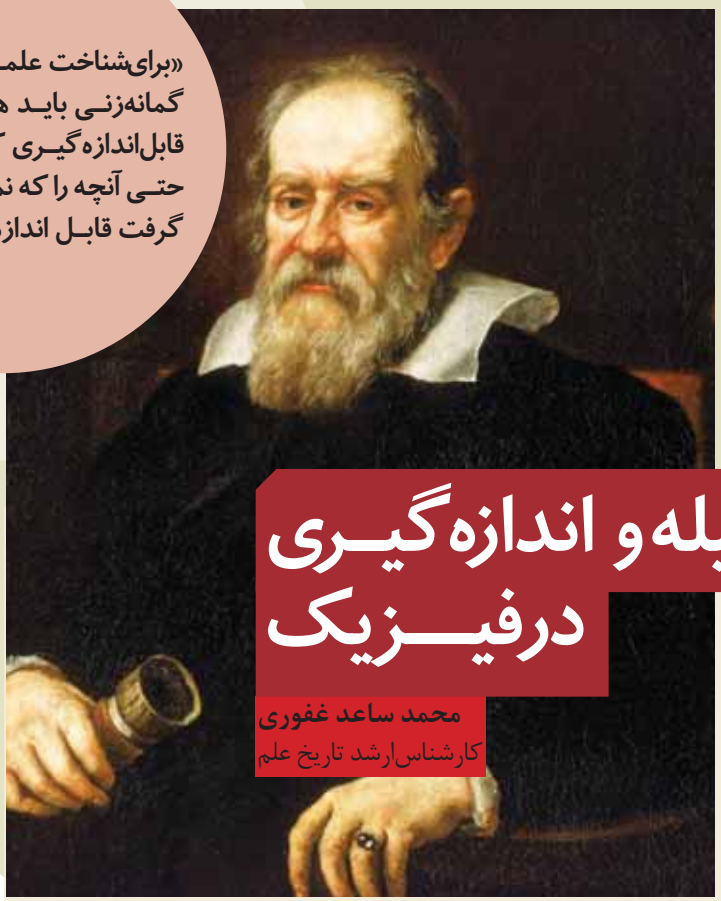
«برای شناخت علمی، به جای گمانه‌زنی باید هر چیز را قابل‌اندازه‌گیری کرد و کوشید حتی آنچه را که نمی‌توان اندازه گرفت قابل اندازه‌گیری نمود»

گالیلئو گالیله



# گالیله و اندازه‌گیری در فیزیک

**محمد ساعد غفوری**
کارشناس ارشد تاریخ علم

**اشاره**

**می‌دانیم که فیزیک علمی است که بر اندازه‌گیری و آزمایش پایه‌گذاری شده است و اگر کسی در این نکته شک کند باید در فهم علمی او شک کرد، ولی همیشه این‌گونه نبوده است. در فضای قرون وسطی و حتی بعد از آن، که سرشار از فرضیات فلسفی ارسطویی بود و تنها بحث در مورد وجود پدیده‌ها پذیرفته بود و نه در جزئیات آن‌ها، اهمیت دادن به آزمایش و روش‌های اندازه‌گیری پدیده‌ها، به‌عنوان پایهٔ علم و شناخت طبیعت. امری غریب بود. گالیله در چنین فضایی می‌زیست و طعم تلخ مخالفت با کلیسا را در دوران سخت کهولت و نابینایی چشید. در این مقاله به آثار این دانشمند بزرگ می‌پردازیم.**

**کلیدواژه‌ها:** اندازه‌گیری در فیزیک، دوره آونگ، سقوط آزاد، نسبی بودن سرعت، قهرهای مشتری، تلسکوپ

**حرکت آونگ حالت خاصی از سقوط اجسام بر اثر نیروی جاذبه است. هرگاه سنگی را رها کنیم در مسیری مستقیم به سوی زمین سقوط می‌کند اما اگر این سنگ به ریسمانی آویزان باشد پس از طی یک مسیری دایره‌ای به پایین می‌رسد**

دوره آونگ به دامنه آن بستگی ندارد.

در غیاب هوا تمامی اجسام با سرعت یکسان سقوط می‌کنند.

## گالیله و آونگ

گالیلئو گالیله در سن ۱۷ سالگی و به سفارش پدرش تحصیل در رشتهٔ پزشکی را در دانشگاه پیزا[1] شروع کرد. اما علم پزشکی نتوانست روح جست‌وجوگر وی را آرام سازد. او دل در گروی ریاضیات و فیزیک و علم تجربی داشت. مشهور است که گالیله یک‌بار هنگام شرکت در مراسمی مذهبی در کلیسای پیزا به شمعدان آویخته‌ای نگاه می‌کرد و دید که وقتی شمع‌های آن را روشن می‌کردند به نوسان در آمد اما این نوسانات رفته‌رفته، به‌دلیل وجود اصطکاک، کند شد و شمعدان از جنبش ایستاد. گالیله از خود پرسید: «آیا با کندشدن حرکت شمعدان، زمان هر نوسان کوتاه‌تر می‌شود؟ گفته‌اند گالیله از نبض خود به‌عنوان زمان‌سنج استفاده کرد و زمان هر بار رفت و برگشت شمعدان را اندازه گرفت و به نظرش آمد این زبان ثابت است. گرچه نمی‌توان صحبت روایت بالا را به سادگی پذیرفت اما می‌توان احتمال داد که گالیله در خانه با یک گلوله و مقداری نخ این آزمایش را انجام داده است.

گالیله درحالی‌که هنوز حرفهٔ پزشکی را دنبال می‌کرد، استفاده از این آونگ را به‌عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری نبض بیمار پیشنهاد کرد که در پزشکی آن زمان بسیار متداول شد؛ و البته این آخرین نقشی بود که گالیله در علم پرشکی ایفا کرد، زیرا مطالعه آونگ و دیگر وسایل مکانیکی مسیر فکری وی را به کلی تغییر داد و او به مطالعهٔ ریاضیات فیزیک و نجوم روی آورد. این را که زمان تناوب آونگ مستقل از دامنهٔ حرکتش است، بعدها نیوتن اثبات کرد ولی نمی‌توان سهم بسزای گالیله در بررسی این مسئله را نادیده گرفت.

## گالیله و سقوط آزاد

حرکت آونگ حالت خاصی از سقوط اجسام بر اثر نیروی جاذبه است. هرگاه سنگی را رها کنیم در مسیری مستقیم به سوی زمین سقوط می‌کند اما اگر این سنگ به ریسمانی آویزان باشد پس از طی یک مسیری دایره‌ای به پایین می‌رسد و این زمان به جرم سنگ بستگی ندارد بنابراین گالیله نتیجه گرفت که اجسام سبک و سنگین احتمالاً با هم به زمین خواهند رسید. گالیله برای اثبات این موضوع دو گلوله یکی چوبی و دیگری آهنی را از بالای برج پیزا رها کرد و دید که این دو با هم به زمین رسیدند[2]

گالیلـه پـس از آنکـه نشـان داد، اگـر مقاومـت هـوا نباشـد، اجسـام بـا جرم‌هـای متفـاوت، هم‌زمـان سـقوط می‌کننـد به دنبـال آن بـود کـه تندی یک جسـم در حال سـقوط را در هر لحظـه اندازه‌گیـری کنـد. امـا از آنجا کـه گالیله نمی‌توانسـت بـا وسـیله‌های عـادی آن زمان ایـن اندازه‌گیری را انجـام دهد. برآن شـد که نخسـت نیروی جاذبـه را دقیق کنـد و این کار را زیرکانـه بـا به حرکـت درآوردن گلوله بر روی سـطح شـیب‌دار انجام داد.

هر چه شـیب یک سـطح بیشـتر باشـد گلوله تندتر می‌غلتد و در حالـت حـدّی کـه سـطح قائم اسـت سـقوط آزاد می‌کند و در امتـداد قائـم فـرو می‌افتـد. مشـکل اصلـی گالیلـه در آن آزمایـش چگونگـی اندازه‌گیـری مـدت زمانـی بـود کـه گلوله در آن مـدت مسـافت‌های مختلـف را طـی می‌کنـد. گالیلـه ایـن مشـکل را بـا بـه کار بـردن سـاعت آبـی حل کـرد که در آن قطره‌هـای آب در فواصـل زمانـی برابـر از تـه ظرفـی خارج می‌شـوند. بدیـن ترتیـب او مشـاهده کـرد کـه مسـافت‌های پیمـوده شـده در مـدت زمان‌هـای مسـاوی بـه نسـبت اعداد ۱و۳و۵و۷و۰۰۰ اسـت. اگـر شـیب سـطح بیشـتر می‌شـد مسـافت‌ها طـی شـده در واحـد زمـان هـم افزایـش می‌یافـت ولی نسـبت بین مسـافت‌ها، باز هـم همین اعداد بـود. از اینجا بـود کـه گالیله هوشـمندانه نتیجه گرفـت که این قانـون باید در مـورد حالـت سـقوط آزاد هم صـدق کنـد و همین‌طور هم بـود. نکتـه جالـب اینکه اگر مسـافت‌های طی شـده را نسـبت بـه شـروع حرکـت بررسـی کنیـم، در زمان‌هـای مسـاوی این مسـافت‌ها به‌صـورت زیـر خواهنـد بود:

$$۱,۱+۳,۱+۳+۵,,۱+۳+۵+۷,...$$

$$۱ \quad ۴ \quad ۹ \quad ۱۶$$

بدیـن ترتیـب گالیلـه قبـل از نیوتـن بـه رابطـهٔ $S=\frac{۱}{۲}gt^{۲}$ رسـید[۳]

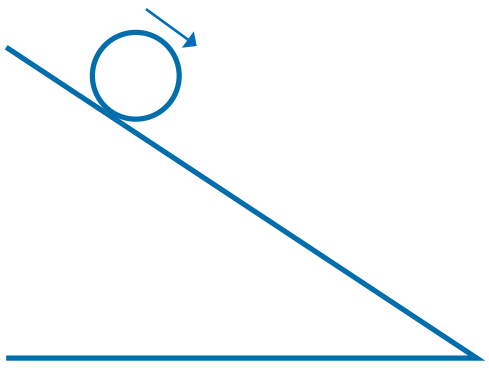
https://www.roshdmag.ir/u/1X9

## گالیله و نسبی بودن سرعت

گالیلـه مسـیر بسـیار خوبـی را در پیـش گرفـت. او پـس از بررسـی سـقوط آزاد به بررسی پرتابه با سـرعت افقی پرداخت. شـاید به‌دلیـل آنکـه پرتابه‌هایـی کـه وی از بـالای سـطح شـیب‌دار رهـا می‌کـرد، پـس از حرکـت روی میـز، از روی میز به‌صـورت یک پرتابهٔ افقی روی مسـیر سـهمی شـکل به‌طرف زمیـن حرکـت می‌کردند.

**هر چه شیب یک سطح بیشتر باشد گلوله تندتر می‌غلتد و در حالت حدّی که سطح قائم است سقوط آزاد می‌کند و در امتداد قائم فرو می‌افتد**

آیا گالیله سکه و پر را از این برج رها کرد؟



سطح شیب‌دار، شتاب جاذبه را رقیق می‌کند.

گالیله که ریاضی‌دان بزرگی هم بود این حرکت را به درستی به دو نوع حرکت زیر تقسیم کرد:

۱. حرکت افقی با سرعتی ثابت (حرکت یکنواخت)

۲. حرکت قائم سقوط آزاد با سرعتی که متناسب با زمان افزایش می‌یابد (حرکت شتابدار)

گالیله علاوه بر بررسی حرکت پرتابی و به‌دست آوردن معادلهٔ مسیر پرتابه با کمک روابط هندسی پیچیدهٔ اقلیدسی، به نکتهٔ دقیق دیگری نیز توجه کرد و آن نسبیت در حرکت یا سرعت نسبی بود.

به‌عنوان مثال، اگر یک کشتی در حال حرکت باشد و از بالای دکل آن گلوله‌ای بدون سرعت اولیه رها شود. گلوله حرکت کشتی را نیز با خود به همراه خواهد داشت و همراه کشتی به حرکت افقی خود ادامه خواهد داد و بنابراین درست در زیر دکل به سطح کشتی برخورد خواهد کرد و این موضوع با منطق ارسطو در حرکت متناقض است.

گالیله این نکته را در یکی از کتاب‌هایش به نام *منظومهٔ بزرگ جهان (۱۶۳۲ م)* چنین بیان می‌دارد.

«وقتی در اتاق کشتی بودم صدبار از خود پرسیدم که آیا کشتی در حال حرکت است یا در حال سکون؟ یا تصور می‌کردم که دارد در مسیری مورد نظر من حرکت می‌کند حال آنکه بعداً فهمیدم در مسیری دیگر حرکت می‌کرده است» این واقعیت که در اتاق بستهٔ درون کشتی غیرممکن است با یک آزمایش مکانیکی معلوم کرد که آیا کشتی لنگر انداخته یا حرکت می‌کند به «اصل نسبیت گالیله» معروف است. در فیلم تفاوت حرکت دو پرتابه یکی با سرعت اولیه و دیگری بدون سرعت اولیه مشاهده می‌شود و این دقت گالیله را در آن روزگار نشان می‌دهد.

https://www.roshdmag.ir/u/1Xa

از طرف دیگر گالیله با آزمایش هوشمندانه‌ای نشان داد که جسم برای تداوم حرکت یکنواخت خود (اگر اصطکاک صفر باشد) نیاز به نیرو ندارد، و این نکته را قبل از نیوتن نشان داده بود. اینکه بعدها نیوتن گفت که «من بر شانهٔ غول‌هایی ایستاده‌ام» احتمالاً یکی از این غول‌ها گالیله بوده است. اطلاع از همهٔ فعالیت‌ها و مشارکت‌هایی که گالیله در پیشرفت علم مکانیک داشت برای نیوتن و جانشینان او امری ضروری و بنیادی بود.

https://www.roshdmag.ir/u/1Xb

## گالیله و آسمان

بشر از دیرباز نگاه مشتاقانهٔ خود را به آسمان می‌دوخته است. چه بسیار انسان‌هایی که با یک نگاه به آسمان شیفتهٔ آن شده‌اند. به‌عنوان مثال تیکوبراهه در سال ۱۵۶۰م تنها با دیدن یک خورشیدگرفتگی به ستاره‌شناسی رو آورد و حدود سی‌سال رصدهای دقیقی را انجام داد؛ رصدهایی که دستیارش یوهانس کپلر توانست قوانین سه‌گانه مهم خود را بر اساس آن‌ها به‌دست آورد. گالیله هم شیفتهٔ آسمان پر ستارهٔ شب بود. از این رو وقتی شنید که یک هلندی وسیله‌ای ساخته است که دوردست‌ها را به نزدیک می‌آورد چون خودش طرز کار عدسی‌ها را می‌دانست توانست در مدتی کوتاه یک تلسکوپ بسازد و آن را به نمایش گذارد و از آن استفاده کند.

گالیله پس از نمایش تلسکوپ و برخورداری از مواهب مادی آن[۵]، بیش از پیش به آسمان نگریست.

خودش می‌نویسد «سطح ماه کاملاً صاف، بدون پستی و بلندی و کاملاً کروی نیست، آن چنان‌که دستهٔ بزرگی از فیلسوفان می‌پندارند. برعکس، پر است از گودال‌ها و برآمدگی‌ها؛ درست مانند زمین که هر جا، با کوه‌های بلند و دره‌های عمیق تنوع یافته است ...

زهره و عطارد بر گرد خورشید دوران می‌کنند چنان که دیگر سیارات ... سه شیء نورانی در نزدیکی سیارهٔ مشتری دیدم که دوتایشان در طرف شرق و دیگری در طرف غرب سیاره بود و هنگامی که پس از مدتی دوباره نگاه کردم هر سه در مغرب مشتری و نزدیک‌تر از شب قبل بودند ...»

کشفیات گالیله با استفاده از تلسکوپ صورت گرفت. او دلایل انکارناپذیری دربارهٔ درستی منظومهٔ جهانی کپرنیک به‌دست داد و همیشه با خشنودی از آن سخن می‌گفت. گالیله سرانجام با طعنه‌هایی که در کتاب‌های خود به ارسطو می‌زد و دفاعیاتی که از نظریهٔ خورشید مرکزی کپرنیک ارائه می‌داد خود را با کلیسا درگیر کرد[۶] که قصه‌اش معروف است.

گالیله استاد اندازه‌گیری بود. حدود چهل‌سال قبل از رومر (۱۷۱۰ ـ ۱۶۴۴م)، که سرعت نور را اندازه گرفت، او به همراه دستیارش سعی در اندازه‌گیری سرعت نور داشت ولی به‌دلیل نداشتن زمان‌سنج مناسب به این کار توفیق نیافت گالیله می‌نویسد «سرعت نور گرچه بسیار زیاد است ولی بی‌نهایت نیست» به و این نکتهٔ بسیار مهمی است که

**گالیله استاد اندازه‌گیری بود. حدود چهل‌سال قبل از رومر (۱۷۱۰ ـ ۱۶۴۴م). که سرعت نور را اندازه گرفت، او به همراه دستیارش سعی در اندازه‌گیری سرعت نور داشت ولی به‌دلیل نداشتن زمان‌سنج مناسب به این کار توفیق نیافت**

گالیله در حال نمایش تلسکوپ دست‌ساز خود.

حکایت از بینش عمیق گالیله نسبت به نور دارد.

در یک مناظره، گالیله این نظر را مطرح کرد که یخ و پاره‌ای اجسام دیگر به این دلیل روی مایع شناور می‌مانند که سبک‌تر از مایع هستند طرف مقابل موضع ارسطو را پیش کشید و گفت یک قطعه یخ نازک و مسطح به دلیل شکل خاصی که دارد در آب شناور می‌ماند. گالیله بنابر معمول استدلال خود را با نمایش مجهز کرد. وقتی او نشان داد که قطعه‌هایی از آبنوس، حتی اگر به شکل‌های بسیار نازکی باشند همواره در آب فرو می‌روند، در حالی که یک تودهٔ بزرگ نیز یخ در سطح آب باقی می‌ماند توانست طرف مناظره و حضّار را کاملاً مجاب کند[۷].

گالیله همچنین رابطهٔ بین بسامد یک زه کشیده شده را، با طول و نیروی کشش و چگالی آن، مطالعه و تشدید را بررسی کرد. او می‌نویسد «این هم مثالی برای روشن شدن طرح من ... در توضیح این مسئلهٔ جالب که چطور سیم گیتار یا کلاوسنی سیم دیگری را نه‌تنها در هم‌نوایی، حتی در اوکتاو (هشته) یا گنت (پنجه) ... به تشدید وا می‌دارد. به‌طوری که، هر گاه در کنارسازی مانند کلاوسن، نخ‌های ابریشمی یا هر مادهٔ نرم و لطیف دیگر ببندیم. با نواختن ساز، مشاهده می‌شود که بعضی از نخ‌ها به ارتعاش در می‌آیند؛ و این بستگی دارد به اینکه کدام نخ بسامدش با بسامد زه به ارتعاش درآمده می‌خواند. اگر در حالی که با آرشه روی سیم‌کلنت ویولا[۸] می‌کشند. لیوان ظریف و پاکیزه‌ای را به آن نزدیک کنیم. هنگامی که صدای سیم با صدای لیوان هم‌نوا[۹] شود لیوان به ارتعاش و تشدید در می‌آید[۱۰]»

مشاهده کردیم که آنچه در تمامی آزمایش‌های فوق مشترک بود نشان از عطش سیری‌ناپذیر گالیله در بیان اندازه‌گیری پدیده‌ها دارد. بنابراین مشخص می‌شود چرا تقریباً همهٔ فیلسوفان زمان گالیله به شدت با او مخالفت می‌کردند.

سپیده‌دم فیزیک نوین با گالیله آغاز می‌شود!

**پی‌نوشت‌ها**

1. Pisa

۲. تحقیقات تاریخی نشان می‌دهند چنین آزمایشی نیز انجام نشده و ساخته ذهنی خیال‌پرداز است.

۳. گالیله رابطه سرعت و شتاب و زمان را نیز به‌صورت v=at به‌دست آورد.

٤. گرچه هم تیکو براهه و هم کپلر نتایج کارهای خود را در خدمت پیشگویی و فال‌بینی هم قرار دادند.

۵. دو برابر شدن حقوقش و استاد مادام‌العمر شدنش.

۷ و٦. رجوع کنید به کتاب از گالیله تا هاوکینگ اثر ویلیام ه. کروپر ترجمه‌ای طوسی.

۸. ویولا (violes) ساز آرشه‌ای با سه یا چهار تار (ویولای دستی) با ٦ یا ۷ تا (ویولای کامپ) ویولا به اصطلاح جد ویلون یا ویلون سل‌های کنونی است.

۹. هم‌فرکانس

۱۰. رجوع کنید به سرگذشت فیزیک نوین، میشل بیزونسکی، ترجمهٔ لطیف کاشیگر.