم شد که سطح دیسک موازی سطح زمین قرار گرفت.سپس ریسما ن چندین دور به قرقره دیسک پیچیده شد و از طرف درگیر آن وزنه ای آویزان شد تا با حرکت دادن کوچکی دیسک شروع به حرکت یکنواخت کند(m/) که این وزنه برای خنثی کردن اصطکاک می باشد.حال هر وزنه دیگری که به ریسمان آویزان شود شروع به حرکت شتابدار میکند. پس با افزودن جرم m به آن و چرخش های θ و اندازه گیری زمان این چرخش در جدول (1) ثبت شد و این مرحله چندین بار برای چند θ مختلف انجام ودر همان جدول یادداشت شد.**

**قسمت 2)**

**اکنون وزنه ای به ریسمان متصل شد ولی سرباری زیر آن به گونه ای قرار گرفت که با عبور وزنه از آن وزنه جدید حذف خواهد شد سپس بعد از آن شروع به حرکت یکنواخت می نماید هنگام شروع این حرکت کرنومتر شروع به کار کرد و زمان طی شده تا پایه پایینی حساب شد و در جدول (2) با توجه به مقدار جابه جایی ثبت شد. این مرحله با ثابت قرار دادن سربار و تغییر پایه پایینی تکرار و در همان جدول ثبت شد.**

**جداول:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **2π=6.28** | **3π/4=4.7** | **π=3.14** | **π/2=1.57** | **θ(rad)** |
| **18** | **15** | **11.5** | **6.5** | **t(s)** |
| **424** | **225** | **132.25** | **42.25** | **t2(s2)** |
| **π/36=0.08** | **π/36=0.08** | **π/36=0.08** | **π/36=0.08** | **Δθ(rad)** |
| **1.25** | **1.25** | **1.25** | **1.25** | **Δt2** |

**جدول (1)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **0.35** | **0.30** | **0.25** | **0.20** | **X(m)** |
| **5.5** | **4.5** | **4.3** | **3.8** | **t(s)** |
| **0.064** | **0.067** | **0.058** | **0.053** | **V(m/s)** |

**جدول (2)**

**محاسبات و خطاها:**

 **خطای کرنومتر برابر 0.1 ثانیه می باشد.**

$$dt^{2}=2tdt ⟹ ∆t^{2}=2t∆t ⟹∆t\_{1}^{2}=2×6.5×0.1=1.3s$$

$$∆t\_{2}^{2}=2×15×0.1=3s ∆t\_{3}^{2}=2×11.5×0.1=2.3s$$

$$∆t\_{4}^{2}=2×18×0.1=3.6s$$

$$\overbar{∆t^{2}}=\frac{2.3+1.3+3+3.6}{4}=2.55$$

$$∆t^{2}=Max\left\{\left|2.55-1.3\right|,\left|2.55-2.3\right|,\left|2.55-3\right|,\left|2.55-3.6\right|\right\}=1.25$$

$$شیب بیشترین α\_{1}=\frac{6.36-1.49}{325.25-41}=0.0171$$

$$شیب بهترین α\_{1}=\frac{6.28-1.57}{324-42.25}=0.0167$$

$$شیب کمترین α\_{3}=\frac{6.36-1.49}{325.25-41}=0.062$$

$$∆α=Max\left\{\left|α\_{3}-α\_{2}\right|,\left|α\_{1}-α\_{1}\right|\right\}=Max\left\{0.0003,0.0005\right\}=0.0005$$

$$ای زاویه شتاب α=2αشیب ⟹∆α=2∆αشیب=0.001$$

***شتاب زاویه ای*** $=0.0167\pm 0.001=0.0177$

$$I=\frac{\left(m-\acute{m}\right)gR-mR^{2}α}{α}=\frac{\left(50-9.4\right)9.8×0.12-50×0.144×0.0168}{0.0168}=2834.8$$

$$LnI=Ln\left[\frac{\left(m-\acute{m}\right)gR-mR^{2}α}{α}\right]=\left[Ln\left(m-\acute{m}\right)gR-Lnα\right]-LnR^{2}$$

$$⟹\frac{dI}{I}\left[g\frac{(dmR+dR\left(m-\acute{m}\right)}{\left(m-\acute{m}\right)gR}-\frac{dα}{α}\right]-\frac{dmR^{2}-2RdRm}{mR^{2}}⟹ ΔI=5.53$$

**نتیجه گیری:**

**پرسشها:**

1. **آیا طرز قرار گرفتن دیسک به صورت افقی یا قائم تفاوتی دارد؟ شرح دهید.**
2. **ارتفاع دیسک از سطح زمین چه تاثیری دارد؟**
3. **عوامل خطای موجود در آزمایش و طریقه نسبی رفع آنها کدامند؟**
4. **آیا این آزمایش را بi روش دیگر یا وسایل دیگر با کیفیت مطلوب تر می توان انجام داد؟ شرح دهید.**