دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده فنی و مهندسی

بسمه تعالی

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱

گزارش کار آزمایش شماره ۱

« اندازه گیری »

گروه ۲

محمدرضا مهدیه

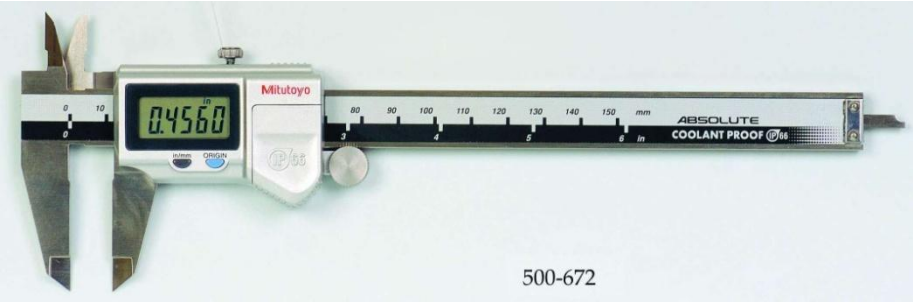
تاریخ آزمایش : ۱۳۹۰/۹/۲۷

تاریخ تحویل گزارش کار: ۱۳۹۰/۱۰/٤

استاد: آقای روزبه ترکی

تئوری آزمایش:

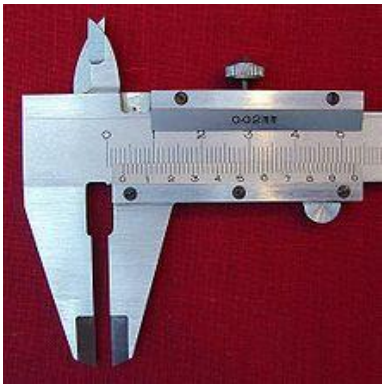
فیزیک را علم اندازه گیری نیز می نامند. وسایلی که در فیزیک برای اندازه گیری بکار می روند بسیار متنوع اند ، اما وسایلی که در آزمایشگاه مقدماتی بکار می روند نسبتا ساده و تعداد آنها محدود است. نوع وسیله ای که برای یک اندازه گیری خاص انتخاب می شود ، بستگی به اندازه آن کمیت و دقت لازم برای اندازه گیری آن دارد . در شروع کار آزمایشگاهی ، قبل از هر چیز باید با وسایل اندازه گیری به ویژه اندازه گیری طول که مبنای اغلب سنجشهاست آشنا شد. در ادامه به معرفی کولیس ، ریز سنج ، گوی سنج می پردازیم .



کولیس

تاریخچه کولیس

در سال ۱۹۴۹ فردی به نام میتوتویو اولین پروانه ساخت کولیس را کسب کرد و تولید آن را در همان سال در کارخانه میزونوکوچی (Mizonokuchi) در شهر کاوازاکی ژاپن شروع کرد. در سال ۱۹۵۳ کارخانه آن به اوتسونومیا (utsonomiya) انتقال یافته و تولید انبوه آن شروع شد.در سال ۱۹۵۶ این فرد اولین کسی بود که موضوع استفاده از فولاد ضد زنگ را برای ساخت کولیس مطرح کرد. ۷ سال بعد در سال ۱۹۶۳ میتوتویو بیش از یک میلیون کولیس تولید کرد. در همان سال تولید کولیس ساعتی آغاز شد و به دنبال آن کولیس‌های دیجیتالی و سپس کولیسهای ضد زنگ که در مقابل آب و روغن مقاوم بودند تولید شد. کولیس‌های کار سنگین که طول ۴۵۰ میلیمتر و بیشتر را اندازه‌گیری می‌کنند از سال ۱۹۶۱ ساخته شدند. امروزه کولیس‌هایی که طول ۲۰۰۰ میلیمتر را اندازه



می‌گیرند نیز تولید می‌شود. بدنه این نوع از کولیس‌ها از فیبرهای کربنی است تا سبک باشند و معضل بزرگ این کولیس‌ها که سنگینی آنها است را بدین‌گونه رفع کرده‌اند.

