بسمه تعالی

نام و نام خانوادگی : نوید نادری علی زاده - شماره ی دانشجویی : 86108744 - رشته : مهندسی برق - گروه : 1 - زیر گروه : 2 - تاریخ انجام آزمایش : 21/2/87 - ساعت : 10:30 - دستیار آموزشی : خانم فضل علی

**آزمايش شماره ی 9**

**عنوان آزمايش:** اندازه گيری لختی دورانی

**هدف:** اندازه گيری لختی دورانی

**وسايل مورد نياز:** 1- چرخ متصل به بلبرينگ و پايه 2- اجسام با لختی دورانی مختلف شامل ميله، ديسک، کره و پوسته ی کروی و استوانه ی توپر و پوسته ای 3- دستگاه ثبت کننده ی زمان (شمارنده) 4- کفه 5- وزنه 6- متر 7- ترازو 8- مقداری نخ محکم 9- حسگر نوری

**نظريه:**

هر جسمی، دو نوع حرکت انتقالی و دورانی می تواند داشته باشد. در این آزمایش، حرکت دورانی جسم را ناشی از چرخش آن حول محوری ثابت، بررسی می کنیم. جرم، یک ویژگی ذاتی جسم است که در برابر حرکت انتقالی آن، مقاومت می کند؛ به همین دلیل، می توان آن را لختی انتقالی نامید. متناظر با جرم در حرکت انتقالی، مشخصه ای دیگر از جسم وجود دارد که در برابر حرکت دورانی جسم مقاومت می کند که آن را لختی دورانی می نامیم و با I نشان می دهیم. اگر جسم با سرعت زاویه ای ω دوران کند، سرعت خطی عنصری از جسم به جرم dm که در فاصله ی r از محور دوران قرار دارد، برابر v=rω است. بنابراین انرژی جنبشی این عنصر جرم برابر خواهد بود؛ در نتیجه انرژی جنبشی کل جسم، برابر انتگرال انرژی عناصر جرم خواهد بود:

بنابراین اگر ω را در حرکت دورانی متناظر با v در حرکت انتقالی در نظر بگیریم، چون انرژی جنبشی جسم در حرکت انتقالی از رابطه ی به دست می آید، به نظر می رسد که همتای جرم، در حرکت دورانی برابر باشد و تعریف لختی دورانی جسم نیز از همین جا بدست می آید:

با محاسبه ی این انتگرال برای اجسام مورد استفاده در این آزمایش، مقادیر زیر حاصل می شود:

برای میله ی فلزی و دیسک پلکسی:

برای پوسته ی کروی:

برای کره ی توپر:

برای پوسته ی استوانه ای:

برای استوانه ی توپر:

همچنین قضیه ای بنام قضیه ی محورهای موازی وجود دارد که در صورت تغییر محور دوران به محوری موازی محور اول و به فاصله ی d از آن محور، لختی دورانی حول محور جدید از رابطه ی I2=I1+md2 بدست می آید که m جرم جسم و I1 و I2 به ترتیب، لختی دورانی جسم حول محور اول و دوم هستند. این قضیه را نیز برای دیسک پلکسی بررسی خواهیم کرد.

**روند انجام آزمايش:**

**الف) اندازه گيری لختی دورانی**

اجسامی را که می خواهیم لختی دورانی آنها را اندازه بگیریم، روی بلبرینگ نصب می کنیم و با آویزان کردن 3 وزنه با مقادیر متفاوت برای هر جسم، وزنه ها را از کنار سنسور اول رها می کنیم و مدت زمانی را که وزنه ها فاصله ی بین دو سنسور را طی می کنند، اندازه می گیریم. وزنه ها هم به چرخ بلبرینگ متصلند و با پایین رفتن وزنه ها، بلبرینگ و در نتیجه جسم مورد نظر که روی بلبرینگ قرار دارد، شروع به دوران می کنند. اگر زمان اندازه گیری شده را با t، مجموع جرم کفه و وزنه های روی آن را با m، شتاب گرانشی را با g، شعاع چرخ بلبرینگ را با r و فاصله ی دو سنسور را با h نشان دهیم، می توان نشان داد که لختی دورانی جسم ( I ) از رابطه ی زیر بدست می آید:

**ب) بررسی قضيه ی محورهاي موازی**

ابتدا آزمایش قبل را برای دیسک پلکسی و حول محور مرکزی آن انجام می دهیم و سپس با استفاده از سوراخهای تعبیه شده روی دیسک، محورهای دوران را در دفعات بعد جابجا می کنیم و فاصله ی آنها را تا محور اولیه که از مرکز دیسک می گذشت، در هر مرحله 3 سانتی متر افزایش داده، آزمایش الف را تکرار می کنیم.

**جدول ها:**

جدول 1 - اندازه گيری لختی دورانی ميله ی فلزی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 9.266 | 79 | 1 |
| 100 | 6.577 | 79 | 2 |
| 150 | 5.416 | 79 | 3 |

جرم ميله ی فلزی: 308 گرم قطر ميله ی فلزی: 1.04 سانتيمتر طول ميله ی فلزی: 51 سانتيمتر

جدول 2 - اندازه گيری لختی دورانی پوسته ی کروی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 5.902 | 79 | 1 |
| 100 | 4.312 | 79 | 2 |
| 150 | 3.669 | 79 | 3 |

جرم پوسته ی کروی: 592 گرم شعاع پوسته ی کروی: 10.3 سانتي متر

جدول 3 - اندازه گيری لختی دورانی کره

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 7.048 | 79 | 1 |
| 100 | 4.603 | 79 | 2 |
| 150 | 3.851 | 79 | 3 |

جرم کره: 1695 گرم شعاع کره: 57. سانتي متر

جدول 4 - اندازه گيری لختی دورانی پوسته ی استوانه ای

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 5.095 | 79 | 1 |
| 100 | 3.681 | 79 | 2 |
| 150 | 3.055 | 79 | 3 |

جرم پوسته ی استوانه ای: 563 گرم قطر متوسط پوسته ی استوانه ای: 11.5 سانتي متر طول پوسته ی استوانه ای: 11 سانتي متر

جدول 5 - اندازه گيری لختی دورانی استوانه

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 6.828 | 79 | 1 |
| 100 | 5.098 | 79 | 2 |
| 150 | 5.048 | 79 | 3 |

جرم استوانه: 1513.7 گرم شعاع استوانه: 5.6 سانتي متر طول استوانه: 12.1 سانتي متر

جدول 6 - قضيه ی محورهای موازی با ديسک پلکسی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 6.983 | 79 | 1 |
| 100 | 5.286 | 79 | 2 |
| 150 | 4.193 | 79 | 3 |

فاصله ی مرکز دوران تا مرکز دیسک = 0 سانتي متر

جدول 7 - قضيه ی محورهای موازی با ديسک پلکسی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 50 | 7.632 | 79 | 1 |
| 100 | 5.466 | 79 | 2 |
| 150 | 4.445 | 79 | 3 |

فاصله ی مرکز دوران تا مرکز دیسک = 3 سانتي متر

جدول 8 - قضيه ی محورهای موازی با ديسک پلکسی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 100 | 7.601 | 79 | 1 |
| 150 | 5.646 | 79 | 2 |
| 200 | 4.702 | 79 | 3 |

فاصله ی مرکز دوران تا مرکز دیسک = 6 سانتي متر

جدول 9 - قضيه ی محورهای موازی با ديسک پلکسی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| جرم کفه و وزنه های روی آن (گرم) | زمان عبور کفه و وزنه ها بين دو حسگر (ثانيه) | فاصله ی دو حسگر (سانتي متر) | رديف |
| 150 | 6.401 | 79 | 1 |
| 200 | 5.456 | 79 | 2 |
| 250 | 5.131 | 79 | 3 |

