

# ۱۱ روش برای اندازه گیری و محاسبه ی شدت میدان جاذبه

اصغر شعرباف زاده <sup>۱</sup> سید رسول حسینی <sup>۲</sup> و <sup>۳</sup> ۵۰۴

۱) اصفهان، دانشگاه اصفهان، سازمان ملی پرورش استعدادهای درخشان، دبیرستان شهید علی اکبر اژه ای، ناحیه ۳ آموزش و پرورش استان اصفهان

۲) عضو شورای اجرایی انجمن علمی آموزشی معلمان فیزیک استان اصفهان

۳) اصفهان، دانشگاه اصفهان، سازمان ملی پرورش استعدادهای درخشان، مدرسه ی راهنمایی شهید علی اکبر اژه ای، ناحیه ۳ آموزش و پرورش استان اصفهان

۴) عضو کمیته ی کیفیت بخشی درس علوم تجربی کشور

۵) رئیس انجمن علمی معلمان علوم تجربی استان اصفهان

**چکیده:** در مباحث مختلف فیزیک دوره ی دبیرستان و پیش دانشگاهی، مانند قانون گرانش نیوتن، حرکت سقوط آزاد، سطح شیبدار، ماشین آتوود، فشار پیمانه ای، آونگ ساده، دستگاه وزنه - فنر و آونگ الکتریکی رد پای از  $g$  یا شتاب میدان گرانشی زمین می بینیم. هدف از پژوهش حاضر، بررسی روابطی است که به کمک آن و ابزار ساده ی موجود در آزمایشگاه، بتوان این کمیت را اندازه گیری کرد و نتایج حاصل از روش های مختلف را با یکدیگر مقایسه نمود. اندازه گیری ها نشان می دهد که شدت میدان گرانشی زمین با تقریب خوبی در تمامی موارد عدد  $g = 9/77$  متر بر مجذور ثانیه بوده است. به علت وجود محدودیت، در بعضی از روش ها، فقط به تئوری آزمایش پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: اندازه گیری، آزمایش، شتاب گرانش، نیرو، سقوط آزاد، آونگ، دستگاه وزنه - فنر، ماشین آتوود، سطح شیبدار، فشارسنج

## ۱. مقدمه

## ۲. نیروی گرانشی و اندازه گیری $g$

نیروی گرانشی، یکی از نیروهای بنیادی طبیعت و از نوع نیروهای میدانی (غیرتماسی) محسوب می شود که هر دو جرم در هر فاصله ای به یکدیگر وارد می کنند [۱]. شتاب در حرکت سقوط آزاد برای تمام جسم ها یکسان و برابر  $g$  است و نیروی که باعث این شتاب می شود همان نیروی وزن جسم، یعنی نیرویی است که مرکز زمین به جسم وارد می کند. با مساوی قراردادن نیروی وزن با نیروی گرانشی بین جسم و زمین، و دانستن جرم و شعاع زمین که توسط اراتوستنس و ابوریحان بیرونی و دیگران اندازه گیری شده است و در جای خود قابل

بحث و بررسی است می توان مطابق رابطه ی  $g = G \frac{M_e}{R_e^2}$

به مقدار  $g$  دست یافت. که برابر است با:

$$g = 6/67 \times 10^{-11} \times \frac{6 \times 10^{24}}{(6/4 \times 10^6)^2} = 9/77 \text{ m/s}^2$$

از آنجایی که تدریس توام با آزمایش تأثیر بسزایی در یادگیری مفاهیم فیزیک دارد و باعث عمیق تر شدن یادگیری و در ادامه طراحی و انجام آزمایش های جدید می شود که در اکثر موارد بسیار جالب و شگفت انگیز می باشد، در مورد اندازه گیری شدت میدان گرانش زمین نیز، تنها آزمایش سقوط آزاد یا آونگ ساده، آن هم به ندرت، در مباحث فیزیک دبیرستان مطرح می شود. این ایده که از چه راه های دیگری می توان به این کمیت فیزیکی دست یافت دلیل انجام آزمایش هایی شد که نتیجه ی کار بر روی آن ها منجر به نگارش این تحقیق علمی شده است. تا همکاران و مدرسان فیزیک ضمن پرداختن به آن ها، دانش آموزان را در جهت انجام این آزمایش ها ترغیب و تشویق نمایند و یا خودشان ضمن تدریس به انجام آن همت گمارند.

مسیر حرکت است روی یک پاره خط افقی شروع به نوسان می کند [۳]. دوره ی حرکت آونگ ساده را می توان از رابطه ی

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

زمان مربوط به تعداد مشخصی از نوسانات کامل آونگ

می توان دوره حرکت را محاسبه کرد ( $T = \frac{t}{N}$ ). و با اندازه

گیری طول آونگ، مقدار شدت میدان جاذبه محل آزمایش را

برآورد کرد. نتیجه ی حاصل از این آزمایش به صورت زیر

است:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times 1355 \times 10^{-3}}{(2.34)^2} = 9.76 \frac{m}{s^2}$$



#### ۵. دستگاه وزنه - فنر و اندازه گیری g

وزنه ای به جرم m از یک فنر قائم آویخته شده است. این

دستگاه وزنه - فنر، یک نوسانگر هماهنگ ساده محسوب

می شود و در حالت تعادل، طول فنر بر اثر نیروی وزن mg به

اندازه ی d افزایش یافته است ( $mg=kd$ ). اگر دستگاه را از

حالت تعادل خارج کرده، و رها کنیم حرکت نوسانی ساده با

دوره ی تناوب  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  حول وضع تعادل انجام

می دهد. با اندازه گیری زمان مربوط به تعداد مشخصی از

نوسانات این دستگاه می توان دوره حرکت را محاسبه کرد

ی ( $T = \frac{t}{N}$ ). از طرفی با جای گذاری  $\frac{d}{g}$  به جای  $\frac{m}{k}$  در رابطه

ی دوره ی تناوب، می توان مقدار g را بدست آورد. در این

آزمایش نتیجه به صورت زیر بوده است [۳]:

در ادامه ی کار با دانستن مقدار فوق، تعدادی آزمایش و روش محاسباتی برای این کمیت فیزیکی معرفی می کنیم.

#### ۳. سقوط آزاد و اندازه گیری g

سقوط آزاد نمونه ی طبیعی از حرکت بر روی خط راست با

شتاب ثابت است که در آن تنها نیروی وارد بر جسم در شرایط

خلأ، نیروی وزن می باشد [۱]. سقوط یک گلوله ی کوچک

فلزی (ساجمه) در هوا را با تقریب خوبی می توان سقوط آزاد

فرض کرد که معادله ی حرکت آن به صورت  $\Delta y = \frac{1}{2}gt^2$

می باشد. در آزمایشی با اندازه گیری زمان سقوط یک گلوله ی

کوچک فلزی برای پیمودن مسافت مشخصی در امتداد قائم

می توان مقدار g را بدست آورد. گلوله از یک آهنربای

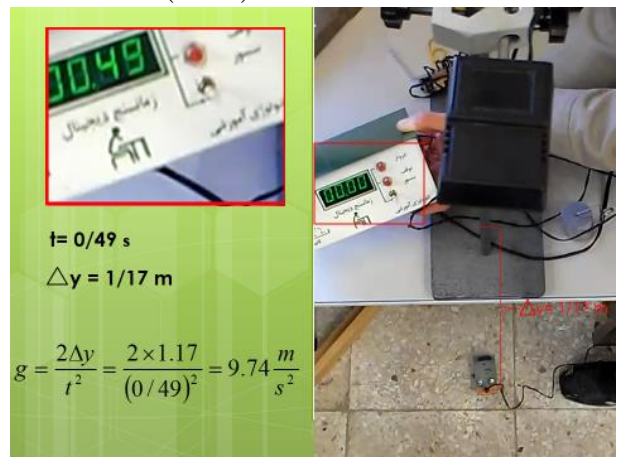
الکتریکی جدا شده و اندازه گیری زمان شروع می شود و

ضمن برخورد به یک سنسور، زمان سنج دیجیتال قطع شده و

زمان با دقت 0/01 ثانیه اندازه گیری می شود. که در این

آزمایش نتیجه به صورت زیر بوده است:

$$g = \frac{2\Delta y}{t^2} = \frac{2 \times 1.17}{(0/49)^2} = 9.74 \frac{m}{s^2}$$



#### ۴. آونگ ساده و اندازه گیری g

وزنه ی کوچکی به جرم m که با نخ سبکی به طول L به یک

نقطه آویخته شده است آونگ ساده نامیده می شود. در حالت

تعادل، آونگ در امتداد شاقولی قرار دارد. با خارج کردن آونگ

از وضع تعادل، به طوری که نخ آونگ با امتداد قائم زاویه ای

کمتر از  $6^\circ$  بسازد و رها کردن آن، آونگ به علت وجود نیروی

بازگرداننده که مولفه ی نیروی وزن گلوله در راستای مماس بر

### ۷. سطح شیبدار بدون اصطکاک و اندازه گیری $g$

در بحث دینامیک و قوانین حرکت، تخت هوا به عنوان وسیله ای برای بررسی قوانین نیوتن مورد استفاده قرار می گیرد. این ابزار، محفظه ای است به شکل مکعب مستطیل، که در سطح بالایی آن تعداد بسیار زیادی روزنه ی ریز وجود دارد که در موردی که ما تهیه کردیم ۲۴۰۰ روزنه روی سطح یک ورقه ی آلومینیومی ایجاد شد. توسط یک تلمبه، هوا با فشار وارد این محفظه می شود و از روزنه های آن خارج می شود. اگر قرص سبک و کوچکی را روی سطح قرار دهیم هوایی که از روزنه ها با سرعت خارج می شود قرص را روی لایه ی نازکی از هوا قرار می دهد. و نیروی اصطکاک بسیار ناچیز خواهد بود. اگر سطح به صورت افقی قرار گیرد، حرکت یکنواخت و با سرعت ثابت خواهد بود [۱]. ما در این آزمایش، تخت هوا را با نسبت به سطح افقی با زوایای مختلفی قرار دادیم و با اندازه گیری دقیق زمان حرکت جسم روی سطح شیبدار هنگام پیمودن مسافت  $\Delta x$  و از حال سکون، ابتدا شتاب حرکت را از رابطه ی  $\Delta x = \frac{1}{2}at^2$  محاسبه و به کمک قانون دوم نیوتن و رابطه ی شتاب در سطح شیبدار بدون اصطکاک، یعنی  $a = g \sin \theta$  و اندازه گیری شیب، مقدار  $g$  را محاسبه نمودیم. نتیجه ی این آزمایش به صورت زیر است:

$$g = \frac{a}{\sin \theta} = \frac{2\Delta x}{t^2 \sin \theta} = \frac{2 \times .4}{(.41)^2 \times .5} = 9.52 \frac{m}{s^2}$$



$$g = \frac{4\pi^2 d}{T^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times 154 \times 10^{-3}}{(.79)^2} = 9.73 \frac{m}{s^2}$$



### ۶. بار دیگر دستگاه وزنه - فنر و اندازه گیری $g$

در آزمایش اندازه گیری  $g$  با دستگاه وزنه - فنر، می توان وزنه ای که به انتهای فنر بسته شده است را طوری نگه داشت که طول فنر تغییر نکند در این حالت اگر وزنه را به یک باره رها کنیم به طرف پایین رفته و بر می گردد. با اندازه گیری حداکثر کشیدگی فنر ( $L$ ) که با توجه به قانون پایستگی انرژی، دقیقاً برابر  $(2d)$  خواهد بود، دوره ی تناوب دستگاه از رابطه ی  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{2g}}$  محاسبه می شود [۳]. و بدین ترتیب می توان بار دیگر به محاسبه ی  $g$  پرداخت. نتیجه ی این آزمایش با همان دستگاه وزنه - فنر قبلی به صورت زیر است:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{2T^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times .308}{2(.79)^2} = 9.73 \frac{m}{s^2}$$



## ۱۰. ذره ی باردار الکتریکی معلق در میدان

### الکتریکی یکنواخت و اندازه گیری $g$

با اتصال دو صفحه ی رسانای فلزی به اختلاف پتانسیل معلوم و اندازه گیری فاصله ی بین دو صفحه ی رسانای فلزی باردار، می توان به کمک رابطه ی  $E = \frac{V}{d}$ ، شدت میدان الکتریکی یکنواخت ایجاد شده در فضای بین دو صفحه ی رسانا را اندازه گیری کرد [۲]. حال اگر این دو صفحه به صورت افقی قرار گیرند و گلوله ی یک آونگ الکتریکی در فضای بین این دو صفحه معلق بماند بر اساس قانون دوم نیوتن، نیروی وزن گلوله با نیروی الکتریکی برابر خواهد بود. یعنی  $Eq = mg$  بنابراین با داشتن بار الکتریکی گلوله ی معلق در میدان، می توان مقدار  $g$  را بدست آورد.

$$g = \frac{Eq}{m} = \frac{Vq}{md}$$

### ۱۱. آونگ الکتریکی و اندازه گیری $g$

در حالت قبل، اگر دو صفحه ی رسانای باردار که در فضای بین آن ها میدان الکتریکی یکنواخت ایجاد شده است، به صورت قائم قرار گیرند و یک آونگ الکتریکی ی باردار در این میدان قرار دهیم، آونگ الکتریکی منحرف شده و با راستای قائم زاویه ی  $\theta$  می سازد. و برآیند سه نیروی کشش نخ، وزن گلوله ی آونگ و نیروی الکتریکی برابر صفر خواهد بود. با نوشتن شرط تعادل به رابطه ی  $\tan \theta = \frac{Eq}{mg}$  خواهیم رسید [۲]. بنابراین با داشتن بار الکتریکی ذره ی بار، می توان مقدار  $g$  را بدست آورد.

$$g = \frac{Eq}{m \times \tan \theta}$$

### ۱۲. دو آونگ الکتریکی و اندازه گیری $g$

اگر دو آونگ الکتریکی با بارهای هم اندازه و هم نام را از یک نقطه آویزان کنیم، پس از برقراری تعادل، با اندازه گیری زاویه ی بین نخ های دو آونگ و نصف کردن این زاویه، و استفاده از

$$\tan \theta = \frac{F}{mg}$$

شرط تعادل، مطابق آن چه گفته شد رابطه ی

## ۸. ماشین آتوود و اندازه گیری $g$

ماشین آتوود، دستگاهی است متشکل از دو وزنه به جرم های  $m_1$  و  $m_2$  که با نخ سبکی به یکدیگر وصل شده و نخ از شیار یک قرقره ی ثابت با جرم و اصطکاک ناچیز گذشته است [۳]. بر اساس قانون دوم نیوتن، در صورتی که  $m_2 > m_1$  باشد. با نوشتن روابط برای دو وزنه، شتاب حرکت ماشین آتوود از رابطه ی  $a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \times g$  قابل محاسبه است. ما در این آزمایش، ابتدا شتاب حرکت دستگاه را با اندازه گیری دقیق زمان انجام جابجایی  $\Delta y$  توسط یکی از وزنه ها از حال سکون، به کمک چشم الکترونیکی، و استفاده از رابطه ی  $\Delta y = \frac{1}{2} at^2$  محاسبه کردیم. با اندازه گیری جرم وزنه ها، مقدار  $g$  مطابق رابطه ی زیر بدست می آید:

$$g = \frac{m_2 + m_1}{m_2 - m_1} a = \frac{.07 + .05}{.07 - .05} \times \frac{2 \times .752}{(.96)^2} = 9.79 \frac{m}{s^2}$$



برای اندازه گیری فشار در عمق مشخصی از یک مایع یا گاز با چگالی معلوم، کافی است به کمک فشارسنجی، اختلاف فشار آن نقطه از مایع یا گاز را نسبت به فشار هوای محیط، که همان فشار پیمانه ای است اندازه گیری کرد [۱]. که از رابطه ی  $\Delta P = \rho gh$  قابل محاسبه خواهد بود. بنابراین با اندازه گیری فشار پیمانه ای به کمک فشارسنج، چگالی مایع یا گاز و عمق، می توان مقدار  $g$  را محاسبه نمود.

بدست می آید که در آن  $F$  نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی و برابر  $F = K \frac{q^2}{(2L \sin \theta)^2}$  خواهد بود. وبا داشتن بار هریک از ذرات، و اندازه گیری طول نخ آونگ الکتریکی می توان مقدار  $g$  را بدست آورد.

$$g = \frac{F}{m \times \tan \theta}$$

### ۱۳. نتیجه گیری

به غیر از ۴ مورد مطرح شده در بخش ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که نیازمند داشتن بار الکتریکی و فشارسنج بود در بقیه ی موارد ذکر شده مقدار اندازه گیری شده برای  $g$  با مقدار واقعی هم خوانی دارد و هرچه دقت اندازه گیری وسایل آزمایش بیشتر و اصطکاک کمتر شود، می توان نتایج بهتری بدست آورد. در ادامه تلاش براین است که با انجام آزمایش، به راه کارهای دیگری برای اندازه گیری کمیت های مختلف فیزیکی مانند رسانندگی گرمایی جامدات، مایعات و گازها که به طور مستقیم در کتب درسی اشاره نشده است، دست یابیم.

### مراجع

- [۱] پورقاضی، اعظم؛ شیوایی، سیدمهدی؛ عزیزی، حسن؛ محمودزاده، غلامعلی؛ فیزیک ۲ و آزمایشگاه - ۲۶۲/۲، سازمان پژوهش و برنامه ریزی درسی، وزارت آموزش و پرورش، چاپ چهارم ۱۳۸۲.
- [۲] احمدی، احمد؛ پورقاضی، اعظم؛ خلیلی بروجنی، روح الله؛ زال پور، ابوالقاسم؛ شیوایی، سیدمهدی؛ فراهانی، شیرین؛ عزیزی، حسن؛ محمودزاده، غلامعلی؛ وصالی، منصور فیزیک ۳ و آزمایشگاه - ۲۵۶/۳، سازمان پژوهش و برنامه ریزی درسی، وزارت آموزش و پرورش، چاپ اول ۱۳۸۰.
- [۳] احمدی، احمد؛ پورقاضی، اعظم؛ خلیلی بروجنی، روح الله؛ زال پور، ابوالقاسم؛ شیوایی، سیدمهدی؛ فراهانی، شیرین؛ عزیزی، حسن؛ محمودزاده، غلامعلی؛ فیزیک ۱ و ۲ - ۲۹۳/۲، سازمان پژوهش و برنامه ریزی درسی، وزارت آموزش و پرورش، چاپ ششم ۱۳۸۶.

## ۱۱ ways to measure and calculate the gravitational field strength

**Asghar sharbafzadeh<sup>۱,۲</sup>, sayed rasoul hosseini<sup>۳,۴,۵</sup>**

- ۱) Isfahan University, National Talent Development shahid ejheee High School, Isfahan Education District ۳
- ۲) Member of the Executive Council of the Association of Teacher Education in Physics
- ۳) University, National Talent Development shahid ejheee guidance school, District ۳ provincial education
- ۴) Member of the quality of science education in Iran
- ۵) President of the Science Teachers Association of isfahan State

**Abstract:** Physics of Drmbahs high school and pre-university courses, such as Newton's law of gravity, free fall motion, inclined surfaces, Atwood machine, a pressure gauge, a simple pendulum, weights machine - electric pendulum absorbers and trace the gravitational field of acceleration  $g$  or investigator. The purpose of this study is to investigate the relationships and simple tool to help in the laboratory, these quantities can be measured and compared to the results obtained by different methods. Measurements show that the Earth's gravitational field strength values show good approximation to  $g = 9.77$  was  $Mtrbrmjzvranyh$ . Due to limitations in some ways, just to test the theory are discussed.

**Keywords:** Measuring, testing, gravity, force, free fall, pendulum, weights machines - strings, Atwood machine, inclined surfaces, pressure

Email: sharbaf۲۰۰۰@yahoo.com

Tel: ۰۳۱۱-۳۶۸۷۵۸۷

Mobile: ۰۹۱۳۲۰۶۳۰۹۷