کولیس وسیله ای است که برای اندازه گیری قطرهای داخلی و خارجی - ضخا مت - طول- از آن استفاده می شود کولیس مطابق شکل زیر شامل یک خط کش مدرج(mainscale)" و یک ورنیه متحرک درست شده است. خط کش ثابت برحسب سانتیمتر و میلیمتر است ورنیه دارای دو شاخک (JAWS)است از شاخک‌های کوچک برای اندازه گیری قطر داخلی و ازشاخک‌های بزرگ برای اندازه گیری قطر خارجی اجسام استفاده می شود.

ورنیه شامل ۱۰ قسمت بوده و ۹میلیمتر است بنا براین می توان با این کولیس آسانی تا ۱.۱۰ میلیمتر را اندازه گرفت. دقت اندازه گیری کولیس از تقسیم کردن یک درجه خط کش به تعداد تقسیمات ورنیه به دست می‌آید.

برای اندازه گیری عمق در بعضی از انواع کولیس ها یک تیغه باریک وجود دارد که به ورنیه متصل بوده و با آن حرکت می‌کند. اوقتی صفر ورنیه بر صفر خط کش منطبق باشد انتهای تیغه بر انتهای خط کش منطبق می‌شود.

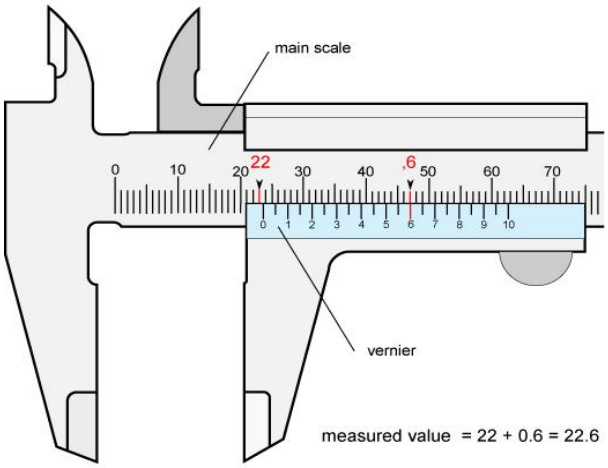
اندازه گیری قطر یا طول

جسمی را که منظور تعیین طول با قطر خارجی آن است در بین شاخک‌های ثابت و متحرک بزرگ قرار می‌دهند بطوری که هر دو شاخک با بدنه جسم تماس داشته باشند سپس به کمک ورنیه و خط کش اندازه طول یا قطر گلوله را تعیین

می‌کنند. درجات را از روی خط کش (عددی که صفر ورنیه در مقابل آن قرار دارد و یا از آن گذشته است) و کسر درجات را از روی ورنیه می‌خوانند برای کسر درجات از درجات ورنیه را پیدا می‌کنند که درست در برابر یکی از درجات خط کش قرار گرفته است.

اندازه گیری قطر داخلی

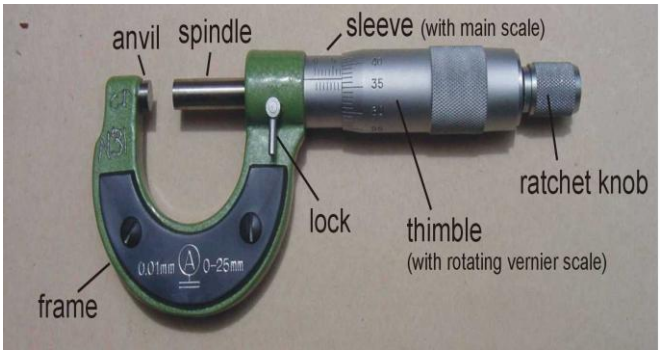
برای اندازه گیری قطر داخلی مثلا قطر یک لوله دو شاخک بالایی را در داخل لوله فرو می‌برند و ورنیه را برای خط کش آنقدر جابجا می‌کنند تا دو شاخک با جدار داخلی لوله تماس پیدا کنند. کولیس تا حدی در داخل لوله می‌چرخانند تا دو شاخک بر قطر لوله منطبق گردد. در این حالت قطر داخلی را با روش قبلی از روی خط کش و ورنیه می‌خوانند.



نمونه اندازه گیری با کولیس

ابتدا جسم مورد نظر(قطر خارجی یا طول و قطر داخلی) در بین شاخک‌های ثابت و متحرک طوری قرار میدهیم که بترتیب هر کدام ازدو شاخک (بالایی یا پایینی)با بدنه جسم تماس داشته باشند. سپس عددی که صفر ورنیه در مقابل آن قرار دارد و یا از آن گذشته است را مطابق شکل ۲۲ میلیمتر و سپس از روی ورنیه درجات از درجات ورنیه را پیدا می‌کنیم که درست در برابر یکی از درجات خط کش قرار گرفته باشند مثل شکل ۰/۶میلیمتر که میتوانیم حالا بگوییم اندازه قطر خارجی ۲۲/۶ میلی متر است.

ریز سنج



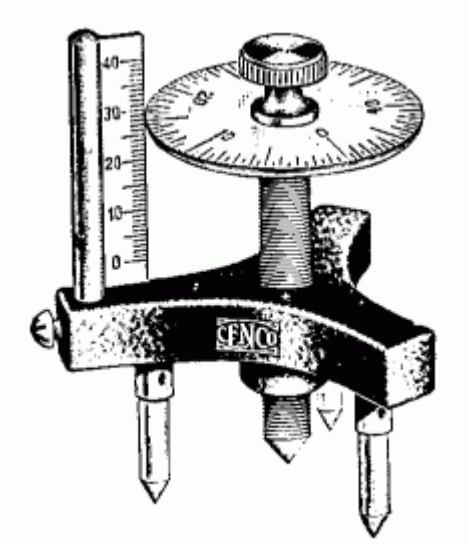
ضخامت ورقه‌های نازک و سیم‌های نازک را با اسبابی به نام ریز سنج اندازه می‌گیرند این اسباب از ترکیب یک پیچ و یک مهره مدرج ساخته شده است. در این وسیله ، مهره استوانه‌ای است تو خالی که سطح خارجی آن مدرج شده است. این استوانه به کمانی متصل است در انتهای دیگر کمان زایده‌ای وجود دارد که به آن سندان می‌گویند .پیچ در داخل کلاهکی قرار دارد و در داخل مهره حرکت می‌کند، کلاهک پیچ بر روی سطح خارجی مهره جابجا می‌شود. در صورتی که پای پیچ ۰.۵ میلیمتر باشد دور کلاهک پیچ به پنجاه قسمت و اگر پای پیچ یک میلیمتر باشد دور کلاهک پیچ به صد قسمت تقسیم می‌شود به آن قسمت از پیچ که از داخل مهره خارج شده و در داخل کمان جابه جا می‌گردد زباله می‌گویند.

اگر پیچ یک دور بپیچد در نوع اول زباله ریزسنج نیم میلیمتر جابجا می‌شود بنابراین وقتی پیچ به‌اندازه یک درجه بپیچد دهانه ریزسنج به اندازه یک صدم میلیمتر باز یا بسته می‌شود .بنابراین با استفاده از ریزسنج دقت‌اندازه گیری تا میلیمتر بالا می‌رود .

برای اندازه گیری جسم مورد نظر را از بین زبانه و سندان قرار می‌دهند و پیچ کلاهک آنقدر می‌چرخانند تا جسم با زبانه و سندان تماس پیدا کند. برای چرخاندن کلاهک پیچ ، پیچ مرز گرد را می‌پیچانند پس از تماس با زبانه با جسم ، پیچ هرز گرد صدا می‌کند. با شنیدن صدا عمل پیچاندن را متوقف می‌کنند. در غیر این صورت از حساسیت اسباب کاسته می‌شود درجات میلیمتر داروی مهره و درجات صدم میلیمتر داروی کلاهک پیچ می‌خوانند .درجه‌ای از کلاهک پیچ خوانده می‌شود که در امتداد خط افقی مهره قرار دارد .

گوی سنج

گوی سنج وسیله است برای اندازه گیری شعاع انحنای سطوح مقعر یا محدب . این وسیله دارای سه پایه ی ثابت ویک پایه ی متحرک در وسط است . قسمت اندازه گیرنده ی آن ، که بر اساس مقایسه ی بین دو دستگاه متریک است ، معمولا به دو صورت طراحی می شود : یا مطابق شکل ۱ است ، یا مطابق شکل ۲ . سیستم قرائت گوی سنج نشان داده شده در شکل ۱ مانند ریزسنج است که در بخش قبلی شرح داده شد . شیوه ی خواندن گوی سنج مربوط به شکل ۲ به صورت زیر است :

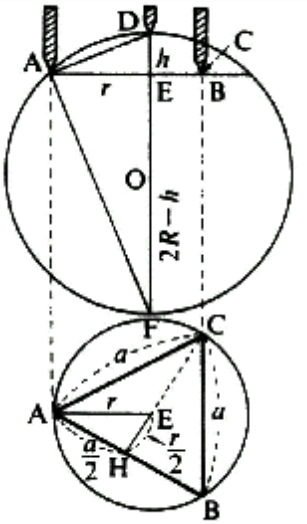


خط کشی برحسب میلی متر ، که مبدا آن در وسط است و دو تقسیم بندی به اندازه ی ۱۰ میلی متر در بالا و پایین این مبدا قرار دارد ، این خط کش روی پایه ی دستگاه سوار است .

محوری دیسک مانند ، که عمود بر خط کش است و دارای ۱۰۰ قسمت مساوی است که هر قسمت نماینده ی۰.۰۱ میلی متر است .

توجه : اخیرا در آزمایشگاههای فیزیک ، از گوی سنجی با دقت ۰۰۱. میلی متر استفاده می شود .

به منظور قرائت عدد مورد نظر ، ابتدا از صفر خط کش تا جایی که بر خط کش مماس شده است ، برحسب میلی متر ، قرائت کرده و عدد را یادداشت می کنیم . سپس عددی از دیسک را که مماس بر خط کش است ، بر حسب صدم میلی متر قرائت کرده ، و این عدد را با عدد قبلی جمع می کنیم .



اجزای گوی سنج و روش اندازه گیری با گوی سنج

در عمل ابتدا سه پایه ی ثابت را بر روی سطح صافی مانند شیشه قرار داده و با پیچ تنظیم دستگاه ، پایه ی متحرک را نیز بر سطح صاف مماس کرده و عددی را که گوی سنج نشان می دهد ، به طریقی که گفته شد قرائت کرده و یادداشت می کنیم . سپس سه پایه ی ثابت را روی سطح مورد نظر ، محدب یا مقعر ، قرار داده و پایه ی متحرک را بر سطح مورد نظر مماس کرده و مجددا عددی را که گوی سنج نشان می دهد ، یادداشت می کنیم . تفاضل این دو عدد را با **h** نمایش می دهیم.

اکنون شعاع دایره را که از سه پایه ی ثابت تشکیل شده است ، به یکی از دو روش زیر به دست می آوریم :

در حالتی که هر چهار پایه در یک سطح قرار دارند ، فاصله ی هر یک از سه پایه ی ثابت تا پایه ی متحرک وسطی را اندازه گرفته ، با یکدیگر جمع زده ، و بر عدد ۳ تقسیم می کنیم .

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$

فاصله ی دو پایه ی ثابت را با کولیس به دست آورده و شعاع را از رابطه زیر محاسبه می کنیم

$\sqrt{3}$ /فاصله ی دو پایه ثابت= a

در این حالت ، شعاع انحنا را می توان به کمک رابطه ی زیر بدست آورد :

$$(R-h)^2 + a^2 = R^2 \rightarrow R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

تَرازو:

تَرازو ابزاری است برای اندازه‌گیری وزن اجسام. ترازوهای سنتی معمولاً از دو بخش کاسه‌مانند به نام کفه و یک عقربه به نام شاهین تشکیل شده‌اند.

واژه تراز در فارسی به معنی همسطح‌بودن است و ترازو یعنی «وسیله‌ای که با اصل همسطحی» کار می‌کند. این نامگذاری به تراز شدن شاهین ترازو بر درجه میانی صفحه وزن‌نما اشاره دارد. در فارسی به ترازو میزان نیز گویند.

پیکنومتر:

یکی دیگر از روش های اندازه گیری جرم ویژه ی مایعات از جمله ترکیبات نفتی، استفاده از ظروفی به نام پیکنومتر می باشد.

حجم هر نوع پیکنومتر بصورت دقیق روی آن نوشته می شود.هنگام شروع کار باید پیکنومتر کاملاً تمیز باشد و رطوبت یا لکه ای روی آن وجود نداشته باشد. در صورت وجود آلودگی آن را شسته با استون کر داده و با کمپرسور کاملاً خشک می کنیم.قبل از پر کردن پیکنومتر از مایع موردنظر باید جرم آن را توسط ترازوی دقیق دیجیتالی مشخص کنیم. سپس مایع را (به کمک پیپت)در پیکنومتر ریخته و در آن را گذاشته و مقدار مایعی را که روی بدنه ظرف ریخته پاک کرده و توسط کمپرسور هوا کاملاً آن را خشک میکنیم و دوباره بصورت دقیق وزن میکنیم.تفاوت وزن پیکنومتر در دو حالت پر و خالی را بدست می آوریم.

مثلاً اگر حجم پیکنومتر cc۵۰ و وزن حالت پر gr۶۷ و وزن آن در حالت خالی gr۲۵ باشد (اعداد فرضی اند) در اینصورت جرم ویژه آن مایع به این صورت محاسبه خواهد شد:

M= ۶۷-۲۵= ۴۲gr

V= ۵۰cc

$$\rho = \frac{m}{V}$$

= ۴۲/۵۰ = ۰.۸۴ρ

سپس از روی روابط ذکر شده در ازمایش قبل می توان چگالی نسبی و درجه API را حساب کرد.

در صورتی که بخواهیم چگالی را در دمایی غیر از دمای محیط اندازه گیری کنیم، باید از حمام های سرمایش و گرمایش مناسب (مثل بن ماری) استفاده کنیم.

اگر چگالی را در دماهای مختلف اندازه گیری کنیم می توانیم در پایان منحنی تغییرات جرم ویژه و چگالی را برحسب دما رسم کنیم.(توسط اکسل). شیب این منحنی منفی خواهد بود یعنی با افزایش دما چگالی کاهش می یابد چون با افزایش دما مولکولهای مایع از هم فاصله گرفته و حجم مقدار مشخصی از آن جرم کمتری خواهد داشت.

چگالی علاوه بر دما به غلظت هم وابسته است، برای آزمایش این مورد می توان درصدهای مختلفی(مثلاً ۱۰،۲۰،۳۰.....۱۰۰ درصد) از آب و الکل را تهیه کرده و چگالی آن را توسط پیکنومتر بدست اوریم.هر چه درصد الکل در مخلوط آب و الکل بیشتر باشد، چگالی آن کمتر خواهد بود و به چگالی الکل خالص نزدیک تر خواهد شد. یعنی در صورت رسم منحنی چگالی محلول با درصدهای مختلف، بر حسب درصد الکل باز هم شیب آن منفی خواهد بود. یعنی با افزایش درصد الکل در محلول اب و الکل، چگالی محلول نسبت به آب خالص کاهش خواهد یافت.

وسایل آزمایش:

کولیس، ریز سنج، گوی سنج، ترازو، پینکومتر ، تعدادی گوی ،گلیسیرین ،آب و قطعه شامل سوراخ های متعدد.

شرح عملی آزمایش:

۱) **اندازه قطر دو گلوله کوچک و بزرگ به کمک کولیس اندازه گیری شد و در جدول (۱) ثبت شد. سپس قطر داخلی حفره ۶ و ۷ قطعه مورد نظر نیز اندازه گیری و در جدول (۱) ثبت شد.**

۲) **قطر همان دو گلوله قبلی به کمک ریز سنج اندازه گیری ودر جدول (۲) ثبت شد.**

۳) **ابتدا گوی سنج را در یک سطح مسطح تنظیم نموده و سپس عمق و بر آمدگی عدسی اندازه گیری و در جدول (۳) ثبت شد.**

۴) **جرم دو گلوله به کمک ترازو اندازه گیری و در جدول (۴) ثبت شد.**

۵) **پینکومتر خالی ابتدا توسط ترازو اندازه گیری و در جدول (۵) ثبت شد سپس پینکومتر شامل آب و گلیسیرین هر کدام به طور جدا گانه اندازه گیری ودر جدول (۵) ثبت شد.**

جداول:

مورد / مرتبه	۱ قطر گلوله کوچک(mm)	۲ قطر گلوله بزرگ(mm)	۳ قطر داخلی حفره شماره ۷(mm)	۴ قطر داخلی حفره شماره ۶(mm)
۱	۱۵.۸۵	۱۹.۸۵	۱۱.۹۵	۸.۷۵
۲	۱۵.۷۵	۱۹.۶۵	۱۲	۸.۴۵
۳	۱۵.۵۰	۱۹.۶۰	۱۱.۶۰	۸.۳۰
میانگین	۱۵.۷	۱۹.۷	۱۱.۸۵	۸.۵

جدول (۱)

شماره	مبدا	۱ قطر گلوله کوچک(mm)	۲ قطر گلوله بزرگ(mm)
۱	۰	۱۵.۸۸	۱۹.۸۳
۲	۰	۱۵.۸۷	۱۹.۸۴
۳	۰	۱۵.۸۸	۱۹.۸۴
میانگین	۰	۱۵.۸۸	۱۹.۸۴

جدول (۲)

	شعاع گوی سنج(mm)	عدد مبدا(mm)	عدد نهایی(mm)	h(mm)	R(mm)	ΔR(mm)
فرو رفته گی ۱	۲۸.۵۵	۱۰.۷۹۵	۶.۴۰۶	۴.۳۸۹	۹۵.۰۵	۰.۳۷۰
بر آمدگی ۱	۲۸.۵۵	۱۰.۷۹۵	۱۳.۹۰۴	۳.۱۰۹	۱۳۲.۶۴	۰.۵۵۱

جدول (۳)

	۱	۲	۳	میانگین
جرم گلوله بزرگ۱(gr)	۳۱.۸۳	۳۱.۷۰	۳۱.۹۰	۳۱.۸۱
جرم گلوله کوچک۲(gr)	۱۶.۴۳	۱۶.۳۰	۱۶.۴۰	۱۶.۳۸

جدول (۴)

Δd	d	m	m'	جرم پینکومتر حاوی آب(gr)	جرم پینکومتر حاوی گلیسیرین(gr)	جرم پینکومتر خالی(gr)
۴.۳۷۵*۱۰-۴	۱.۲۵	۱۰۱.۹	۱۲۶.۵۲	۴۴.۸۹	۱۷۰.۳۲	۴۳.۸۰

جدول (۵)

محاسبات و خطاها:

قسمت۱) خطای دستگاه برابر ۰.۰۵ میلی متر

$$\bar{m}d_1 = \frac{15.85 + 15.75 + 15.50}{3} = 15.7mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_1 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0.15, 0.07, 0.2\} = 0.2$

خطای کلی = خطای دستگاه+خطای آزمایشگر = ۰.۲+۰.۰۵=۰.۲۵mm

$$\bar{m}d_2 = \frac{19.58 + 19.65 + 19.60}{3} = 19.7mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_2 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0.1, 0.05, 0.12\} = 0.12$

خطای کلی = خطای دستگاه+خطای آزمایشگر = ۰.۱۲+۰.۰۵=۰.۱۷mm

$$\bar{m}d_3 = \frac{11.95 + 12 + 11.60}{3} = 11.85mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_3 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0.1, 0.15, 0.25\} = 0.25$

خطای کلی = خطای دستگاه+خطای آزمایشگر = ۰.۲۵+۰.۰۵=۰.۳mm

$$\bar{m}d_4 = \frac{8.75 + 8.45 + 8.30}{3} = 8.5mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_4 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0.25, 0.05, 0.2\} = 0.25$

خطای کلی = خطای دستگاه+خطای آزمایشگر = ۰.۲۵+۰.۰۵=۰.۳mm

قسمت۲)

خطای ریز سنج برابر ۰.۰۱ میلی متر می باشد.

$$\bar{m}d_1 = \frac{15.88 + 15.87 + 15.88}{3} = 15.88mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_1 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0, 0.01, 0\} = 0.01$

خطای کلی = خطای دستگاه+خطای آزمایشگر = ۰.۰۱+۰.۰۱=۰.۰۲mm

$$\bar{m}d_2 = \frac{19.83 + 19.84 + 19.84}{3} = 19.84mm$$

خطای آزمایشگر: $\delta d_2 = \max\{|d_i - d_{\bar{m}}|\} = \max\{0.01, 0, 0\} = 0.01$

خطای کلی =خطای آزمایشگر+خطای دستگاه = ۰.۰۱+۰.۰۱=۰.۰۲mm

قسمت ۳)

دقت گوی سنج برابر ۰.۰۰۱ میلی متر است.

$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

$$R_1 = \frac{28.55^2 + 4.389^2}{2(4.389)} = 95.05 \qquad R_2 = \frac{28.55^2 + 3.109^2}{2(3.109)} = 132.64$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d(a^2 + h^2)}{a^2 + h^2} - \frac{d(2h)}{2h} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{2a\Delta a + 2h\Delta h}{a^2 + h^2} + \frac{\Delta h}{h}$$

Δa برابر دقت اندازه گیری کولیس ۰.۰۵ میلی متر

Δh برابر خطای عدد نهایی و مبنا که مجموع آنها برابر ۰.۰۰۲ میلی متر است.

$$\Delta R_1 = 95.05\left(\frac{2 \times 28.55 \times 0.05 + 2 \times 4.389 \times 0.002}{28.55^2 + 4.389^2} + \frac{0.002}{4.389}\right) = 0.370$$

$$\Delta R_2 = 132.64\left(\frac{2 \times 28.55 \times 0.05 + 2 \times 3.109 \times 0.002}{28.55^2 + 3.109^2} + \frac{0.002}{3.109}\right) = 0.551$$

قسمت ۴)

دقت ترازو برابر۰.۰۱ گرم می باشد.

$$\overline{m_1} = \frac{31.83 + 31.70 + 31.90}{3} = 31.81$$

$$\overline{m_2} = \frac{16.43 + 16.30 + 16.40}{3} = 16.38$$

خطای آزمایشگر: $\delta m_1 = \max\{|m_i - m_{\bar{m}}|\} = \max\{0.02, 0.11, 0.09\} = 0.11$

خطای کلی =خطای آزمایشگر+خطای دستگاه = ۰.۱۱+۰.۰۱=۰.۱۲mm

خطای آزمایشگر: $\delta m_2 = \max\{|m_i - m_{\bar{m}}|\} = \max\{0.05, 0.08, 0.02\} = 0.08$

خطای کلی =خطای آزمایشگر+خطای دستگاه = ۰.۰۸+۰.۰۱=۰.۰۹mm

قسمت ۵)

m: جرم پینکومتر حاوی آب-جرم پینکومتر خالی

m=۱۴۴.۸۹-۴۳.۸۰=۱۰۱.۰۹ gr

m': جرم پینکومتر حاوی گلیسیرین-جرم پینکومتر خالی

m'=۱۷۰.۳۲-۴۳.۸۰=۱۲۶.۵۲gr

$$d = \frac{\acute{m}}{m} = 1.25 \Longrightarrow \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \acute{m}}{\acute{m}} + \frac{\Delta m}{m}$$

چون خطای جرم آب و گلیسیرین دو برابر خطای دستگاه است (۰.۰۲) داریم:

$$\Delta d = \left(\frac{0.02}{126.52} + \frac{0.02}{101.09}\right) \times 1.25 = 4.375 \times 10^{-4}$$

پرسشها:

۱) **چرا باید اندازه گیری ها تکرار شود؟**

برای کاهش خطای اندازه گیری.

۲) **رابطه محاسبه R در دستور کار را به دست آورید.** در قسمت تئوری به اثبات رسیده.

۳) **عموما در این آزمایش چه خطاهایی وجود دارد و کدایمک از آنها قابل پیشگیری و کدامیک غیر قابل پیشگیری است؟**

طبق تعریف کلی خطاها، این آزمایش نیز شامل سه دسته خطای آزمایشگر، وسایل انـدازه گیـری و عـدم حساسـیت مـی باشد.که خطای آزمایشگر با تکرار ودقت کم وبیش بر طرف می شودم حساسیت غیر قابل پیشگیری است.

۴) **از روی مقادیر جدول (۳) و (۴) جرم حجمی گلوله ها را حساب و خطای آنها را حساب کنید.**

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad \rho_1 = \frac{6m}{\pi r^3} = \frac{6 \times 16.43}{3.14 \times 15.88^2} = 0.12 gr/mm^3$$

$$\rho_2 = \frac{6m}{\pi r^3} = \frac{6 \times 31.83}{3.14 \times 19.84^2} = 0.15 gr/mm^3$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{3\Delta d}{d} \Longrightarrow 1) = \frac{0.02}{16.43} + \frac{3 \times 0.05}{8.5} = 0.0188$$

$$2) = \frac{0.02}{31.83} + \frac{3 \times 0.05}{11.85} = 0.0132$$

۵) **رابطه d را بدست آورید.**

این رابطه برابر نسبت چگال ها می باشد و چون حجم هردو برابر است پس با جرم آنها نسبت دارد.