فاصله ی مرکز دوران تا مرکز دیسک = 9 سانتي متر

جرم ديسک پلکسی: 560.6 گرم

قطر ديسک پلکسی: 25.1 سانتيمتر

**خواسته ها:**

***خواسته ی 1***

لختی دورانی مربوط به جدول 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 153.731 | 0.017 | 1 |
| 153.731 | 0.017 | 2 |
| 153.731 | 0.017 | 3 |
| 153.731 | 0.017 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0067

لختی دورانی مربوط به جدول 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 59.5238 | 0.0067 | 1 |
| 69.0477 | 0.0071 | 2 |
| 83.3333 | 0.0077 | 3 |
| 71.4286 | 0.0072 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0042

لختی دورانی مربوط به جدول 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 152.6316 | 0.0096 | 1 |
| 113.1579 | 0.0081 | 2 |
| 123.6842 | 0.0085 | 3 |
| 128.9474 | 0.0087 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0038

لختی دورانی مربوط به جدول 4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 163.1579 | 0.0050 | 1 |
| 173.6842 | 0.0052 | 2 |
| 178.9474 | 0.0053 | 3 |
| 173.6842 | 0.0052 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0019

لختی دورانی مربوط به جدول 5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 275(!) | 0.0090 | 1 |
| 316.6667(!!) | 0.0100 | 2 |
| 512.5(!!!!!) | 0.0147 | 3 |
| 366.6667(!!!) | 0.0112 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0024

علل خطا:

* به نظر می رسد که دلیل اصلی این خطاهای نسبتا زیاد، وجود اصطکاک روی قرقره و گشتاور ناشی از آن است.
* لغزش اندک نخ روی قرقره.
* بی جرم نبودن قرقره و نخ.
* لختی دورانی چرخ بلبرینگ که عملا نادیده گرفته شده است.
* لختی دورانی بشقابی که استوانه ها روی آن قرار می گیرند که خطای بسیار زیاد مقادیر مربوط به جدول 4 و مخصوصا جدول 5 به این خاطر می تواند باشد.
* خطا در اندازه گیری کمیت های جرم و زمان و طول.
* رها نکردن وزنه ها دقیقا پیش از سنسور اول و در نتیجه داشتن سرعت اولیه ی غیر قابل محاسبه که اندازه گیری های ما را دچار خطا می کند.
* ثابت نبودن دقیق محور دوران و عبور نکردن دقیق آن از مرکز اجسام.
* متقارن نبودن دقیق اجسام مورد استفاده.
* ...

***خواسته ی 2***

لختی دورانی مربوط به جدول 6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 113.6364 | 0.0094 | 1 |
| 143.1819 | 0.0107 | 2 |
| 129.5455 | 0.0101 | 3 |
| 129.5455 | 0.0101 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0044

لختی دورانی مربوط به جدول 7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 128.5714 | 0.0112 | 1 |
| 134.6939 | 0.0115 | 2 |
| 132.6531 | 0.0114 | 3 |
| 132.6531 | 0.0114 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0049

لختی دورانی مربوط به جدول 8

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 246.875(!) | 0.0222 | 1 |
| 187.5 | 0.0184 | 2 |
| 165.625 | 0.0170 | 3 |
| 200 | 0.0192 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0064

لختی دورانی مربوط به جدول 9

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| درصد خطای نسبی | لختی دورانی اندازه گیری شده | رديف |
| 163.3333 | 0.0237 | 1 |
| 154.4444 | 0.0229 | 2 |
| 181.1111 | 0.0253 | 3 |
| 166.6667 | 0.0240 | ميانگين |

لختی دورانی محاسبه شده: 0.0090

اگر خطاهای جداول 6 تا 9 را با هم مقایسه کنیم، مشاهده می شود که خطاهای جدول 8 از جداول دیگر بیشتر هستند. ولی به طور کلی، با دور شدن از مرکز دیسک، تاثیر اصطکاک افزایش پیدا می کند و در نتیجه خطا افزایش می یابد.

***خواسته ی 3***

با فرض وجود اصطکاک روابط مربوط را دوباره می نويسيم:

مقادیر گشتاورها در جدولهای زیر، بر حسب نیوتون متر هستند.

گشتاور اصطکاک در جدول 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0073 | 0.0067 | 1 |
| 0.0146 | 0.0067 | 2 |
| 0.0220 | 0.0067 | 3 |
| 0.0146 | 0.0067 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0045 | 0.0042 | 1 |
| 0.0100 | 0.0042 | 2 |
| 0.0165 | 0.0042 | 3 |
| 0.0103 | 0.0042 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0074 | 0.0038 | 1 |
| 0.0129 | 0.0038 | 2 |
| 0.0201 | 0.0038 | 3 |
| 0.0135 | 0.0038 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0075 | 0.0019 | 1 |
| 0.0153 | 0.0019 | 2 |
| 0.0232 | 0.0019 | 3 |
| 0.0153 | 0.0019 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0089 | 0.0024 | 1 |
| 0.0185 | 0.0024 | 2 |
| 0.0305 | 0.0024 | 3 |
| 0.0193 | 0.0024 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0065 | 0.0044 | 1 |
| 0.0144 | 0.0044 | 2 |
| 0.0205 | 0.0044 | 3 |
| 0.0138 | 0.0044 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0069 | 0.0049 | 1 |
| 0.0140 | 0.0049 | 2 |
| 0.0207 | 0.0049 | 3 |
| 0.0139 | 0.0049 | ميانگين |

گشتاور اصطکاک در جدول 8

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0174 | 0.0064 | 1 |
| 0.0238 | 0.0064 | 2 |
| 0.0302 | 0.0064 | 3 |
| 0.0238 | 0.0064 | ميانگين |

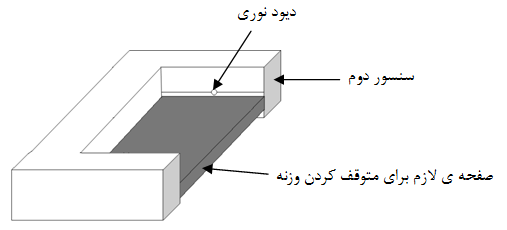
گشتاور اصطکاک در جدول 9

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| گشتاور نیروی اصطکاک | لختی دورانی محاسبه شده | رديف |
| 0.0226 | 0.0090 | 1 |
| 0.0295 | 0.0090 | 2 |
| 0.0391 | 0.0090 | 3 |
| 0.0304 | 0.0090 | ميانگين |

***خواسته ی 4***

به طور کلی، اگر به نتایج حاصل شده از جداول فوق نگاه کنیم، مشخص است که در ردیف های هر جدول، هر چه از ردیف های بالا به پایین می آییم، گشتاور نیروی اصطکاک افزایش می یابد؛ به این معنی که با افزایش جرم وزنه های آویخته شده، گشتاور اصطکاک بیشتر می شود؛ اما در مورد تاثیر لختی دورانی جسم مورد آزمایش بر گشتاور اصطکاک، با توجه به نتایج آزمایش ها، حرف دقیقی نمی توان زد؛ چون در بین جداول، دیده می شود که در مواردی، با وجود زیاد شدن لختی دورانی، گشتاور اصطکاک کم تر یا بیش تر شده است.

***خواسته ی 5***

ابتدا وزنه ی آویخته شده را از کنار سنسور اول رها می کنیم و دقیقا در زیر سنسور دوم، سطح یا صفحه ای قرار می دهیم تا وزنه دقیقا پس از عبور از سنسور دوم، متوقف شود؛ با توقف وزنه، دیگر هیچ نیرویی از طرف وزنه ( نخ ) به جسم در حال دوران وارد نمی شود و تنها نیروی اصطکاک است که پس از مدتی باعث توقف جسم دوران کننده می شود.

همچنین سرعت وزنه دقیقا قبل از توقف، برابر سرعت خطی جسم دوران کننده است؛ بنابراین اگر زمان عبور وزنه از بین دو سنسور را با t1، زمان توقف دوران کننده پس از توقف وزنه را با tstop، لختی دورانی جسم را با I، شعاع بلبرینگ را با r و گشتاور نیروی اصطکاک را با τf نشان دهیم، روابط به ترتیب زیر خواهد بود: