



وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر انتشارات و فناوری آموزشی

رشد آموزش

چرخه ۱۲۷

افصلنامه آموزشی، تحلیلی و اطلاع‌رسانی | برای معلمان، دانش‌جو معلمان و کارشناسان وزارت آموزش و پرورش |

دوره سی و ششم | شماره ۱ | پاییز ۱۳۹۹ | ۴۸ صفحه | ۵۰۰۰ ریال | پیامک: ۳۰۰۰۸۹۹۵

w w w . r o s h d m a g . i r



آیا وقت سرمایه‌گذاری روی دوچرخه‌های الکتریکی نرسیده است؟

- سپیده دم مغناطیسی
- پسران موسی شاگرد خراسانی (بنوموسی)
- مطالعه ساختار و عملکرد باتری در خودروهای الکتریکی





دنیای نیروهای بین مولکولی
عکاس: ساره غفوری

<https://www.roshdmag.ir/u/20a>



فصلنامه پنجم

رشد آموزش

۱۲۷

فصلنامه آموزشی، تحلیلی و اطلاع رسانی برای معلمان، دانشجو معلمان و کارشناسان وزارت آموزش و پرورش
دوره سی و ششم، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۹



وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
دفتر انتشارات و فناوری آموزشی

سرمقاله: تدریس یویویی در فضای مجازی / احمد رضا اعرابی / ۲

تاریخ علم: پسران موسی شاکر خراسانی (بنوموسی) / اسفندیار معتمدی / ۴

تاریخ علم: نیوتون متفکری بزرگ / محمد ساعد غفوری / ۸

آموزشی: مطالعه ساختار و عملکرد باتری در خودروهای الکتریکی / مریم رضی فر / ۱۳

تجربه های آموزشی: آموزش فیزیک با دست خالی / افشین خدابخش، احمد رضا اعرابی / ۲۱

گزارش: ما اعماق بدن را سه بعدی به تصویر می کشیم / گفت و گو با محسن اعرابی / هوشنگ غلامی / ۲۵

پژوهشی: سپیده دم مغناطیسی / زهرا باقری / ۲۹

آموزشی: نخ از کجا پاره می شود؟ / یوسف مظهری خیاوی / ۳۷

پژوهشی: شتاب گرانش درون زمین / میشل دراگونی ترجمه حسن قلمی باویل علیایی / ۳۹

اخبار علمی: تازه های پژوهش در جهان فیزیک / علی رادپی، احمد رضا اعرابی / ۴۴

مدیر مسئول: محمد ابراهیم محمدی
سر دبیر: احمد رضا اعرابی
مدیر داخلی: احمد احمدی
هیئت تحریریه: احمد احمدی، روح الله خلیلی بروجنی، حسن قلمی باویل علیایی، هانیه عالی نژاد، سیده دایت سجادی، زهرا باقری، احمد رضا اعرابی، و اسفندیار معتمدی
مدیر هنری: کوروش پارسا نژاد
طراح گرافیک: نوید اندرودی
دبیر عکس: پرویز قراگوزلی
ویراستار: جعفر ربانی
نشانی مجله: تهران، ایران شهر شمالی، پلاک ۲۶۶
تلفن دفتر مجله: ۰۲۱-۸۸۸۴۳۲۵۱-۸۸۸۴۳۲۵۱ (داخلی ۳۴۰)
نمبر مجله: ۰۲۱-۸۸۸۴۹۰۳۱۶
صندوق پستی مجله: ۱۸۵۷۵/۶۵۸۵
صندوق پستی امور مشترکین: ۱۵۸۷۵/۳۳۳۱
تلفن امور مشترکین: ۰۲۱-۸۸۸۶۷۳۰۸
وبگاه مجلات رشد: www.roshdmag.ir
پایام نگار مجله: Physics@roshdmag.ir
پیامک: ۳۰۰۰۸۹۹۵
چاپ و توزیع: شرکت افست

مجله رشد آموزش فیزیک،

نوشته ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت،

به ویژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط

با موضوع مجله باشند، می پذیرد:

- مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود.
- شکل قرار گرفتن جدول ها، نمودارها و تصاویر پیوست باید در حاشیه ی مطلب نیز مشخص شود.
- نشر مقاله باید روان و از نظر دستور زبان فارسی درست باشد و در انتخاب واژه های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد.
- مقاله های ترجمه شده باید با متن اصلی همخوانی داشته باشد و متن اصلی نیز پیوست مقاله باشد.
- در متن های ارسالی باید تا حد امکان از معادل های فارسی واژه ها و اصطلاحات استفاده شود.
- زیر نویس ها و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، ناشر، سال انتشار و شماره ی صفحه مورد استفاده باشد.
- مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله های رسیده مختار است.
- آرای مندرج در مقاله ها، ضرورتاً مبین نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسئولیت پاسخگویی به پرسش های خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است.
- مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی شود، معذور است.



بازگشت دوباره به طبیعت با
دوچرخه های الکتریکی

تدریس یویویی در فضای مجازی

بچه‌ها را به صورت XD مشاهده می‌کنند. سؤال‌هایشان برقرار بود و برای هر مطلب کوچک نمره مناسبی را در نظر می‌گرفتند. به فعالیت دانش‌آموزان در کلاس مجازی نمره می‌دادند و از دانش‌آموزان می‌خواستند فقط اسم کنار صفحه نمایش نباشد. بدیهی است که تدریس در این فضا بسیار با فضای کلاس متفاوت است.

برای دبیری که سال‌ها در کلاس متکلم‌وحده بوده و توقع شنیدن درس و سپس پرسش در لحظه مناسب را داشته، بسیار سخت است که مقابل دوربین بنشیند و در کلاس یک نفره، داد سخن دهد و درس را با دقت کافی بیان کند. همکاران می‌دانند که چگونه از چشمان دانش‌آموزان درمی‌یابیم که آیا درس را فهمیده‌اند یا نیاز به توضیح بیشتر دارد. ما به چشمان دانش‌آموزان عادت کرده‌ایم و گفته‌اند که مستمع صاحب‌سخن را بر سر ذوق آورد. آیا معلم می‌تواند بدون چشمان مشتاق دانش‌آموز به تدریس بپردازد؟ از اینکه می‌گوییم باید در فضایی جدید به تعلیم بپردازیم، منظورمان چیست؟

با بسیاری از دوستان در مورد این تجربه چندماهه گفت‌وگوهای فراوانی انجام دادم. واضح است که نمی‌توان فقط جلوی دوربین مانند گذشته تدریس کرد و توقع داشت

ویروس کرونا، علی‌رغم اینکه جان بسیاری از عزیزانمان را گرفت و بسیاری از کسب و کارها را از رونق انداخت، فرصت‌های بی‌بدیلی را نیز برای ما فراهم کرده است و آن استفاده از فضای مجازی است؛ از دورکاری گرفته تا خریدهای ضروری و غیرضروری خانه. به نظرم مهم‌ترین کاری که این ویروس نانومتری انجام داده، تحولی است که در چگونگی تدریس در دوره‌های متفاوت آموزشی ایجاد کرده است. از تدریس صادقانه یک دبیر در شهرستانی دورافتاده و روی دیوار سفید یخچال برای دانش‌آموزان ابتدایی‌اش گرفته، تا استادی که کلاس گروهی دانشجویان دکترایش را در این فضا برگزار می‌کند. تدریس در فضای مجازی فرصتی بود که گرچه قبلاً در مورد آن بسیار سخن گفته بودند، ولی کمتر در عمل بدان پرداخته شده بود. به ناگاه کلاس حقیقی از همه دبیران گرفته شد و خواه ناخواه در مقابل دوربین رایانه نشستیم و تا به خود آمدیم، مشغول تدریس مجازی شدیم و به جای دانش‌آموزان، تنها نام آن‌ها را در کناره‌های صفحه نمایش می‌دیدیم.

از نزدیک شاهد تلاش بسیار خوب همکاران عزیزم در این مورد بودم و مشاهده می‌کردم، چگونه دوستانم در این روش نیز هنرنمایی می‌کنند و یک تنه تعداد زیادی دانش‌آموز را پشت صفحه‌های ال‌ای‌دی به وجد می‌آورند و خنده‌های



این فضا، بسیار استادانه عمل می‌کنند. اطلاعاتشان از رایانه، نرم‌افزارها و ... از ما پیشتر است. چندین سال است که من ایرادهای مربوط به اینترنت و رایانه را از دانش‌آموزان می‌پرسم و غالباً پاسخ‌های به‌روز و مناسب را دریافت می‌کنم.

سعی بر سؤال مداوم از کلاس و دانش‌آموز است. مبادا خود یک تنه کلاسی را به پیش ببرید. این رفت و برگشت با دانش‌آموزان را من «تدریس یویویی» می‌نامم. از دانش‌آموزان ساکت بخواهید که در فعالیت‌ها شرکت کنند و در صورت لزوم از مشاور بخواهید با خانواده آن‌ها صحبت کند.

گاهی کلاس را به دانش‌آموزان واگذار کنید. شاید لازم باشد با هم در مورد موضوعی بحث کنند و شما نظاره‌گر باشید. حتماً برای هر کلاس، یک گروه فعال در فضای مجازی درست کنید و تمرین‌ها، سؤال‌ها و فیلم‌های آموزشی را در آن‌ها قرار دهید. سعی کنید همیشه در دسترس دانش‌آموزان باشید و تدریس را با تفریح همراه کنید و آن را به تمام ساعات متفاوت شبانه‌روز تسری دهید.

امید داریم که روزی جامعه بشری بر مشکل کرونا غلبه کند، ولی حتی در آن روز نیز باید این تجربیات را پیگیری کنیم و از این قدرت عظیم خاموش‌ترین استفاده را بکنیم. در آخر صمیمانه از تمام همکاران می‌خواهم که ما را در هنر معلمی خود در این فضای مجازی شریک سازند و تجربیات مفیدشان را برایمان ارسال دارند که بسیار بدان محتاجیم.

سردبیر

دانش‌آموز فقط نکته‌برداری کند. پس چه باید کرد؟ سعی می‌کنم تجربیات دوستانم را بیان کنم. اولین نکته این است که کلاس ۹۰ دقیقه‌ای، همان‌گونه که سال‌ها تذکر داده‌ایم، جواب‌گو نیست و بسیار خسته‌کننده و حتی برای چشمان دانش‌آموز مضر است. کلاس‌ها باید ۴۵ دقیقه‌ای باشند و سپس دانش‌آموز ربع ساعتی را استراحت کند تا کلاس بعدی. نکته دوم تحرک شدید کلاس است. نباید دانش‌آموز را رها کرد. باید تدریس را به همراه پرسش، کار گروهی، و نظرخواهی از دانش‌آموزان ادامه داد. می‌توان در حدود ۱۰ دقیقه موضوعی را تدریس کرد و سپس از دانش‌آموزان خواست، آنچه را از تدریس دریافته‌اند، توضیح دهند. به‌طور یکنواخت از همه پرسش شود و برای پاسخ‌های صحیح نمره مثبتی در نظر گرفت. دانش‌آموزان ساکت سر کلاس را باید با تشویق، به وسط میدان تدریس هل داد. همگان می‌دانیم که تشویق معجزه می‌کند. کافی است فهرستی از دانش‌آموزان سرکلاس را کنار دست داشته باشید و برای هر اقدام مثبت آن‌ها نمره‌ای منظور کنید. خواندن متن کتاب را به آن‌ها بسپارید.

از آنان بخواهید برای موضوع تدریس شده، سؤال و تست مناسب بیابند. سایت‌ها و کانال‌های علمی فراوانی داریم که آزمایش‌های علمی را انجام داده‌اند و فیلم‌هایشان موجود است، از دانش‌آموزان کمک بگیرید. آن‌ها در جست‌وجو در

پسران موسی شاکر خراسانی (بنوموسی)

اسفندیار معتمدی



[https:// www. roshdmag. ir/w/201](https://www.roshdmag.ir/w/201)

در بیت‌الحکمه فراهم آورد. استعداد این سه برادر و آموزش منظم آن‌ها سبب شد که در علمی که در بیت‌الحکمه تدریس می‌شد به درجه استادی رسیدند و با استفاده از ثروت و اعتباری که داشتند به دعوت دانشمندان و مترجمان زبان‌های یونانی و سریانی برای جمع‌آوری آثار این زبان‌ها و ترجمه آن‌ها دست زدند. در کتاب «تاریخ‌الحکمای» قفطی آمده است:

«بالجمله، اولاد موسی ترقی کرده در علم به نهایت رسیدند. و اکبر ایشان که ابوجعفر محمد بن موسی بود، از هندسه و نجوم نصیبی وافر داشت و اقلیدس و مجسطی را نیکو می‌دانست. کتاب‌های بسیار در نجوم و هندسه و عدد و منطق، جمع کرده بود و حرصی تمام بر اقتناء [گردآوری] آن‌ها می‌داشت و عاقبت از وجوه قواد [فرماندهان] و سرداران گردید ... چنان که دخل وی از بغداد و فارس و دمشق و غیر آن قریب به چهارصد هزار دینار می‌شد و دخل برادرش احمد به هفتاد هزار دینار؛ و مرتبه «احمد» در علم و دانش فرو مرتبه «محمد» بود. ولی در صنعت رحیل وی را گشایش‌ها روی داد ... و حسن برادر سیّم ایشان علم هندسه دانستی و بس، اما او را در خصوص آن فن طبعی عجیب بوده. مشهور است که آنچه از آن فن می‌دانسته، جمله را به فهم و فکر خویش تحصیل کرده است و به غیر شش مقاله از کتاب اقلیدس، درسی از آثار علم نخوانده بود. لیکن تخیلی قوی داشته ...» (تاریخ‌الحکما، ۱۳۷۱).

سه برادر به نام‌های محمد، حسن و احمد معروف به «بنوموسی» فرزندان موسی بن شاکر خراسانی بودند که در قرن هفتم میلادی، دوم هجری می‌زیستند. این سه برادر از نویسندگان و مترجمان معروف کتاب‌های ریاضی، فیزیک و اخترشناسی بودند و در رونق‌بخشی به بیت‌الحکمه بغداد و تشویق و جذب دانشمندان به کارهای علمی از سرآمدان زمان مأمون عباسی به حساب می‌آمدند.

موسی بن شاکر، معروف به المُنْجَم از اخترشناسان دربار مأمون در مرو - خراسان بود. او از نزدیکان مأمون و همیشه همراه و مورد حمایت او بود و همراهش از خراسان به بغداد رفت و در آنجا درگذشت. نوشته‌اند که موسی در جوانی راهزن بود، اما بعد احکامی (منجّم) زبردستی شد، مرگ او در همان زمان خلافت مأمون (۱۹۸ - ۲۱۸ ش/ ۸۱۳ - ۸۳۳ م) فرا رسید. در آن زمان پسرانش خردسال بودند. مأمون که به ذکاوت سه برادر پی برده بود هر سه را در بیت‌الحکمه^۱ بغداد که خود تأسیس کرده و نخستین مؤسسه علمی در زمان عباسیان و بسیار شبیه به فرهنگستان‌های امروزی بود، به خدمت گماشت (زندگی‌نامه علمی، ۱۳۷۲، بنوموسی).

مأمون سرپرستی فرزندان موسی را به اسحاق پسر ابراهیم که از بزرگان بغداد و فرماندار آن شهر بود سپرد. اسحاق نیز، که خود مردی دانش‌پژوه بود، این مسئولیت را به یحیی میرمنصور که منجم دربار و رئیس بیت‌الحکمه بود واگذار کرد و از او خواست تا وسیله تحصیل و پرورش آن‌ها را

اکنون به معرفی هریک از این سه برادر می‌پردازیم:

محمدبن موسی - که بزرگ‌ترین این سه برادر بود - علاوه بر توانایی‌های علمی، قدرت مدیریت داشت و مورد اعتماد و احترام همگان بود و بسیار مسئولیت‌پذیر. پس از ورود به بیت‌الحکمه با محمدبن موسی خوارزمی، پایه‌گذار جبر در فرهنگ اسلامی، آشنا و دوست شد و به ریاضیات گرایش یافت و کتاب هندسه اقلیدس و نجوم بطلمیوس (کتاب مجسطی) را به درستی فرا گرفت و ثروت فراوان خود را در راه ترجمه کتاب‌های پزشکی، ریاضی و نجوم به کار انداخت. او افرادی مانند حنین بن اسحاق^۲ را به روم فرستاد تا به خرید و جمع‌آوری کتاب‌ها و نسخه‌برداری از آن‌ها و همچنین دعوت از دانشمندان بپردازند. دانشمندانی که به بغداد آمدند دارالترجمه را در بیت‌الحکمه به راه انداختند. از مترجمین بزرگ این دوره حبش بن الحسن و ثابت بن قزّانه، ثابت زبان‌های یونانی و عربی را به خوبی می‌دانست و به ریاضیات و نجوم علاقه‌مند بود. پسرش «سنان» و نوه‌اش «ابراهیم» نیز راه پدر را در ترجمه پیمودند و جمعا ۱۳۰ کتاب و رساله در زمینه پزشکی و نجوم و ریاضی ترجمه و تألیف کردند [گردآوری]. پسران موسی هریک به تنهایی و با یکدیگر دست به تألیفات ارزنده‌ای زدند. آن‌ها بیش از بیست تألیف و تحقیق دارند. تألیفات محمد شامل پنج کتاب به شرح زیر است:

۱. کتاب، در اولین حرکت فلک اول
۲. کتاب، در مقاطع مخروطی
۳. کتاب، اشکال هندسی
۴. کتاب، اقسام تناسب‌ها در اصول ریاضی
۵. کتاب، روش سخن‌پردازی یا کلام.

احمدبن موسی: احمد دومین برادر بود و در کارهای عملی و مهندسی مهارت بسیار داشت. او آبراه میان بصره و شهر واسط و نیز آبراهی را در بغداد ساخت. اطلاعات اولیه احمد از علوم فنی و عملی از راه کتاب‌هایی بود که از دانشگاه‌های گندیشاپور و اسکندریه به بغداد منتقل شده بود. او یک مهندس مبتکر بود و در بسیاری از رشته‌های فنی به‌ویژه مکانیک و اصول و قوانین مربوط به رفتار گازها و مایعات و فشار هوا و حرکت باد کار کرده بود و آگاهی داشت.

تألیفات احمد شامل کتاب‌های زیر است:

۱. کتاب الحیل یا دستگاه‌های مکانیکی خودکار
۲. کتاب افکار فلک نهم
۳. کتاب جواب بر سؤالات سنادبن علی
۴. کتاب سرآغاز جهانی یا اساس العدل اولیه
۵. کتابی در سؤالات و مباحث میان سنادبن علی و احمدبن موسی.

مهم‌ترین تألیف احمدبن موسی کتاب الحیل است. واژه حیل جمع حیل و شامل معانی زیر است:

۱. چاره‌ها، چاره‌گری‌ها، دستان‌ها.
۲. فنی که عبارت است از معرفت اصولی که بدان بر اعمال عجیب و غریب دست یابند.
۳. فن مکانیک (فرهنگ فارسی معین).
در معرفی کتاب الحیل:
۱. قدیمی‌ترین مرجعی که به کتاب الحیل اشاره کرده «الفهرست» ابن‌الندیم است. محمدبن اسحاق معروف به ابن‌ندیم در سال ۳۸۰ ق فوت کرد.
۲. ابن‌قفطی در کتاب تاریخ‌الحکما می‌نویسد: کتاب «الحیل» کتابی است مشهور و اعجاب‌انگیز ... گرچه احمد در کلیه علوم مقامش به مقام برادرش محمد نمی‌رسید و از وی در سطحی نازل‌تر قرار داشت ولی در ساختن لوازم و انواع ابزار و ظرف‌های خودکار مکانیکی که تا آن زمان طرز کار آن‌ها بر کسی معلوم و روشن نبود تبحر داشته است.

۳. ابن‌خلدون (۷۳۴ هـ. ق / ۱۳۳۳ م) می‌نویسد: «کتابی درباره مکانیک وجود دارد از احمدبن موسی بن شاکر که کتاب اسرار‌آمیزی است و تمامی شیوه‌ها و تدابیر زیبا و مبهوت‌کننده و برجسته کارهای خودکار مکانیکی را ذکر می‌کند. چنان‌که در بعضی موارد درک و فهم و قبولی آن دشوار است، زیرا اثبات کارهای هندسی و مکانیکی ابزارهایی را که شرح داده است برای کسانی که بخواهند نسخه‌برداری کنند مشکل خواهد بود».
۴. بدیع‌الزمان، اسماعیل «الجزری» یا «الجزری» در مقدمه کتاب «فی معرفة الحیل المهندسیه» که آن را در ۶۰۲ هـ. ق / ۱۲۰۶ م نوشته چنین یاد کرده است: این کتاب درباره کار و تکنیک ظرف‌های خودکار و مایعات و انواع فواره‌ها بحث می‌کند.
۵. دکتر سرفراز غزنی و ترجمه و نگارش کتاب الحیل.

مرحوم دکتر سرفراز غزنی در سال ۱۳۹۳ کتاب الحیل را که دونالد. آر هیل به انگلیسی ترجمه کرده بود به زبان فارسی ترجمه و به وسیله مؤزّه علوم و فناوری جمهوری اسلامی چاپ و منتشر کرد. لازم به ذکر است که هیل ترجمه انگلیسی این کتاب را از روی سه متن عربی موجود در کتابخانه‌های واتیکان، برن و توپ‌قاپی ترکیه گرفته انجام داده بود.

- کتاب الحیل شامل شرح یکصد طرح ساخته‌شده دستگاه‌های خودکار آبی - هوایی و بادی است. چند نمونه از طرح‌ها عبارت است از:
۱. ظرفی که نمایانگر کار سیفون متحدالمرکز است (کاس العدل).
 ۲. ظرفی که اگر از آن آب ریخت و متوقف شد، بار دوم از آن آب بیرون نریزد.
 ۳. گای که از ظرفی آب می‌نوشد و وقتی آب ظرف تمام شد مجسمه گاو به صدا درمی‌آید.
 ۴. آفتابه‌ای که بنا به اراده صاحبش از آن آب بیرون می‌ریزد.
 ۵. یک نوع دمنده هوا برای کشیدن هوای فاسد چاه‌ها.

ابن خلدون می‌نویسد:
«کتابی درباره مکانیک وجود دارد از احمدبن موسی بن شاکر که کتاب اسرار‌آمیزی است و تمامی شیوه‌ها و تدابیر زیبا و مبهوت‌کننده و برجسته کارهای خودکار مکانیکی را ذکر می‌کند»



▲ کتاب الحیل

خدمات و آثار مشترک این سه برادر

۱. دعوت و تشویق مترجمان و آماده کردن وسایل کار برای ترجمه کتاب‌هایی از زبان‌های یونانی، سریانی، پهلوی و هندی به زبان عربی. نمونه این مترجمان ثابت‌بن قره است که از شهر حرّان در مرز ترکیه و سوریه امروزی به بغداد دعوت شد، و دیگری حنین‌بن اسحاق (۲۶۰ - ۱۹۴ ه. ق) طبیب و مترجم بزرگ آثاری که از زبان‌های یونانی و سریانی در بیت‌الحکمه گردآوری شده بود.

۲. تألیف کتاب‌های زیر:

- ۱-۲. قپان و اساس توزین بارهای سنگین
- ۲-۲. اندازه‌گیری مساحت شکل‌های مسطح و کروی
- ۳-۲. جداول نجومی که بیرونی و ابن‌یونس از آن‌ها نام برده‌اند
- ۴-۲. کاربرد ماشین‌های جنگی
- ۵-۲. بحث دربارهٔ فضا و سپهر
- ۶-۲. ساختن اسطرلاب‌ها
- ۷-۲. شرح ماشین موسیقی خودکار
۳. اندازه‌گیری شعاع و محیط زمین*

نوآوری و ابتکارهای بنوموسی در ریاضیات

۱. در برخی از نوشته‌هایی که از عربی به لاتین ترجمه شده، قضیه‌هایی از پسران موسی نقل شده که در کتاب‌های یونانی نبوده است.

۲. بنوموسی مساحت دایره را با روشی که با روش ارشمیدس تفاوت داشت، اما مبتنی بر اندیشه بی‌نهایتی کوچک‌های او بود، حساب کردند. آن‌ها در یک دایره، چندضلعی منتظم که دارای ۴، ۶، ۸، ۱۰ ضلع بود محاط کردند و با محاسبه مساحت چندضلعی، به مساحت دایره رسیدند. رابطه‌ای که آن‌ها برای تعیین مساحت دایره اثبات کردند، به صورت $A = \pi \frac{C}{4}$ است؛ که: π شعاع و C محیط و A مساحت دایره است.

۳. از دیگر کارهای بنوموسی، تعیین مساحت کره است. آن‌ها با اثباتی جدا از روش ارشمیدس، ثابت کردند که مساحت یک کره چهار برابر مساحت دایرهٔ عظیمهٔ آن است.

۴. آن‌ها ثابت کردند که در یک مثلث اگر طول اضلاع آن a و b و c باشد و $P = \frac{a+b+c}{2}$ باشد، مساحت مثلث (A) برابر است با:

$$A = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$$

این قضیه قبلاً به وسیلهٔ هرو، دانشمند یونانی، به روش دیگری اثبات شده بود.

مثال. اگر در مثلثی $a=8$ متر، $b=6$ متر و $c=10$ متر باشد، مساحت آن طبق روش بالا برابر است با:

توضیح کاس العدل

منظور از کاس العدل جام نگهدارندهٔ مایع است که به حد اعتدال رسیده است.

این طرح شامل ظرفی است که از ته آن لولهٔ دو سر بازی می‌گذرد. بر روی این لوله، لولهٔ یک سر بازی به‌طور وارون قرار می‌گیرد (مطابق شکل، تصویر کتاب الحیل). هرگاه درون ظرف آب یا مایع دیگری ریخته شود سطح آب بالا می‌آید و هنگامی که سطح آزاد آب به دهانه لوله درونی برسد، همهٔ آب از ظرف خارج می‌شود.

حسن بن موسی: گفتیم که حسن کوچک‌ترین پسر موسی بود. وقتی پدرش درگذشت، سال‌های کودکی را می‌گذراند. پسری کنجکاو، پرسشگر و خلاق بود و به تدریج استعداد خود را در هندسه نشان داد. او در بیت‌الحکمه به‌طور اعجاب‌آوری به سمت هندسهٔ اقلیدس کشیده و مجذوب آن شد. شب و روز هندسه می‌خواند و مسئله می‌ساخت و راه حل می‌یافت. برای مسائلی که گذشتگان طرح کرده بودند، راه حل‌های ساده‌تری بیان می‌کرد. در مجالس علمی حضور می‌یافت. بعضی را شیفته علم و خلاقیت خود می‌کرد و گروهی نیز رقیب او می‌شدند و حسادت می‌کردند. هنوز نیمی از اصول هندسهٔ اقلیدس را نخوانده بود که می‌گفت «من قادرم با استفاده از همان اصولی که خوانده‌ام همهٔ مسائل هندسه را حل کنم و نیازی به بقیه قضایای هندسهٔ اقلیدس ندارم».

حسن در شناختن کتاب‌های ریاضی به‌ویژه هندسه، تخصص فراوانی داشت. او برای گزینش و تهیه کتاب‌ها به سرزمین‌های دور و نزدیک می‌رفت و با کوله‌باری از دانش روزگار خویش باز می‌گشت. وقتی به مصر رفت در کتابخانه اسکندریه با کتاب‌های فراوانی روبه‌رو شد که روی پوست جانوران و ورق‌های پاپیروس نوشته شده بودند. او بسیاری از این کتاب‌ها را که به زبان یونانی بودند با خود به بغداد آورد و آن‌ها سرمایه‌ای برای توسعهٔ علوم ریاضی و طبیعی در فرهنگ و تمدن اسلامی شد.

بنوموسی
مساحت دایره را با روشی که با روش ارشمیدس تفاوت داشت، اما مبتنی بر اندیشه بی‌نهایتی کوچک‌های او بود، حساب کردند. آن‌ها در یک دایره، چندضلعی منتظم که دارای ۴، ۶، ۸، ۱۰ ضلع بود محاط کردند و با محاسبه مساحت چندضلعی، به مساحت دایره رسیدند

$$p = \frac{a+b+c}{2} = \frac{8+6+10}{2} = 12$$

$$A = \sqrt{12(12-8)(12-6)(12-10)} = 24$$

رصدخانهٔ پسران موسی

مأمون خلیفه عباسی به پیشگویی‌های نجومی بسیار علاقه‌مند بود و منجمان فراوانی در دربارش بودند. او رصدخانه‌ای در شهر بغداد برپا کرد و ریاست آن را به **یحیی بن منصور** واگذار نمود. در همان زمان رصدخانه‌های دیگری در گندیشاپور و دمشق مشغول به کار شدند و به ثبت مشاهدات خود پرداختند. آنان نتیجهٔ مشاهدات خود را در جدول مأمونی یا زیج مأمونی تنظیم کردند.

با همت پسران موسی، رصدخانه دیگری در بغداد ساخته شد که در نزدیکی دجله قرار داشت. سال‌ها پسران موسی در این رصدخانه به مشاهدهٔ حرکات و رفتار ستارگان مشغول بودند و جدول‌های دقیقی تنظیم کردند. آن‌ها همچنین کتاب «اندازه‌گیری مساحت شکل‌های «مسطح و کروی» را در همین رصدخانه تألیف کردند».

توضیحات

۱. در تاریخ‌الحکمای قفطی دربارهٔ موسی بن شاکر چنین آمده است:

«وی در اول عمر حرامی و قاطع بوده، به زنی لشکریان می‌بود و شجاع و دلیر. گویند نماز عشا، با همسایگان، در مسجد گزاردی. بعد از آن بیرون رفتی و بر مسافت چند فرسخ، راه خراسان می‌زدی؛ و بر اسبان اشقر سواری کردی. و می‌بست بر پای‌ها و دست‌های اسبان، خرقة‌های سفید، برای آنکه شب‌ها در نظر بیننده محجل نمایند و زنی خود تغییر دادی و روی بیستی. و او را جاسوسی می‌بوده که خبر دادی وی را از هر که بیرون رفتی از بغداد. و از آنچه با وی از اموال؛ و بسا بودی که تنها با جمعی در آویختی و بر ایشان غالب گشتی. و هم در شب عود نمودی و نماز بامداد در مسجد، به جماعت گزاردی ... (تاریخ‌الحکما، ۵۹۱، ۱۳۷۱).

۲. بیت‌الحکمه

در زمان هارون الرشید بغداد محل تمرکز ثروت و قدرت دنیای اسلام شد و جعفر برمکی وزیر دانشمند هارون به دعوت دانشمندان و هنرمندان و جمع‌آوری کتاب‌های علمی ایرانی، یونانی و هندی و ... پرداخت. برای نگهداری این کتاب‌ها مکان و ساختمانی در نظر گرفت که کم‌کم وسعت یافت و محل تجمع مترجمان و دانشمندان شد و آن را بیت‌الحکمه نامیدند. پس از هارون پسرش مأمون نیز بر وسعت این مکان افزود و یحیی بن منصور را که ایرانی‌الاصل و از منجمان بزرگ و مؤلف رسائل و جداول نجومی بود به ریاست آن برگزید. بیت‌الحکمه دارای کتابخانه و رصدخانهٔ

مفصلی بود و در آنجا مترجمان و محققان و منجمان بزرگی پرورش یافتند.

۳. حنین ابن اسحاق

حنین ابن اسحاق العیادی در ۱۹۴ ق به دنیا آمد. او چندی در گندیشاپور و بغداد طب آموخت و در بصره زبان عربی و در آسیای صغیر زبان یونانی فرا گرفت و در بغداد ساکن شد. متوکل خلیفه عباسی او را طبیب مخصوص خود کرد و جمعی از مترجمان و دانشمندان را در خدمت او گذاشت.

حنین بسیاری از آثار جالینوس و بعضی از آثار بقراط، افلاطون و ارسطو و کتاب «الاربعة بطلمیوس» را خود ترجمه کرد و یا تحت سرپرستی وی ترجمه شد. نمونه کتاب‌های فیزیک و نجوم و طب که ترجمه آن‌ها را به حنین نسبت می‌دهند عبارت است از «در باب جزر و مد»، «کائنات جو و قوس قزح» و کتاب «المدخل فی طب». المدخل فی طب مدخل کتاب‌الصناعه اثر جالینوس است. این کتاب در سراسر قرون وسطی رواج کامل داشت. حنین و یارانش از جالینوس ۹۵ رساله به زبان سریانی و ۹۹ رساله به زبان عربی از زبان یونانی ترجمه کردند.

۴. دونالد آر. هیل

یکی از متخصصان بزرگ تاریخ فناوری در اسلام است و در معرفی سهم مسلمانان در تاریخ فناوری جهان نوشته‌های متعددی دارد. علاوه بر ترجمه کتاب «الحیل» به انگلیسی، کتاب «ساعت‌های آبی اسلامی» را نیز تألیف کرده است.

پی‌نوشت

* روایتی از ابن خَلکان، به نقل از تاریخ نجوم اسلامی، تألیف کرلو آلفونسو، ترجمه احمد آرام: «مأمون شیفتهٔ علوم اوایل [علمی] که از فرهنگ‌های دیگر به دنیای اسلام راه یافت] و پژوهش در آن‌ها بود. او باخبر شده بود که محیط زمین بیست و چهار هزار میل است [هر سه میل یک فرسخ و هر فرسخ ۶۰۰۰ متر است] مأمون خواست تا بر حقیقت این امر آگاه شود. پس، از پسران موسی در این باره پرسش کرد. آنان گفتند: «این درست و قطعی است». پس به ایشان گفت: «از شما می‌خواهم تا به همان روشی که پیشینیان گفته‌اند عمل کنید تا معلوم شود که این درست است یا نه.»

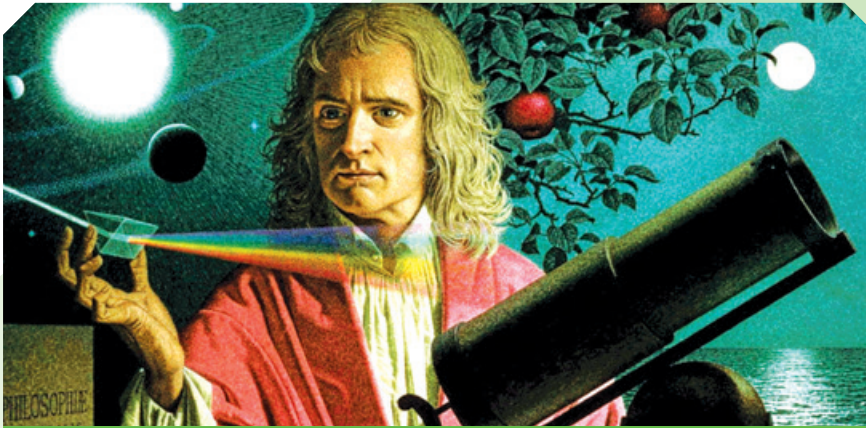
آنان از زمین‌های هموار جست‌وجو کردند که در کجا هست و معلومشان شد که **دشت سنجر** [دشتی واقع در نزدیکی موصل در عراق] در نهایت همواری است. پس با خود گروهی از کسانی را که مأمون به گفته ایشان اعتماد داشت و به آگاهی آنان از این صناعت مطمئن بود، همراه گرفتند و به دشت سنجر روانه شدند. در نقطه‌ای از آن، ارتفاع قطب شمال [که برابر عرض جغرافیایی نقطه است] را با بعضی از آلات اندازه گرفتند. در این نقطه میخی بر زمین فرو کردند و ریسمانی به آن بستند و چندی بر سطح زمین هموار در جهت شمال، بدون منحرف شدن به چپ و راست، پیش رفتند تا ریسمان تمام شد. بار درگیر در محل تمام شدن ریسمان میخی گرفتند و باز در جهت شمال پیش رفتند. این کار را چندین مکرر کردند تا به موضعی رسیدند که چون ارتفاع قطب را اندازه گرفتند، به اندازه یک درجه بیشتر از نقطه شروع کار درآمد. فاصله این دو نقطه – که با ریسمان اندازه گرفته بودند، شصت و شش میل و دو ثلث میل شد. از اینجا دانستند که در مقابل هر درجه از سطح فلک بر سطح زمین شصت و شش میل و دو ثلث میل است.»

سپس به محلی که میخ نخستین را در آن کوفته بودند بازگشتند و ریسمان بستند و مانند دفعه پیش، این دفعه بر راستای نصف‌النهار در جهت جنوب به اندازه شصت و شش میل و دو ثلث میل پیش رفتند و به نقطه‌ای رسیدند که چون در آن نقطه ارتفاع قطب را اندازه گرفتند، به اندازه یک درجه کمتر شده بود. از این رو معلوم شد که محاسبه ایشان درست بوده است و به مقصود خود رسیده‌اند چون کسی که از علم هیئت آگاه است، این سخن را بشنود، حقیقت امر بر وی آشکار خواهد شد.

چون پسران موسی به نزد مأمون بازگشتند و از کاری که کرده بودند، و را آگاه ساختند، مأمون دریافت که نتیجه با آنچه در کتب قدیمی و استخراج پیشینیان آمده است، موافقت دارد و بر آن شد که در محل دیگری این امر را آزمایش کند. پس آنان را به جانب کوفه روان کرد و آن‌ها در آنجا مانند سنجر عمل کردند. دو حساب با یکدیگر مطابقت درآمد و مأمون از درستی آنچه پیشینیان نوشته بودند، آگاه شد.

منابع

- زندگی‌نامه علی دانشوران (۱۳۷۲). زیر نظر احمد بیرشک. شرکت انتشارات علمی و فرهنگی. جلد دوم.
- تاریخ‌الحکما؛ قفطی (۱۳۷۱). به کوشش بهین دارایی، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- الفهرست (۱۳۸۱). محمدبن اسحاق بن ندیم، ترجمه محمدرضا تجدد، انتشارات اساطیر.
- کتاب الحیل (۱۳۹۳). احمدبن موسی شاکر خراسانی، ترجمه و نگارش دکتر سرفراز غزنی، انتشارات موزهٔ علوم جمهوری اسلامی.
- تاریخ علم در ایران (۱۳۹۳). اسفندیار معتمدی، نشر مهاجر، جلد دوم، ویرایش دوم.
- بنوموسی (۱۳۸۳). اسفندیار معتمدی، انتشارات برهان، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.
- علم و تمدن در اسلام (۱۳۵۹). سیدحسین نصر، ترجمه احمد آرام. شرکت انتشارات خوارزمی.
- فرهنگ اسلام در اروپا (۱۳۶۱). زیگویگ هوتکه، ترجمه مرتضی رهیانی، دفتر نشر فرهنگ اسلامی.



نیوتون متفکری بزرگ

محمد ساعد غفوری
کارشناس ارشد تاریخ علم

چکیده

برای بسیاری از مورخان علم تفاوت دنیای قدیم و دنیای جدید هنوز ناشناخته است. چرا بسیاری از اکتشافاتی که در قرون جدید صورت گرفته در قرون قدیم انجام نمی‌گرفت؟ اینکه فرض کنیم گذشتگان ما در هزار سال قبل کم‌هوش‌تر از امروز بودند مطمئناً تصور نادرستی است، ولی چرا پیشرفت علم در سیصد سال اخیر با هزار سال قبلش قابل مقایسه نیست؟

گرچه پاسخ‌هایی به این گونه سؤالات داده شده ولی قانع‌کننده نیست. به نظر می‌رسد دنیای قدیم دنیای طبایع اجسام بود، به عنوان مثال مردم معتقد بودند، اگر سنگ سقوط می‌کند، به دلیل ماهیت آن است که از جنس زمین است و تعبیر شاعرانه‌اش هم اینکه: هر کسی کو دور ماند از اصل خویش باز جوید روزگار وصل خویش (مولوی)

کیمیایان قدیم به دنبال تبدیل، ماهیت مس به طلا بودند؛ چیزی که هرگز امکان‌پذیر نبود. قرن‌ها طول کشید تا انسان دریابد که، برخلاف نظر ارسطو، جسم برای ادامه حرکت یکنواخت خود روی خط راست نیاز به محرک ندارد. این درک عظیم را بزرگانی همچون گالیله و نیوتون به بشر ارزانی داشتند.

نیوتون گرچه سال‌هایی از عمرش را به کیمیایگری نیز پرداخت ولی کارهای علمی بزرگی انجام داد که هر یک به تنهایی برای اثبات نبوغ وی کافی است. او علم فیزیک را بر پایه ریاضیات بنا نهاد؛ ریاضیاتی که خود سازنده آن بود. نیوتون بر تمام پیشرفت‌های علمی بعد از خود تأثیری اساسی داشت.

کلیدواژه‌ها: سینماتیک، دینامیک، قوانین نیوتون، حساب دیفرانسیل، جاذبه و گرانش، اینرسی و اندازه حرکت، نورشناسی.

ایزاک نیوتون^۱ در سال ۱۶۴۲ م در نزدیکی لینکن شایر^۲ در ۱۶۰ کیلومتری لندن، در روز کریسمس، چشم به دنیا گشود. پدرش سه ماه پیش از تولد او از دنیا رفته بود و به همین دلیل مادر نام پدر، ایزاک، را برای او انتخاب کرد. ویلیام استاکلی^۳، نخستین زندگی‌نامه‌نویس این نابعه دوران، می‌نویسد: نیوتون در دوران نوجوانی و در مدرسه مدل‌های کارآمدی از آسیاب‌های بادی را می‌ساخت که با پازدن، پره‌های آن به کار می‌افتاد؛ و ارایه‌هایی می‌ساخت که با چرخاندن هندل^۴ به حرکت در می‌آمد. از علاقه‌مندی‌های دیگر او رفتن به مغازه داروفروشی محل و خرید مواد شیمیایی بود که در روی آوردن نیوتون به کیمیاگری در برهه‌های بعدی عمرش بی‌تأثیر نبود. نیوتون در سال ۱۶۶۱ م به ترینیتی کالج^۵ کمبریج وارد شد. او دانشجویی بود که کمک‌هزینه تحصیلی دریافت می‌کرد و در ازای کار در دانشگاه نیز، به رایگان آموزش می‌دید. به این دانشجویان سابسایزر^۶ می‌گفتند. شاید به همین دلیل و یا روحیه انزواطلبی خودش بود که از دانشجویان و استادان و حتی برنامه درسی کمبریج، که بیشتر بر عقاید ارسطو پایه‌گذاری شده بود، دوری می‌جست. پس از حدود یک سال در کمبریج نیوتون وارد مطالعه در حوزه ریاضی شد و آن‌قدر در جهان آنالیز ریاضی قرن هفدهم سیر کرد تا به آغاز اکتشافات خود رسید.

در آغاز سال ۱۶۶۵ م در کمبریج و بسیاری از بخش‌های دیگر انگلستان بیماری هولناک طاعون شایع شد. زندگی مردم در هم پاشید و در حدود دو سال کالج‌ها بسته شد. نیوتون هم به زادگاهش بازگشت. مورخان علم نوشته‌اند که نیوتون قسمت عمده کارهایش را در همان هجده ماه دوری از کمبریج طاعون‌زده و در زادگاهش لینکن شایر، در سال‌های ۱۶۶۵ تا ۱۶۶۶ م، انجام داده است. خودش نیز گفته است: «در آغاز سال ۱۶۶۵ دستوری را برای تبدیل هر نوع دوجمله‌ای به یک سری^۷ را به‌دست آوردم و در ماه نوامبر همان سال روش مشتق‌گیری^۸ به تعبیر خود نیوتون فلوکسیون^۹ را پیدا کردم، سال بعد در ماه ژانویه نظریه رنگ‌ها را به‌دست آوردم و در ماه مه بعد وارد طریقه عکس مشتق‌گیری یعنی انتگرال‌گیری شدم. در همان سال به فکر تعمیم مفهوم جاذبه به مدار ماه افتادم و نیرویی را که موجب بقای گردش ماه بر مدار زمین می‌شود با نیروی جاذبه در سطح کره زمین مقایسه کردم ...».

حجم عظیمی از این کارها را که غیرقابل باور به نظر می‌رسد، نیوتون به‌تنهایی در مدت هجده ماه انجام داد. بقیه زندگی او نیز به بسط و تکمیل همین پژوهش‌ها گذشت. نیوتون از نظر اخلاقی و رفتاری خیلی خوش‌سلوک نبود. به دیگران بسیار بدگمان بود و بیشتر سال‌های عمرش را با دانشمندان هم‌دوره‌اش درگیر بود، به‌عنوان مثال، با رابرت هوک^{۱۰} در مورد نظریه رنگ‌ها و نیز اینکه کدام یک از آن دو در کشف قانون جاذبه عمومی حق تقدم دارند در مجادله بود.

با ریاضی‌دان آلمانی گوتفرید لایب‌نیتز^{۱۱} نیز در مورد اینکه کدام یک حساب دیفرانسیل و انتگرال را زودتر کشف کرده‌اند سر دعوا داشت و سرانجام با کریستیان هویگنس هلندی^{۱۲} نیز در مورد تئوری نور در مجادله بود.

نیوتون عموم اکتشافات خود را پنهان نگاه می‌داشت. او در سنین ۲۳ تا ۲۵ سالگی، همان‌گونه که بیان شد، به قسمت عمده ابداعات نبوغ‌آمیزش دست یافته بود ولی تا سال‌ها آن‌ها را منتشر نکرد. به‌عنوان مثال مجموعه سه‌گانه اصول خود را با عنوان «اصول ریاضی فلسفه طبیعی^{۱۳}» در ۴۴ سالگی و کارهای مربوط به نورشناسی‌اش را در ۶۵ سالگی منتشر کرد. در هر صورت حجم کارهای نیوتون بسیار حیرت‌انگیز است، به جرئت می‌توان گفت تنها یکی از کارهایی که او انجام داده برای یک نفر کافی است تا به‌عنوان پژوهشگر و دانشمندی برجسته شناخته شود. در ادامه به مهم‌ترین و تأثیرگذارترین کارهای علمی این دانشمند خواهیم پرداخت.

مشتق و انتگرال

نیوتون در گسترش فیزیک جدید، پس از قرون وسطی، بسیار مؤثر بود. به‌طور کلی سده هجدهم میلادی را عصر چیرگی یک نظام علمی بر پایه مفاهیم نیوتون می‌دانند، او در بیان مفاهیم فیزیک از ریاضیات پیشرفته‌ای بهره می‌گرفت که خودش ابداع کرده بود. از جمله ابداع مفاهیم حساب دیفرانسیل و انتگرال بود که به او و دیگر دانشمندان اجازه داد تا قوانین متعدد مکانیک را فرمول‌بندی و مفاهیم مکانیکی جدیدی تعریف کنند. این مفاهیم تا امروز در تمامی رشته‌های مهندسی و علوم پایه کاربرد دارد. گرچه همان‌طور که اشاره شد دانشمند دیگری نیز به نام لایب‌نیتز، هم‌زمان با نیوتون ولی به‌طور مستقل، به کشف حساب دیفرانسیل و انتگرال رسیده بود و حتی روش او ساده‌تر از روش نیوتون بود ولی در جدال با نیوتون، به‌دلیل نفوذ نیوتون، هیئت تعیین‌شده به نفع نیوتون رأی داد.

انتگرال و انتگرال‌گیری درست به همان اندازه در فیزیک اهمیت دارد که معادلات دیفرانسیل. نظریه پردازان نخست با استفاده از معادلات دیفرانسیل، نظریه خود را بنا می‌کنند اما چون این معادلات برای کار اساسی‌تر، یعنی مقایسه پیشگویی نظریه با آزمایش‌ها و مشاهدات، کافی به‌نظر نمی‌رسند، به انتگرال‌گیری که اغلب یک ضرورت است روی می‌آورند. سختی کار این است که انتگرال‌گیری در بعضی از معادلات دیفرانسیل فوق‌العاده مشکل است. یکی از این موارد که نیوتون سال‌ها با آن درگیر بود، انتگرال‌گیری از معادلات مربوط به حرکت سیستمی شامل زمین، ماه و خورشید، بود. معادله‌ای که بدون تقریب‌هایی قابل حل نبود. همچنین نیوتون با استفاده از حساب دیفرانسیل و انتگرال بود که توانست رابطه بین مسافت، سرعت و شتاب یک متحرک را به‌دست آورد.

نیوتن عموم
اکتشافات خود
را پنهان نگاه
می‌داشت. او
در سنین ۲۳
تا ۲۵ سالگی،
همان‌گونه
که بیان شد،
به قسمت
عمده ابداعات
نبوغ‌آمیزش
دست یافته
بود ولی تا
سال‌ها آن‌ها را
منتشر نکرد



ساختار مکانیک

قبل از نیوتون، کپرنیک^{۱۲} و کپلر^{۱۳} توانسته بودند چگونگی حرکت سیارات در آسمان، و گالیله چگونگی حرکت و سقوط اجسام بر روی زمین را توصیف کنند. ولی هیچ یک از آنان دلیل حرکت سیارات و حرکت و سکون اجسام را بیان نکرده بود. ولی نیوتون اولین کسی بود که به طور کامل این موضوع را حل کرد، به گونه‌ای که تنها سه قرن بعد، در مقابله با نظریه نسبیت آلبرت اینشتین، نیاز به اصلاح در آن دیده شد.

«اصول ریاضی فلسفه طبیعی» نیوتون شامل یک مقدمه و سه کتاب است. این مقدمه شامل تعاریف و مواردی است که نیوتون برای قوانین اساسی حرکت در نظر گرفته بود. براساس این مبانی، در کتاب اول مفاهیم ریاضی گسترده و پیچیده‌ای بیان می‌شود که در فیزیک برای اجسام متحرک بدون مقاومت، مثلاً در محیط خلأ، به کار می‌رود. کتاب دوم به حرکت اجسام در محیط مقاوم، مثلاً در یک مایع یا هوا، مربوط می‌شود، و در کتاب سوم نیوتون به بررسی حرکت سیارات می‌پردازد و گرانش یا قانون جاذبه عمومی خود را بیان می‌کند^{۱۴}. در این کتاب با استفاده از نیروی گرانش دلیل حرکت سیارات به خوبی بیان شده است.

چاپ این کتاب‌ها در اثر کمک‌ها و پافشاری‌های ادموند هالی^{۱۵} که ستاره‌شناسی ماهر و دوست نیوتون بود صورت گرفت.

نیوتون در ابتدا در پاسخ به سؤال‌های ادموند هالی در مورد مسیر حرکت سیارات بود که قوانین سه گانه کپلر را اثبات کرد و سپس، باز در اثر اصرار هالی در مورد پاسخ کامل‌تر شروع به نوشتن سه جلد کتاب اصول خود کرد. از سوی دیگر نیوتون به دلیل درگیری با هوک^{۱۶} می‌خواست از چاپ کتاب سوم منصرف شود.

اگر به تعاریف ارائه شده در این کتاب و سپس به مفاهیمی که براساس این تعاریف بیان شده است نظری بیندازیم خواهیم دید که حتی امروز تا چه اندازه برای توصیف بسیاری از پدیده‌های طبیعی به این قوانین استناد می‌کنیم و چگونه هنوز هم این مفاهیم زنده و پویا هستند. به دو تعریف زیر توجه کنید:

تعریف ۱: مقدار ماده (جرم) همان مقداری است که از چگالی و حجم به دست می‌آید.

تعریف ۲: کمیت اندازه حرکت، اندازه‌ای از حرکت است که از سرعت و مقدار ماده به طور توأم ایجاد می‌شود^{۱۷}.

به دنبال این دو تعریف است که سه قانون مشهور نیوتون

نیوتن در ابتدا
در پاسخ به
سؤال‌های
ادموند هالی
در مورد مسیر
حرکت سیارات
بود که قوانین
سه گانه کپلر
را اثبات کرد
و سپس، باز
در اثر اصرار
هالی در مورد
پاسخ کامل‌تر
شروع به نوشتن
سه جلد کتاب
اصول خود کرد.
از سوی دیگر
نیوتن به دلیل
درگیری با هوک
می‌خواست از
چاپ کتاب سوم
منصرف شود

معنا پیدا می‌کند:

قانون اول: هر جسم همواره در حالت سکون یا در حالت حرکت یکنواخت در امتداد خط مستقیم باقی می‌ماند، مگر بر اثر نیروهای وارد بر آن مجبور به تغییر حالت شود.

در کتاب‌های درسی این قانون را این گونه بیان می‌کنند که «هرگاه بر جسمی نیرویی وارد نشود و یا برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم یا ساکن است و یا با سرعت ثابت روی خط راست در حال حرکت است.» این قانون که به قانون اینرسی هم شهرت دارد، براساس آزمایش‌های گالیله^{۱۸} و کارهای رنه دکارت^{۱۹} پایه‌گذاری شده است. اگر شما در آسانسوری قرار داشته باشید، با هیچ آزمایش فیزیکی نمی‌توانید تشخیص دهید که آسانسور ساکن است و یا با سرعت ثابت در حال حرکت است؛ و این با نظریه ارسطو که برای هر متحرکی محرکی لازم است در تضاد است. نیوتون به خوبی از این قانون برای تبیین حرکت سیارات استفاده کرده و بیان داشت که اگر نیروی جاذبه زمین را حذف کنیم، ماه با سرعت ثابت به حرکت یکنواخت خود ادامه خواهد داد.

قانون دوم: تغییر اندازه حرکت یک متحرک متناسب با نیروی محرکه مؤثری است که بر جسم متحرک وارد می‌شود و دقیقاً با نیرو هم‌جهت است^{۲۰}. البته در کتاب‌های درسی قانون دوم را به این صورت تعریف می‌کنند:

«حاصل ضرب جرم هر جسم در شتابش برابر برآیند نیروهای وارد بر جسم و یا نیروی خالص وارد بر جسم است» ولی در حل مسائل با جرم متغیر بیان اندازه حرکتی قانون دوم نیوتون مزیت دارد^{۲۱}.

قانون سوم: هر کنشی همواره واکنشی برابر و مخالف آن کنش در پی دارد. به نظر نگارنده قانون سوم اهمیتش از دو قانون دیگر بیشتر است. در طول سالیان تدریس مکانیک به تجربه بر من ثابت شده است که تا دانشجوی یا دانش‌آموز قانون سوم نیوتون را به خوبی درک نکرده باشد^{۲۲} نمی‌تواند قانون دوم را در حل مسائل به کار برد. اینکه نیروهای عمل و عکس‌العمل هر دو از یک جنس هستند و بر دو جسم وارد می‌شوند از نکات بسیار مهمی است که در بطن این قانون پنهان شده است. در فیلم زیر نیروهای عمل و عکس‌العمل را در نمایشی زیبا می‌توانید مشاهده کنید.



<https://www.roshdmag.ir/u/207>

اینکه این تعاریف و قوانین هنوز زنده‌اند شاهد مهمی بر این است که علم مکانیک بر پایه‌های این قوانین استوار شده است.

سیب و ماه

نیوتون در جلد سوم کتاب اصول خود دست به کار بزرگی زد و آن آشتی دادن زمین با آسمان بود. او که سقوط سیب از درخت را دقیقاً مانند سقوط ماه به طرف زمین می‌داند، میزان سقوط سیب در هر ثانیه را به خوبی محاسبه می‌کند. در حقیقت کارهای نیوتون ادامه کارهای کپرنیک و کپلر در آسمان و کارهای گالیله در زمین است.

نیوتون راه کاری ارائه می‌دهد و قواعدی ریاضی را بنا می‌نهد که به خوبی برای محاسبات تمامی پرتابه‌ها، خواه ماهواره و خواه سیاره کاملاً صادق است. او در نهایت قانون جهانی گرانش را معرفی می‌کند که دلیل حرکت تمام این موارد است. قانون گرانش عمومی که به قانون عکس مجذوری نیز

شهرت دارد بیان می‌دارد که هر دو جسم که در فاصله معینی از یکدیگر قرار دارند، نیروی جاذبه‌ای به یکدیگر وارد می‌کنند که با حاصل ضرب دو جرم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله مراکزشان از یکدیگر نسبت عکس دارد. در ادامه کتاب او شکل زمین را محاسبه^{۲۳} و نظریه‌ای در مورد جذر و مد بیان می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه با استفاده از داده‌های

حاصل از یک آونگ، تغییرات ناشی از نیروی جاذبه را در نقاط مختلف زمین می‌توان اندازه‌گیری کرد. نیوتون می‌کوشد تا پیچیدگی‌های مدار ماه را نیز حل کند. با اینکه مسئله حرکت ماه، خورشید و زمین یک مسئله سه جسمی است ولی او با ایجاد یک روش تقریبی محاسبه، ابتدا مسئله ماه-زمین را به دقت حل می‌کند و سپس با به حساب آوردن اثر خورشید به عنوان اختلال، آن حرکت را اصلاح می‌نماید.



<https://www.roshdmag.ir/u/208>

صفحات کتاب اصول نیوتون پر است از اطلاعاتی در همه شعبه‌های دینامیک جامدات و مایعات. در اینجا شما را به یک نمونه از کارهای نیوتون، که دکتر دیوید ال. گودستاین در دانشگاه کالیفرنیا در مورد سرعت صوت بیان کرده است، توجه می‌دهیم.



<https://www.roshdmag.ir/u/209>

نورشناخت

نیوتون در سال ۱۷۰۴ میلادی کتاب دیگر خود نورشناخت^{۲۴} را در ۶۵ سالگی منتشر کرد. او در آغاز این کتاب آزمایش ساده‌ای را شرح می‌دهد و با آن اثبات می‌کند که نور اولاً با ورود به محیط تازه می‌شکند و ثانیاً نورهای با رنگ‌های

متفاوت قابلیت‌های شکست متفاوت دارند. به عبارت دیگر هر رنگ ضریب شکست خاص خود را دارد. با استفاده از همین مطلب نیوتون چگونگی ایجاد رنگین کمان را توضیح می‌دهد. آزمایش دیگر نیوتون، در نورشناخت، تاباندن نور خورشید بر یک منشور و تجزیه نور بود. این آزمایش او را به این نتیجه رساند که عدسی‌های به کار رفته در دوربین‌های انکساری، مانند دوربین گالیله، نمی‌توانند تصاویری بدون اشکال به ما بدهند، در نتیجه نیوتون تلسکوپ انعکاسی خود را ساخت که هم‌اکنون نیز قابل استفاده است.



نیوتن در جلد سوم کتاب اصول خود دست به کار بزرگی زد و آن آشتی دادن زمین با آسمان بود. او سقوط سیب از درخت را دقیقاً مانند سقوط ماه به طرف زمین می‌داند

باید توجه داشته باشیم که این آزمایش‌ها را نیوتون در زمانی انجام می‌داد که اعتقاد بر این بود که نورهای رنگی که از پنجره‌های کلیساها عبور می‌کنند چیزی شبیه رنگ کردن پارچه‌های سفید در محلول‌های رنگی است. یکی دیگر از کشفیات جالب نیوتون ایجاد «حلقه‌های نیوتون» است که از قرار دادن یک عدسی محدب روی یک شیشه تخت به دست می‌آید.

امروزه در آزمایشگاه‌های اپتیک با این کار طول موج نور را به دست می‌آورند و حلقه‌های تداخلی آن بسیار زیباست، نکته جالب این است که نیوتون با تئوری موجی نور به شدت مخالف بود. شاید دلیل این مخالفت بیشتر از آن جهت بود که نمی‌توانست حرکت مستقیم‌الخط نور را توجیه کند. از این رو برای توجیه حلقه‌های نیوتون دست به ایجاد یک تئوری بسیار پیچیده زد.



کسی که با نظرات نیوتون دربارهٔ جنس و ماهیت نور مخالفت می کرد، هویگنس، فیزیکدان هلندی، بود. البته در اینجا حق با هویگنس بود و نیوتون اشتباه می کرد. نیوتون در اواخر عمر خود بیشتر به دنبال کارهایی رفت که دیگر جنبهٔ علمی نداشت، بلکه بیشتر کارهای اجرایی بود؛ به عنوان مثال مدیریت ضرابخانه و ریاست پلیس لندن و حتی نمایندگی مجلس. نیوتون، این نابغهٔ بزرگ، سرانجام در سال ۱۶۹۶ م در لندن و در ۸۵ سالگی چشم از جهان فرو بست.

آلبرت اینشتین^{۲۵} در پیش گفتار چاپی از کتاب «نور ساخت» نیوتون از نیوتون با این عبارت قدردانی کرده است:

«نیوتون، آزمایش، نظریه پردازی و مکانیک را به تنهایی در شخصیت خود ترکیب کرده و همچون یک هنرمند آن‌ها را به زیبایی به نمایش می‌گذارد.»

پی‌نوشت‌ها

1. Issac Newton
2. Lincolnshire
3. William Stukely
4. Handle
5. Trinity College
6. Subsize

۷. منظور نیوتون بسط دوجمله‌ای $(a + b)^n$ معروف به بینم نیوتون است. یعنی

$$(a + b)^n = a^n + nba^{n-1} + \dots$$

کشف این دو جمله را به حکیم عمر خیام نیز نسبت داده‌اند.

8. Robert Hooke
9. Gottfried Leibniz
10. Christiaan Huygens
11. Philosophiae naturalis principia mathematica

این مجموعه که خود از سه کتاب تشکیل شده است به اختصار Principia (اصول) نامیده می‌شود.

12. Nicolaus Copernicus
13. Johannes Kepler

۱۴. این رابطه به صورت زیر فرمول‌بندی شده است.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

15. Edmond Halley

۱۶. هوک معتقد بود قانون عکس مجذوری را او کشف کرده است.

۱۷. منظور از اندازه حرکت همان تکانه است که از حاصل ضرب جرم جسم در سرعت جسم به دست می‌آید و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p = mv$$

18. Galileo Galilei
19. René Descartes

20.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} + v \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

۲۱. توجه کنید که جملهٔ آخر این تساوی شامل تغییر جرم متحرکی مانند موشک یا یک شهاب‌سنگ در حال سوختن در اثر برخورد با اتمسفر زمین است.

۲۲. استاد مکانیک ما در دانشگاه تهران به شوخی می‌گفت خود نیوتن هم به اهمیت قانون عمل و عکس‌العمل پی نبرده است!

۲۳. قطر زمین در استوا اندکی بیشتر از قطر زمین در قطب‌هاست.

24. OPTICKS

25. Albert Einstein

منابع

۱. فیزیک‌دانان بزرگ، ویلیام ه. کوپر، ترجمه احمد خواجه نصیر طوسی، انتشارات فاطمی
۲. سرگذشت فیزیک، جورج گاموف، ترجمه رضا اقصی، سازمان انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی.
۳. سرگذشت فیزیک نوین، میشل بیزونسکی، ترجمه لطیف کاشیگر، انتشارات فرهنگ معاصر.
۴. فیزیک و واقعیت، آلبرت اینشتین، ترجمه محمدرضا خواجه‌پور، انتشارات خوارزمی.
۵. تکامل فیزیک، آلبرت اینشتین و لئوپولد اینفلد، ترجمه احمد آرام، انتشارات خوارزمی.
۶. در آن سوی کوانت، پائوماریف، انتشارات میر (روسیه)
۷. فیزیک برای همه، ل. لاتدائو و اوکتایگاروسکی، انتشارات میر (روسیه)



مطالعه ساختار و عملکرد باتری در خودروهای الکتریکی

مریم رضی فر
کارشناس ارشد مکانیک

چکیده

با توجه به استقبال گسترده از خودروهای الکتریکی در جهان و بازارهای جهانی، نیاز به تولید این نوع خودرو با حداقل پیمایش ۵۰۰ کیلومتر در هر بار شارژ و با قیمت مناسب، بیشتر احساس می‌شود. در این مقاله به بیان پیشرفت‌ها و چالش‌های موجود در تولید باتری خودروهای الکتریکی، با دو رویکرد قیمت و عملکرد پرداخته شده است.

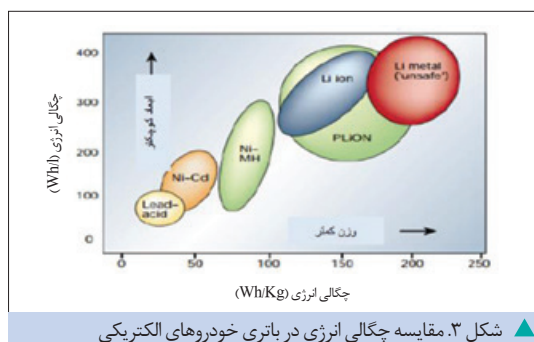
کلیدواژه‌ها: خودروی الکتریکی، مواد آند، مواد کاتد، الکترولیت، جداکننده‌ها

مقدمه

امروزه به دلیل افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از یکسو و محدود بودن منابع این سوخت‌ها از سوی دیگر، استفاده از خودروهای الکتریکی^۱ و خودروهای الکتریکی هیبریدی^۲ به سرعت در حال رشد و

توسعه است. این موضوع به حدی اهمیت دارد که برخی دولت‌ها قوانین سخت‌گیرانه‌ای در این مورد وضع کرده‌اند و در بسیاری از کشورها تولید خودرو با مصرف سوخت کمتر، مورد حمایت دولت‌ها قرار گرفته است [۱].

سال‌های ۱۹۱۲-۱۹۰۰ را می‌توان سال‌های طلایی خودروی الکتریکی برشمرد. در سال ۱۹۱۲ تعداد خودروهای الکتریکی در ایالات متحده در حدود ۳۰۰۰۰ دستگاه بود. باتری این خودروها عموماً از نوع سرب-اسید^۳ ساخته شده بود [۲]. اکنون بعد از یک قرن برتری موتورهای احتراقی، لازم بود که سیستم حمل و نقل متحول گردد. به این ترتیب در سال ۲۰۱۶، در حدود ۱۶۰۰۰۰ دستگاه خودروی الکتریکی پلاگین هیبریدی^۴ در ایالات متحده وارد بازار شد. باتری‌های نیکل متال هیدرید^۵، اولین انتخاب برای خودروهای هیبریدی بودند، در حالی که، امروزه خودروهای الکتریکی پلاگین هیبریدی، از باتری‌های لیتیوم یونی جهت نیروی پیش‌رانش استفاده می‌کنند [۳]. در (شکل ۱) خودروی الکتریکی پلاگین هیبریدی نشان داده شده است.



خودروهای الکتریکی، برخلاف خودروهای هیبریدی و خودروهای پلاگین هیبریدی که از ترکیب موتور الکتریکی و بنزینی در کنار هم بهره می‌برند، صرفاً از موتور الکتریکی جهت نیروی پیش‌رانش استفاده می‌کنند. اشکال عمده این نوع خودروها، وابستگی صددرصدی خودرو به نوعی باتری است که ظرفیت و چگالی آن با سوخت‌های طبیعی قابل قیاس نمی‌باشد. در خودروهای الکتریکی مسافت پیموده شده طی هر بار شارژ، کمتر از مسافتی است که خودرو موتور احتراق داخلی طی می‌کند.

اولین و اساسی‌ترین تفاوت بین خودروهای هیبریدی و پلاگین هیبریدی در اندازه باتری آن‌هاست. حجم باتری در خودروهای پلاگین هیبریدی بزرگ‌تر از باتری خودروهای هیبریدی است. زیرا، در خودروهای پلاگین هیبریدی، پیش‌راننده برقی تأمین‌کننده اصلی نیرو محرکه و قدرت خودرو است و پیش‌راننده بنزینی به عنوان یک ژنراتور عمل می‌کند. نکته دیگری که سبب افزایش جذابیت این خودروها شده، قابلیت شارژ خودرو حین ترمزگیری و امکان شارژ باتری از طریق دوشاخه‌های مخصوص در ایستگاه‌های شارژ و یا امکان شارژ آن‌ها در منزل است. علاوه بر اینکه با اتمام شارژ برقی خودرو، پیش‌راننده بنزینی وارد کار می‌شود و علاوه بر تأمین نیروی محرکه، باتری خودرو را نیز شارژ می‌کند.

کوچک‌ترین واحد سازنده باتری خودروی الکتریکی، سلول الکتروشیمیایی است؛ سلولی متشکل از دو الکتروود مثبت و منفی و غوطه‌ور در الکتrolیت که فرایند شارژ و تخلیه در آن، با الحاق و آزادسازی یون لیتیم بین دو الکتروود انجام می‌گیرد. از زمانی که باتری‌های لیتیم یونی حالت تجاری پیدا کردند مواردی نظیر ظرفیت ویژه بالا، پتانسیل بالای تخلیه بر حسب Li/Li^+ ، ایمنی بالا، چگالی بالا، سینتیک سریع و حفظ ظرفیت بالا، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. تفاوت در چگالی انرژی باتری‌های مختلف، به ساختار شیمیایی الکتروودها مربوط می‌شود.

۲. ساختار باتری‌های لیتیم یونی مواد آند

امروزه استفاده از مواد کربنی و به‌طور ویژه گرافیت‌های مصنوعی یا سنتزی (SGs)، گرافیت‌های طبیعی (NGs) و همچنین کربن‌های بی‌شکل (سخت و نرم)، به عنوان مدرن‌ترین



در سال ۲۰۱۷، دپارتمان انرژی آمریکا اعلام کرد که نفوذ و دستیابی به بازار و تولید انبوه، با تولید باتری‌هایی با امکان ارائه ظرفیت پیمایش حداقل 235 Wh/kg یا 500 Wh/l ، توأم با کاهش قیمت آن، به ازای هر یک باتری امکان‌پذیر است [۴]. برای دستیابی به اهداف مورد انتظار در انرژی و هزینه تولید باتری خودروهای الکتریکی، می‌بایست کل زنجیره ارزش شامل فرآوری یا پردازش مواد، تولید اجزا، تولید سلول، تولید ماژول، مونتاژ بسته، یکپارچه‌سازی خودرو، بازیافت یا زندگی دوباره (این اصطلاح به سبب امکان بهره‌گیری از باتری‌های مستعمل خودرو در سایر تجهیزات نظیر کامپیوترها یا دستگاه‌های پزشکی به کار برده می‌شود) می‌باشد [۳].



اتصال سری و موازی سلول‌های الکتروشیمیایی موجود در باتری، ظرفیت و ولتاژ مورد نیاز سیستم را فراهم می‌سازند. هر سلول متشکل از الکتروود مثبت، الکتروود منفی و الکتrolیت است و در آن حرکت الکترون‌های آزاد شده طی واکنش شیمیایی، منجر به ایجاد جریان الکتریکی می‌شود. در (شکل ۳)، چگالی انرژی و سیر تحولی انواع باتری‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، باتری‌های سرب-اسیدی (LABs) و نیکل کادمیوم (Ni-Cd) در حالی که حجم و وزن بیشتری داشتند، از چگالی انرژی پایین‌تری برخوردار بودند. بر پایه تحقیقات انجام شده با وجود اینکه استفاده از باتری‌های نیکل-هیدرید فلز^۶ بسیار مرسوم است ولی باتری‌های لیتیم یونی که در سه دسته لیتیم یونی^۷، پلیمر لیتیم یون^۸ و لیتیم فلزی^۹ قرار دارند با دوبرابر بازده، چگالی انرژی بیشتری را فراهم می‌سازند که به این ترتیب با توجه به حجم کوچک، وزن سبک و قیمت مناسب، گزینه مناسبی جهت استفاده در خودروهای الکتریکی قابل شارژ محسوب می‌شوند [۵].

خودروهای الکتریکی، برخلاف خودروهای هیبریدی و خودروهای پلاگین هیبریدی که از ترکیب موتور الکتریکی و بنزینی در کنار هم بهره می‌برند، صرفاً از موتور الکتریکی جهت نیروی پیش‌رانش استفاده می‌کنند

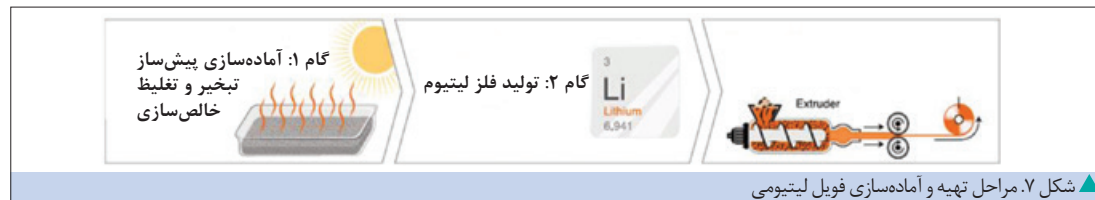
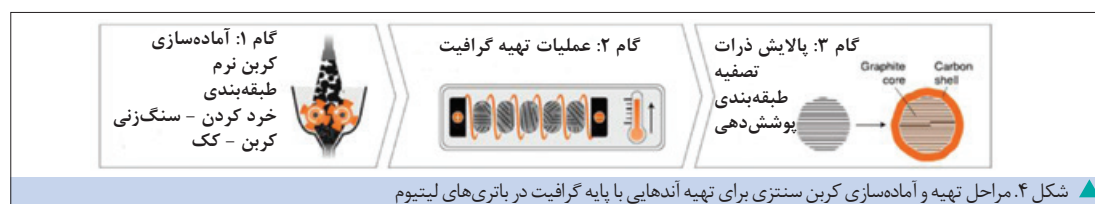
کوچک ترین واحد سازنده باتری خودروی الکتریکی، سلول الکتروشیمیایی است؛ سلولی متشکل از دو الکترود مثبت و منفی و غوطه‌ور در الکترولیت که فرایند شارژ و تخلیه در آن، با الحاق و آزادسازی یون لیتیوم بین دو الکترود انجام می‌گیرد

آن سیلیکات، ترکیبات سدیم، پتاسیم و گوگرد است. سپس جهت آماده‌سازی و تولید گرافیت کروی (در ابعاد میکرومتر)، از یک روش آردسازی پیشرفته بهره گرفته می‌شود. آماده‌سازی مکانیکی همراه با فرایندهای افزایش خلوص که شامل شست‌وشو با هیدروفلوریک اسید و عملیات حرارتی تا ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است به کاهش ناخالصی آن به کمتر از ۵۰۰ درصد در میلی‌یون (PPM) کمک می‌کند. در نهایت نیز ذرات پالایش شده و عملیات پوشش‌دهی انجام می‌گیرد. فرایند پوشش‌دهی کربن از مهم‌ترین و مؤثرترین مراحل بوده و انجام صحیح آن، عملکرد مناسب مواد را در پی خواهد داشت.

اطلاعات موجود جهت تهیه کربن-سیلیس c-si یا ترکیب اکسید سیلیسیوم-سیلیس-کربن ($\text{SiO}_x\text{-Si-C}$)، در مقیاس آزمایشگاهی است و اطلاعات زیادی در مورد محصولات تجاری تولید شده در دسترس نیست. اطلاعات موجود حاکی از آن است که درصد بسیار کمی در حدود کمتر از ۵ درصد وزنی از این مواد به آند افزوده می‌شود. نانو ذرات سیلیس غالباً طی فرایند سنتز توسط پلاسما مانند پیرولیز (حرارت دادن مواد در غیاب اکسیژن) تهیه می‌شوند. در این مرحله SiO_x یا Si، طی واکنش فاز گازی و یا هیدرولیز SiCl_4 تهیه می‌شود. در مرحله دوم، طی مراحل مخلوط شدن با گرافیت و کربونیزاسیون، مواد فعال بر پایه سیلیس آماده‌سازی شده و در زمینه کربن مستقر می‌شود و در مرحله پایانی با کاهش سطح ویژه طی فرایند اصلاحی پوشش‌دهی کربن، آماده واکنش با الکترولیت می‌شوند. در (شکل ۶) نمایی از مراحل تهیه افزودنی سیلیس نشان داده شده است. همان‌طور که در (شکل ۷) مشاهده می‌شود، تهیه فلز لیتیوم

مواد برای الکترود منفی مورد توجه قرار گرفته‌اند. معمولاً در باتری‌های لیتیومی، مخلوطی از کربن‌های بی‌شکل و گرافیتی جهت بهینه‌سازی خواصی نظیر نسبت قدرت به انرژی (P:E) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه مراحل تهیه اجزای آند شامل کربن سنتزی و طبیعی، سیلیس و فویل لیتیومی شرح داده شده است. در شکل ۴ مراحل تهیه و آماده‌سازی کربن سنتزی برای تهیه آندهایی با پایه گرافیت در باتری‌های لیتیومی نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به نحوه ساخت این باتری‌ها در انحصار شرکت‌های سازنده است و دستیابی به اطلاعات و جزئیات آن‌ها تقریباً غیرممکن است. فرایند تهیه کربن سنتزی^۱ شامل سه مرحله اصلی است. مرحله اول، آماده‌سازی مواد اولیه، شامل تبدیل کک به کربن نرم طی فرایند تکلیس با دمایی بین ۱۲۰۰-۸۰۰ °C است. سپس کربن نرم به دست آمده طی فرایند آردسازی و خرد کردن آماده‌سازی می‌شود و ذرات آن بر حسب میکرومتر جداسازی می‌شوند. سپس گرافیت نرم حاصله برای بار دوم در دمایی بین ۲۴۰۰-۲۵۰۰ °C برای چند روز تا یک هفته تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند که این مرحله شامل فاز سرد کردن نیز می‌باشد. در مرحله آخر نیز، فرایندهای پالایش مکانیکی ذرات، سنگ‌زنی، طبقه‌بندی و در نهایت پوشش‌دهی برای بهینه‌سازی نهایی ذرات به کار گرفته می‌شود [۳].

مطابق (شکل ۵)، کربن طبیعی از سنگ معدن گرافیت طی چندین مرحله عملیات جداسازی و غلظت بخشیدن به ذرات گرافیت ورقه‌ای و در نهایت فرایند فلوئاسیون (روشی برای افزایش عیار کانی) حاصل می‌شود. به این ترتیب گرافیتی با درصد خلوص حدود ۹۵٪ به دست می‌آید که عمده ناخالصی‌های



قادر است ظرفیت ویژه را افزایش دهد معرفی شده است، ولی افزایش مقدار منگنز در ساختار آن سبب ایجاد تمایل به تغییر از حالت لایه‌ای به ساختار اسپینل شده که این تغییر و تبدیل، کاهش ولتاژ و ظرفیت باتری را به دنبال دارد. در (شکل ۸) مراحل سنتز اکسیدهای فلزی واسطه نشان داده شده است.

اکسیدهای لایه‌ای با ترکیبات فسفات فلزی واسطه، طی یک واکنش تهنشینی، مخلوط می‌گردند. طی این فرایند، محلول آبی از نمک‌های فلزی واسطه مانند MSO_4 و پایه آن مانند NaOH و Na_2CO_3 و سورفکتانت (عامل فعال سطح) NH_4OH به‌طور مداوم به تانک حاوی عوامل واکنش پمپ می‌شوند که طی آن هیدروکسید فلزی یا کربنات تهنشین می‌شود. بعد از جداسازی و شست‌وشوی مکرر، مواد خشک شده و غربال می‌شوند سپس با نمک لیتیوم با مقادیر استوکیومتری مشخص مخلوط می‌گردند. آن‌گاه، خواص مطلوب محصول طی تکلیس با دمای 950°C - 650°C شکل می‌گیرد. در نهایت نیز، طی مراحل از کلوخه شدن مواد پودری جلوگیری شده و ممکن است جهت برقراری اتصال بین الکتروده و الکترولیت، مواد تحت آماده‌سازی سطحی نیز قرار گیرند [۳].

الکترولیت‌ها و جداکننده‌ها

باتری‌های لیتیوم یونی تجاری دارای الکترولیت با پایه هگزافلورفسفات لیتیوم (LiPF_6)، به‌صورت نمک حل شده در مخلوط حلال‌های کربنات آلی می‌باشند. جهت بر خورداری از بیشترین هدایت یونی، غلظت نمک به‌کار رفته را معمولاً در محدوده $1/5 - 1/8$ مول بر لیتر انتخاب می‌کنند. افزودنی‌های الکترولیت به منظور بهبود عملکرد الکترولیت به‌کار گرفته می‌شود و معمولاً جهت جلوگیری از تغییر در ساختار و ترکیبات الکترولیت، درصد وزنی این افزودنی‌ها حدود 5% وزنی الکترولیت را تشکیل می‌دهد. در میان مواد مختلف، استفاده از کربنات حلقوی نظیر کربنات اتیلن (EC) به‌عنوان مواد افزودنی الکترولیت متداول تر است. مطابق (شکل ۹) و طی مسیر C_1 ، پس از سنتز متانول، دی‌متیل کربنات (DMC) از اکسیداسیون و کربونیل‌اسیون متانول حاصل می‌شود. دی‌اتیل کربنات (DEC)، نیز حاصل واکنش (DMC) با اتانول است. همچنین دو کربنات آلی خطی متقارن (DMC) و (DEC) نیز در حضور کاتالیست به اتیل متیل کربنات (EMC) تبدیل می‌شوند. طی مسیر C_2 ، اتیلن طی اکسیداسیون کاتالیزوری به اکسید اتیلن تبدیل شده و پس از واکنش با CO_2 ، محصول تجاری (EC) حاصل می‌شود. به این ترتیب کربنات‌های آلی از مسیر C_1 یا

در فرایندی از تبخیر و تغلیظ محلول نمکی LiCl حاصل می‌شود. الکترولیز LiCl با خلوص بالا، منجر به تولید فلز لیتیوم شده و در نتیجه تقطیر، ناخالصی‌هایی با نقطه ذوب پایین‌تر نظیر سدیم (Na) حذف می‌گردند. مرحله بعد شکل‌دهی فلز لیتیوم به فویل لیتیوم است که طی فرایندهایی نظیر اکستروژن و نورد انجام می‌گیرد. ضخامت فویل لیتیوم حاصل کمتر از 100 میکرومتر است و کنترل ضخامت در این فرایند حائز اهمیت می‌باشد. در نهایت نیز فویل لیتیومی به‌طور معمول با یک لایه غیرفعال تثبیت می‌گردد، این لایه عموماً طی فرایندهای آماده‌سازی سطحی با گاز، فلوراسیون و یا با لایه‌ای از پوشش واکس پلی‌اتیلن ایجاد می‌شود. در حالی که بهای شمش فلز لیتیوم $50 - 130$ دلار امریکا به‌ازای هر کیلوگرم است بهای فویل نازک با ضخامت کمتر از 100 میکرومتر در حدود $300 - 400$ دلار امریکا می‌باشد. این قیمت با توجه به نوع فرایند تولید تبخیر، لایه نشانی بخار و اکستروژن یا نورد متفاوت است [۳].

مواد کاتد

در ساختار باتری‌های لیتیوم یونی، معمولاً مواد به‌کار رفته در کاتد از بیشترین وزن و قیمت برخوردار است و معمولاً نام‌گذاری باتری‌ها بر اساس ماده به‌کار رفته در کاتد انجام می‌شود [۴]. همگام با رشد بالای تکنولوژی ساخت باتری، انواع کاتدهای اکسید لایه‌ای نوع LiMO_2 که در آن‌ها فلز (M) شامل (نیکل، کبالت و منگنز) یا (نیکل، کبالت و آلومینیوم) است به‌طور گسترده به‌عنوان مواد فعال مثبت در باتری‌های خودرو به‌کار گرفته شده‌اند. به‌طور کلی، استفاده از نیکل در ساختار کاتد ظرفیت بالاتری را فراهم می‌سازد و استفاده از ترکیب نیکل، کبالت و آلومینیوم در ساختار کاتد، فوایدی نظیر حفظ ظرفیت و تمایل کمتر به تجزیه‌شدن را دارد. استفاده از کاتد با نیکل غنی، به دلیل واکنش‌پذیری بالاتر ممکن است طی سنتز نیاز به افزودنی‌هایی نیز داشته باشد. بهینه‌سازی اجزا با انتخاب ترکیب ماده پوشش‌دهنده و انتخاب فرمولاسیون مناسب برای الکترولیت از پارامترهای کلیدی برای مواد به‌کار رفته در کاتد محسوب می‌شود.

دست‌یابی به چگالی انرژی بالاتر برای اکسیدهای لایه‌ای همراه با حفظ طول عمر و ایمنی، از طریق سنتز ذرات (نیکل، کبالت و منگنز) کروی با هسته نیکل غنی و پوسته غنی منگنز بسیار امیدبخش بوده است. در این ساختار، ذرات نیکل غنی به‌عنوان هسته، سبب ایجاد ظرفیت بالا و پوسته غنی منگنز، پایداری در برابر الکترولیت را فراهم می‌کند. ترکیب لیتیوم غنی به همراه اکسیدهای منگنز غنی، به‌عنوان ساختاری که

در ساختار باتری‌های

لیتیوم یونی،

معمولاً مواد

به‌کار رفته

در کاتد از

بیشترین

وزن و قیمت

برخوردار

است و معمولاً

نام‌گذاری

باتری‌ها بر

اساس ماده

به‌کار رفته در

کاتد انجام

می‌شود



دست یابی به
چگالی انرژی
بالا تر برای
اکسیدهای
لایه ای همراه با
حفظ طول عمر و
ایمنی، از طریق
سنتز ذرات
(نیکل، کبالت
و منگنز) کروی
با هسته نیکل
غنی و پوسته
غنی منگنز
بسیار امیدبخش
بوده است

خشک تهیه می شوند که تولید آن ها طی مراحل اکستروژن مذاب، عملیات حرارتی آنیل کردن، کشش تک محوری یا چندمحوری و سپس تهیه رول انجام می گیرد. در فرایند مرطوب این مراحل شامل تهیه محلول پلیمر، اکستروژن، خارج نمودن حلال و کشش است [۳].

امروزه استفاده از الکترولیت های جامد به جای حلال های آلی مضر، مورد توجه قرار گرفته است. به خصوص اینکه الکترولیت های جامد در ساختار باتری می توانند به طور همزمان دو نقش الکترولیت و لایه جداکننده را ایفا کنند. الکترولیت های جامد، در دو گروه اصلی طبقه بندی می شوند.

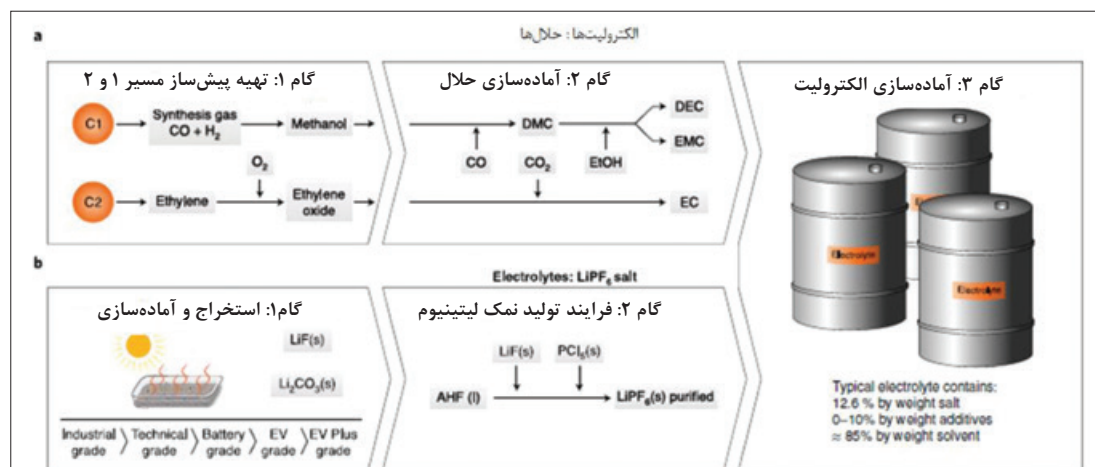
۱. الکترولیت های جامد پلیمری
۲. الکترولیت های جامد غیر آلی (دارای ساختار کریستالی، شیشه ای و شیشه-سرامیکی)

باتری های خودروهای الکتریکی، در محدوده دمایی 80°C - 60°C ، بهترین عملکرد را دارند. بنابراین سطح انرژی قابل استفاده در باتری، به دلیل هدایت ضعیف الکترولیت های جامد پلیمری در دماهای پایین، کاهش می یابد. چالش اصلی، ایجاد تطابق میان الکترولیت های جامد و حفظ واکنش سطحی در طول چرخه است. اخیراً الکترولیت های جامد غیر آلی، به صورت سلول هایی با فیلم های نازک، بر پایه اکسی نیتريد فسفر لیتیومی (LIPON)، ساخته شده اند، ولی قیمت بالای آن ها مانع نفوذ و گسترش آن ها در بازار شده است. مقدار بالای لیتیوم در الکترولیت های جامد از مهم ترین علل بالا بودن قیمت آن ها است؛ بنابراین هنوز نیاز به توسعه و پیشرفت دارد [۳].

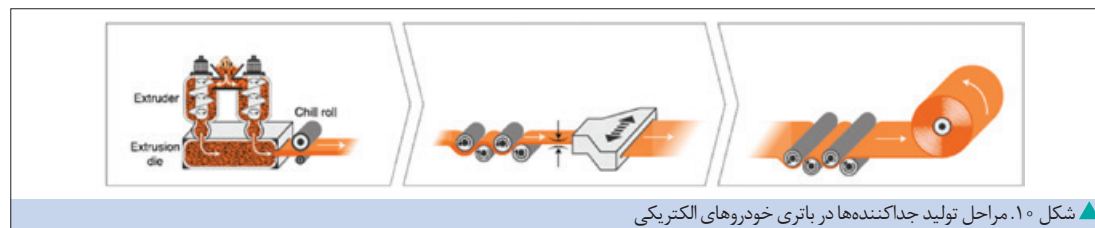
C_4 طی واکنش های کراکینگ (فرایندهایی جهت کاهش وزن مولکولی هیدروکربن ها) به دست می آیند. نمک لیتیوم (LiPF_6)، بخش اصلی هزینه های مربوط به الکترولیت های پایه کربنات را تشکیل می دهد. LiPF_6 محصول واکنش پیش ساز فلوراید لیتیوم (حاصل از تقطیر و تغلیظ)، با پنتا کلراید فسفر در فلوراید هیدروژن بدون آب (AHF) است که با خلوص های مختلف در باتری خودروهای الکتریکی به کار گرفته می شود [۳].

در باتری های لیتیوم-یونی با الکترولیت مایع، وجود غشاء میان الکترودهای مثبت و منفی به منظور جلوگیری از اتصال کوتاه اجتناب ناپذیر است. از نظر فنی چهار نوع مختلف غشای جداکننده وجود دارد که از نظر ساختار شیمیایی و نوع فرایند تولید با یکدیگر متفاوت اند.

۱. غشاء های میکرومتخلخل^{۱۲}
۲. نسوج بافته نشده^{۱۳}
۳. غشاهای جداکننده پوشش داده شده با سرامیک^{۱۴}
۴. غشای جامد غیر آلی (موادی نظیر الکترولیت های پلیمری و یا ترکیبی که در ترکیب با الکترولیت همان عملکرد را دارند. اکثر غشاء های میکرومتخلخل، بر پایه پلی اولفین ها^{۱۵} به صورت تک لایه و چند لایه طراحی می شوند. پوشش دهی غشاء های میکرومتخلخل و نسوج بافته نشده با سرامیک، سبب مقاومت آن ها در برابر حرارت و افزایش ایمنی در آن ها می شود. همچنین ذرات سرامیک سبب بهبود خاصیت ترشوندگی^{۱۶} غشاء نیز می شوند. با وجود معماری چند لایه، ضخامت غشاء های جداکننده کمتر از $20\ \mu\text{m}$ میکرون است. مطابق (شکل ۱۰)، غشاهای تک لایه غالباً طی فرایند



▲ شکل ۹. مراحل تهیه الکترولیت در باتری های لیتیوم یونی



۳. اساس کار در باتری‌های لیتیوم یونی

باتری‌های لیتیوم یونی متشکل از اجزای فعال نظیر الکترود مثبت، الکترود منفی و الکترولیت حاوی نمک لیتیوم، و اجزای خنثی شامل جداکننده، چسب‌ها، افزودنی‌های هادی، جمع‌کننده جریان، ضریب دمایی مثبت^{۱۷} (PTC) و شیر اطمینان^{۱۸} می‌باشند در ادامه شرح مختصری پیرامون آن‌ها ارائه می‌گردد.

۱. الکترود مثبت معمولاً جایگاهی برای جای‌گیری یون‌های لیتیوم و انتشار آن‌هاست، و همین تا حد زیادی عملکرد کلی باتری را تعیین می‌کند. در حال حاضر، متداول‌ترین مواد الکترود مثبت عبارت‌اند از لیتیوم کبالت اکساید، لیتیوم منگنز اکساید، فسفات آهن-لیتیوم و ترکیبات سه‌تایی آن‌ها نظیر نیکل، کبالت، منگنز و نیکل، کبالت، آلومینیوم، در ترکیب با اکسیدهای فلزی.

۲. مواد فعال تشکیل‌دهنده الکترود منفی شامل ماده خمیر شکل کربنی، اتصال‌دهنده و محلول آلی است که به‌صورت یک پوشش نازک روی فلز مس مستقر می‌باشد. البته در انواع جدید باتری‌ها سریع شارژ‌شونده، از لیتیوم تیتانیوم اکساید ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{13}$) به‌عنوان ماده الکترود منفی استفاده می‌شود.

۳. جهت جداسازی الکترودها بین الکترود مثبت و منفی از جداکننده استفاده می‌شود که تنها یون‌های لیتیوم مجاز به عبور از آن هستند و معمولاً از یک فیلم میکرومتخلخل از جنس پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن ساخته شده است.

۴. الکترولیت متشکل از ترکیبی از نمک لیتیوم و محلول‌های آلی با قابلیت گزینشی بالا برای یون‌هاست و از نظر شیمیایی در برابر مواد فعال پایدار است و قابلیت تطبیق با تغییرات ناشی از واکنش‌های اکسایشی شدید انجام شده حین شارژ و تخلیه را دارد.

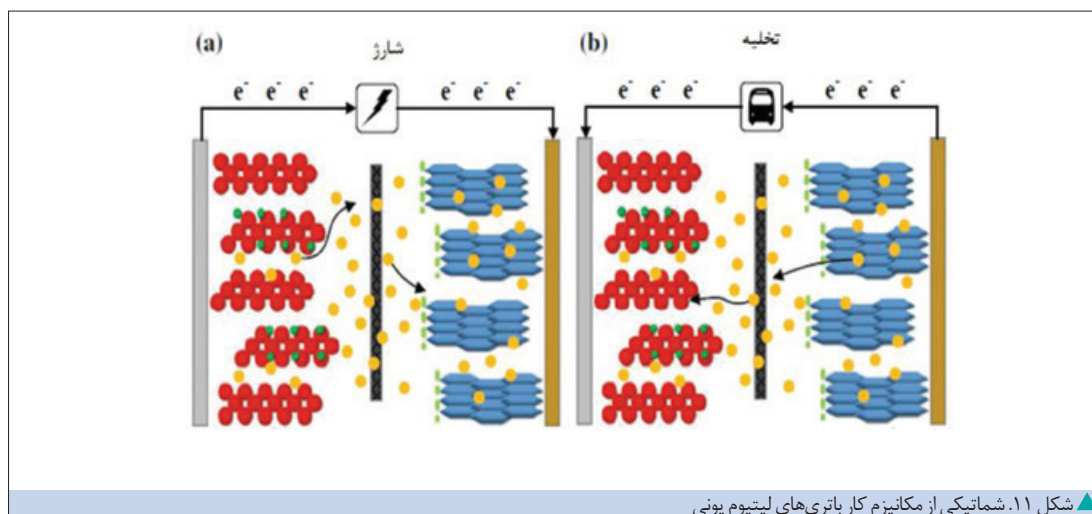
۵. باتری‌های لیتیوم یونی عموماً دارای جریان غیرعادی هستند، بنابراین استفاده از ضریب دمایی مثبت (PTC) به جهت اطمینان از ایمنی و جلوگیری از افزایش دمای داخلی است. استفاده از شیر اطمینان به‌طور مؤثری مانع افزایش فشار و ایجاد

پارگی و گسیختگی در آن می‌گردد.

در باتری‌های لیتیوم یونی، معمولاً آند از جنس اکسیدهای فلزی و یا گرافیت است و الکترودها توسط جداکننده از هم جدا می‌شوند. در هر سمت الکترود یک جمع‌کننده جریان تعبیه شده است که این جزء در سمت الکترود منفی از جنس مس و در سمت الکترود مثبت از جنس آلومینیوم است. آلومینیوم به‌کار رفته در سمت کاتد، با ایجاد یک لایه محافظ از خوردگی آن جلوگیری می‌کند. جداکننده به‌کار رفته در باتری، به‌منظور انتقال یون لیتیوم باید متخلخل باشد تا حرکت یون‌های لیتیوم از آند به کاتد و برعکس به آسانی انجام گیرد. علاوه بر آن، جداکننده ضمن آنکه کمک می‌کند که الکترولیت در فضای بین دو الکترود باقی بماند، از تماس الکترودها و ایجاد اتصال کوتاه در باتری نیز جلوگیری می‌نماید.

در طی شارژ شدن باتری، یون‌های لیتیوم از قطب مثبت به سمت الکترولیت حرکت می‌کنند و به سبب غلظت بالای یون‌ها در الکترولیت و در مجاورت قطب مثبت، اختلاف غلظت یون‌ها سبب حرکت آن‌ها به سمت الکترود منفی می‌شود و سرانجام نیز پس از عبور از لایه جداکننده به الکترود منفی الحاق می‌شوند. در همان لحظه در مدار خارجی، الکترود از الکترود مثبت به الکترود منفی جریان می‌یابد و به این طریق روند شارژ باتری تحقق می‌یابد. به این ترتیب، الکترود منفی طی واکنش کاهشی الکترودها را دریافت می‌کند و الکترود مثبت طی واکنش اکسیداسیون الکترود از دست می‌دهد (عکس این فرایند طی تخلیه رخ می‌دهد). طی تخلیه باتری، یون‌های لیتیوم از الکترود منفی دفع و در الکترود مثبت مستقر می‌شوند و به این ترتیب در مدار خارجی الکترودها از الکترود منفی به الکترود مثبت حرکت می‌کنند که طی آن روند تخلیه و حرکت خودرو فراهم می‌شود. به این ترتیب، الکترود منفی طی واکنش اکسیداسیون الکترود از دست می‌دهد و الکترود مثبت نیز طی واکنش کاهشی الکترود دریافت می‌کند. در شکل ۱۱ شماتیک نحوه کار باتری‌های لیتیوم یونی ارائه شده است.

**مواد فعال
تشکیل‌دهنده
الکترود منفی
شامل ماده
خمیر شکل
کربنی،
اتصال‌دهنده
و محلول
آلی است که
به‌صورت یک
پوشش نازک
روی فلز مس
مستقر می‌باشد**



▲ شکل ۱۱. شماتیکی از مکانیزم کار باتری‌های لیتیوم یونی

۴. عوامل تأثیرگذار بر عملکرد باتری‌های لیتیوم

یونی

عوامل متعددی نظیر مقاومت درونی، وضعیت شارژ و دما بر عملکرد باتری لیتیومی تأثیر گذارند که به شرح مختصری پیرامون آن‌ها پرداخته شده است.

مقاومت درونی عبارت از مجموع مقاومت‌های درونی و مقاومت یونی است و به‌عنوان نیروی مخالف جریان در داخل باتری تعریف می‌شود. مقاومت درونی، در عمل به ساینز باتری، خواص شیمیایی، میزان چرخه‌های سیکل‌گذاری شده، دما و جریان تخلیه بستگی دارد. مقاومت الکتریکی، مقاومت مواد فعال و اجزای داخلی باتری است که در تماس با یکدیگر قرار دارند. تأثیر مقاومت الکتریکی بسیار سریع بوده و تنها چند میلی‌ثانیه پس از اعمال بار به باتری ظاهر می‌گردد. مقاومت یونی، مقاومت در برابر جریان در داخل باتری است که به دلیل عوامل مختلف الکتروشیمیایی مثل هدایت الکترولیت، تحرک یون‌ها و مساحت سطح الکترودها پدیدار می‌شود. این آثار پلازاسیون بسیار آهسته‌تر از مقاومت الکتریکی رخ می‌دهد.

هرچه مقدار وضعیت شارژ بیشتر باشد، الحاق یون لیتیوم به آند با شدت بیشتری رخ می‌دهد و به دلیل محتوی انرژی بالا، دشارژ خودبه‌خودی محتمل‌تر است. به‌عبارتی واکنش‌های بیشتری رخ خواهد داد و لایه فصل مشترک جامد سریع‌تر رشد خواهد کرد. از طرفی کاتد نیز دچار تغییر شکل می‌شود، زیرا به شدت از لیتیوم تخلیه می‌شود و ناپایداری ترمودینامیکی را تجربه می‌کند. افزایش وضعیت شارژ باعث اکسیداسیون الکترولیت و افزایش مقاومت خواهد شد که این اثر باعث اتلاف ظرفیت و کاهش توان باتری می‌گردد. فرارشارژ به معنی شارژ شدن سل در ولتاژهای بالاتر از ولتاژ مشخصه و کارکرد در بالای نقطه تنش ماکزیمم است. در این مورد، ابتدا افزایش اندکی در ظرفیت رخ می‌دهد، اما عمر باتری به شدت کاهش می‌یابد. در حین فرارشارژ، انرژی الکتریکی به داخل باتری منتقل می‌شود، اما الحاق به سختی رخ می‌دهد که به صورت افزایش شدید مقاومت درونی و اتلاف انرژی الکتریکی مشاهده می‌شود. طی وقوع فرارشارژ، تجزیه چسب و الکترولیت نیز رخ می‌دهد. تجزیه الکترولیت باعث ایجاد محصولات غیرمحلول می‌شود که خلل و فرج موجود در الکترود را مسدود می‌کند و باعث تولید گاز می‌شود. این گاز فشار درون سل را افزایش می‌دهد و به باتری آسیب می‌رساند.

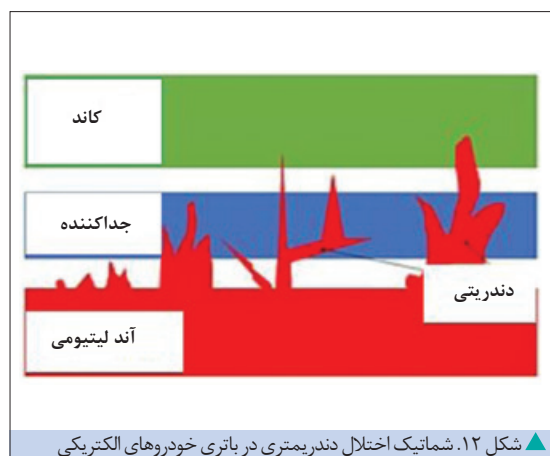
دماهای غیرایده‌آل، نرخ جریان بالا، وضعیت شارژ بالا و عمق تخلیه بالا، اثر منفی بر ظرفیت سل داشته و باعث افت عملکرد تشدیدشونده در سل لیتیوم یونی می‌شوند. دما، تأثیر زیادی در ظرفیت باتری لیتیوم یونی دارد و محدوده دمایی بهینه برای کارکرد این سل وجود دارد، به‌نحوی که در خارج از این محدوده دمایی، اتلاف ظرفیت دائمی یا موقت رخ می‌دهد. دمای بالای کارکرد سل، در ابتدا باعث افزایش توان و ظرفیت دشارژ سل لیتیوم یونی می‌شود و انرژی فعال‌سازی واکنش‌های شیمیایی را کاهش می‌دهد و همچنین باعث الحاق و عدم الحاق بیشتر می‌شود و نهایتاً باعث افزایش ولتاژ سل می‌گردد. از طرفی دماهای بالاتر یون‌های لیتیوم سریع‌تر نفوذ می‌کنند و جریان بیشتری ایجاد می‌شود. این دو اثر در مجموع باعث

وقتی باتری لیتیوم یونی برای اولین بار شارژ می‌شود، فیلم جامد رابط که الکترولیت جامد بین فاز^{۱۹} (SEI) نامیده می‌شود بین الکترولیت و در نزدیکی الکترود منفی تشکیل می‌شود که این لایه مانع خوردگی و ایجاد واکنش کاهشی بین الکترود منفی و الکترولیت می‌گردد. طی فرایند شارژ و تخلیه، لایه SEI به‌طور مداوم تشکیل شده و حل می‌شود که نتیجه آن کاهش مقدار یون‌های لیتیوم و مواد فعال است و از مهم‌ترین عوامل کاهش ظرفیت باتری به‌شمار می‌رود [۶].

از مزایای باتری‌های لیتیوم یونی در مقایسه با سایر باتری‌ها در سیر تحولی آن‌ها می‌توان به ولتاژ کاری بالا (در حدود ۳/۶ ولت)، انرژی ویژه بالا، عمر چرخه طولانی، نرخ خود تخلیه پایین (نرخ خود تخلیه در باتری‌های لیتیوم یونی در حدود ۰/۸-۰/۶٪ است در صورتی که این مقدار برای باتری‌های نیکل هیدرید فلزی در حدود ۰/۳-۰/۲٪ و برای باتری‌های نیکل کادمیوم ۰/۲-۰/۱۵٪ است)، کاهش اثر حافظه (پدیده کاهش ظرفیت باتری که در اثر شارژ مداوم باتری هنگامی که تنها بخشی از شارژ آن مصرف شده باشد ایجاد می‌شود) و قابلیت تهیه باتری‌های لیتیوم یونی در طرح‌ها و چیدمان‌های مختلف و همچنین عدم ایجاد آلودگی زیست‌محیطی اشاره نمود [۶].

هزینه تولید باتری‌های لیتیوم یونی، چندین برابر باتری‌های اسیدی و نیکل متال هیدریدی است. در حال حاضر برنامه‌های کاربردی بسیاری در زمینه کاهش هزینه‌های بالای تهیه مواد اولیه، پردازش مواد، ساخت سلول و بسته‌بندی آن‌ها در دست انجام است. علاوه بر آن، باتری‌های لیتیوم یونی به خودی خود ایمن نیستند و عواملی نظیر ایجاد اتصال کوتاه، شارژ و دشارژ بیش از حد و درجه حرارت بالا می‌تواند منجر به حوادثی نظیر آتش‌سوزی و انفجار در آن‌ها گردد، به همین دلیل، دپارتمان‌های انرژی با تمرکز بر روی هزینه، اجراء ایمنی و طول عمر باتری‌ها در صدد رفع این موانع برآمده‌اند [۷].

یکی دیگر از مشکلات باتری‌های لیتیومی حالت دندریتی یا رشد دندریتمتری مواد آند می‌باشد. طی این اختلال مواد آند به شکلی مانند انگشت رشد کرده و با نفوذ به جداکننده سبب اتصال کوتاه، شعله و انفجار باتری می‌شوند. در شکل ۱۲ شماتیک این اختلال نشان داده شده است.



شکل ۱۲. شماتیک اختلال دندریتمتری در باتری خودروهای الکتریکی

هزینه تولید
باتری‌های
لیتیوم یونی،
چندین برابر
باتری‌های
اسیدی و
نیکل متال
هیدریدی
است. در
حال حاضر
برنامه‌های
کاربردی در
بسیاری در
زمینه کاهش
هزینه‌های
بالای تهیه
مواد اولیه،
پردازش مواد،
ساخت سلول
و بسته‌بندی
آن‌ها در
دست انجام
است

1. electric vehicles (EVs)
2. hybrid electric vehicles (HEVs)
3. Lead-acid
4. Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV)
5. NiMH
6. Ni-MH
7. Li-ion
8. PLION
9. Li-Metal
10. SG
11. ??
12. porous Membranes Micro
13. Non-woven Mats
14. Ceramic coated separators
15. Polyolefins
16. Wettability
17. positive temperature coefficient
18. safety valve
19. Solid Electrolyte Interphase
20. Battery Management System
21. State of charge
22. State of health
23. State of power
24. Remaining useful life

فهرست منابع (در مقاله اصلی)

1. T. Suzuki, S. Inagaki, Y. Suzuki, A.T. Tran, Design and Analysis of Distributed Energy Management Systems, (2020).
2. T. B. Reddy, Linden's handbook of batteries, Mcgraw-hill NewYork, (2011).
3. R. Schumacher, R. Wagner, G. Hörpfe, T. Placke, M. Winter, Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries, Nature Energy, 3(4) (2018) 267-278.
4. W. Li, E. Erickson, High-nickel layered oxide cathodes for lithium-based automotive batteries, (5) (2020) 26-34.
5. Y. Mekonnen, A. Sundarajan, A Review of Cathode and Anode materials for lithium-Ion Batteries, (2016).
6. Rui Xiong, Battery Management Algorithm for Electric Vehicles, (2019) 1-310.
7. D. Andre, S. Kim, Future generations of cathode materials: an automotive industry perspective, (3) (2015) 6709-6732.
8. L. Lam, A Practical Circuitbased Model for State of Health Estimation of Li-ion Battery Cells in Electric Vehicles, Thesis (2011) 1-174.

باتری^{۲۰} یا BMS می‌گویند.

در شکل ۱۴ دیاگرام نوعی BMS که متشکل از حسگرها، اکچواتورها و الگوریتم‌های کنترلی است نشان داده شده است. که هدف اصلی آن، اطمینان از ایمنی باتری و تهیه اطلاعات پایه مورد نیاز برای کنترل و مدیریت انرژی، جهت مداخله مناسب در شرایط کاری غیرعادی است. هدف از جمع‌آوری ولتاژ، جریان، حرارت و سایر اطلاعات هر سلول باتری در زمان واقعی در مدار نمونه‌گیری، تخمین حالت شارژ باتری^{۲۱} SOC سلامت باتری^{۲۲} SOH، قدرت باتری^{۲۳} SOP باقی‌مانده عمر مفید باتری^{۲۴} RUL است. با استفاده از الگوریتم‌ها و به‌کارگیری استراتژی‌هایی جهت کنترل انرژی و توزیع توان در خودروی الکتریکی است. بنابراین هدف اصلی سیستم مدیریت باتری، جمع‌آوری اطلاعات، نظارت، ایمنی، کنترل شارژ، مدیریت انرژی، مدیریت حرارت باتری و مدیریت اطلاعات است. این اطلاعات کمک می‌کند تا خودروی الکتریکی خود را با تغییر شرایط محیطی و یا تغییرات شرایط جاده به سرعت تطبیق دهد. به این ترتیب، اختلالاتی نظیر ایجاد ولتاژ بالا، افت ولتاژ (تخلیه بیش از حد)، جریان بالا، حرارت بالا، اتصال کوتاه، قطع اتصال، نقصان عایق‌بندی و نشد الکترولیت به کمک این سیستم کنترل می‌شوند [۶].

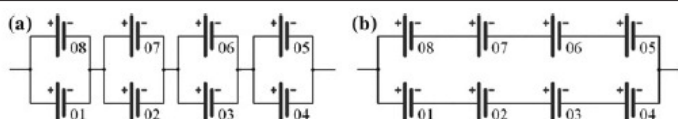
۵. چشم‌انداز تولید خودروهای الکتریکی

فناوری باتری‌های لیتیوم یونی هنوز کاستی‌های زیادی دارد، از جمله اینکه می‌توان بازه ذخیره‌سازی انرژی، چگالی قدرت و مسائل ایمنی را در این ادوات بهبود بخشید و همچنین قیمت تمام شده آن‌ها را تا حد معقولی کاهش داد. امروزه دستیابی به چگالی انرژی بیشتر از ۳۰۰ Wh/kg و تنزل قیمت آن به یک‌چهارم مقدار فعلی، برای معقول بودن بهره‌گیری از این باتری‌ها در خودروهای الکتریکی ضروری است [۸]. در دهه گذشته، در ساختار کاتد باتری‌های لیتیومی، از اکسیدهای لایه‌ای بر پایه نیکل استفاده می‌شده است. امروزه، استفاده از باتری‌های لیتیوم-فسفات آهن (LiFePO₄ (LFP)، همچنان از نظر تجاری بر سایرین غالب است و انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۲۵ و حتی زودتر دستیابی به انرژی ویژه ۳۵۰ Wh/kg در سطح سلول باتری با استفاده از کاتد با اکسید لایه‌ای و آندهای گرافیت-سیلیکون ممکن شود [۴].

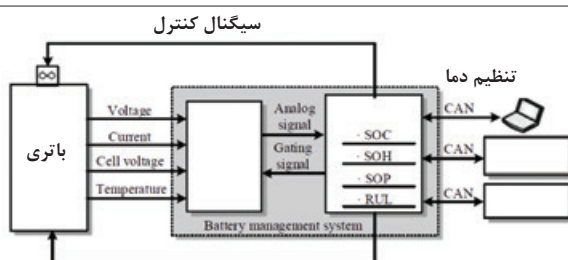
توان بالای باتری و ذخیره‌سازی بیشتر انرژی خواهد شد. در نگاه اولیه به‌نظر می‌رسد که افزایش دما اثر مثبت بر عملکرد سل دارد، اما در طولانی‌مدت، آسیب شدید به سل وارد خواهد کرد. دمای بالا باعث تخریب آهسته فصل مشترک جامد، شکستن و حل شدن آن در الکترولیت می‌شود. در نتیجه فلزات فعال آند در تماس با الکترولیت قرار می‌گیرند که باعث انجام واکنش‌های جانبی و ترمیم فصل مشترک جامد می‌گردد. از طرفی به‌واسطه دمای بالا، مواد آلی نیمه‌پایدار به مولکول‌های غیرآلی پایدار با تخلخل کمتر تبدیل می‌شوند. قسمت‌هایی از کاتد در الکترولیت حل شده و در لایه فصل مشترک جامد تجمع می‌یابند. به این ترتیب، الحاق در آند با مشکل مواجه شده و هدایت یونی کاهش می‌یابد. علاوه بر تجزیه الکترولیت در دمای بالا، جداکننده نیز تجزیه می‌شود و سبب ایجاد اتصال کوتاه می‌گردد. در دماهای بالا، چسب‌های موجود در الکترولیت و جمع‌کننده جریان نیز تجزیه شده و باعث معیوب شدن ارتباط بین چسب و جمع‌کننده جریان می‌شود و افت توان باتری را سبب می‌گردد [۸].

اتصال باتری در خودروهای الکتریکی به سه روش سری، موازی و هیبریدی (ترکیبی از سری و موازی) انجام می‌شود که نوع طراحی، بسته به توان مورد نیاز انتخاب می‌گردد. سلول‌های باتری در حالت‌های سری و موازی به ترتیب می‌توانند تقاضا برای ولتاژ و ظرفیت بالا را فراهم سازند؛ در حالت اتصال هیبریدی نیز باتری قادر خواهد بود که به‌طور همزمان تقاضای سیستم برای ولتاژ و ظرفیت بالا را تأمین نماید. در شکل ۱۳ دیاگرام اتصال سری و موازی در یک باتری خودروی الکتریکی نشان داده شده است [۶].

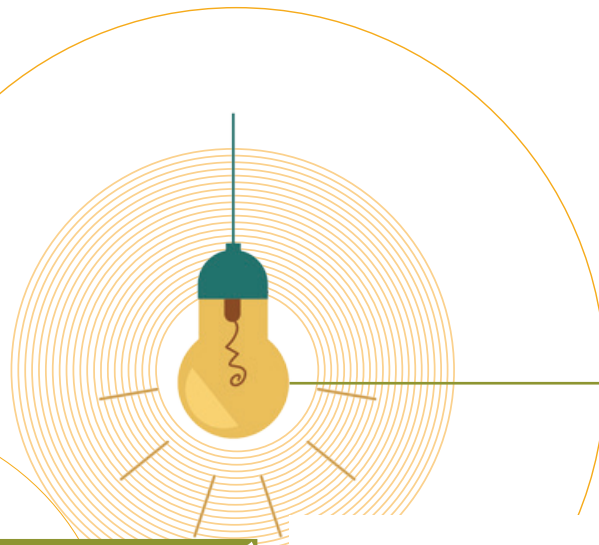
خودروی الکتریکی با میزان ظرفیت باتری بیشتر، شعاع حرکتی بیشتری را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد. به عبارت دیگر، افزایش ظرفیت باتری به معنای طی مسافت بیشتر طی یک بار شارژ باتری است. ولی دارندگان خودروی الکتریکی، هرگز کاملاً به تمام ظرفیت باتری دسترسی ندارند، زیرا به‌منظور حفظ کارایی باتری و افزایش عمر مفید آن، سیستم مدیریت خودروی الکتریکی مانع از شارژ و تخلیه ۱۰۰ درصدی باتری می‌شود. تکنولوژی کنترل و مدیریت عملکرد باتری را سیستم مدیریت



شکل ۱۳. نمایی از جایگاه باتری‌ها در خودروهای الکتریکی و دیاگرام اتصال سری و موازی در یک باتری خودروی الکتریکی



شکل ۱۴. دیاگرام سیستم مدیریت باتری (BMS)



آموزش فیزیک با دست خالی

افشین خدابخش
احمد رضا اعرابی

اشاره

این مجموعه آزمایش‌ها را که بسیار ساده و ارزان سرکلاس قابل انجام دادن است، از شماره قبل شروع کردیم و سعی بر این است که در شماره‌های بعد نیز ادامه دهیم. از تمامی همکاران، دانش‌جویان و عزیزان علاقه‌مند درخواست داریم اولاً نظرات خود را برایمان ارسال دارند و ثانیاً اگر این آزمایش‌ها و یا آزمایش‌های دیگری، مربوط به مطالب درسی کتاب‌های فیزیک دوره دبیرستان، را در کلاس درسی انجام داده‌اید فیلم‌برداری کرده و برایمان ارسال دارید. تصمیم بر این است که به قید قرعه برای عزیزان کتابی نفیس ارسال داریم.

کلیدواژه‌ها: موج عرضی، موج ایستاده، نیروی کشش سطحی، القای خاصیت مغناطیسی

۱. موج‌نما

در فیزیک (۳) دوره دبیرستان هنگامی که وارد بحث موج و انواع آن می‌شویم برای موج‌های مکانیکی علاوه بر فنر و دیپازن، کتاب به معرفی یک تشبیه موج می‌پردازد. برای این آزمایش‌ها، به یک آزمایشگاه نسبتاً مجهزی نیاز داریم.

شکل‌های ۳-۱۰ و ۳-۱۱ و ۳-۱۵ کتاب‌های درسی با کد ۹۱۲۲۰۹ (فیزیک (۳) ریاضی)

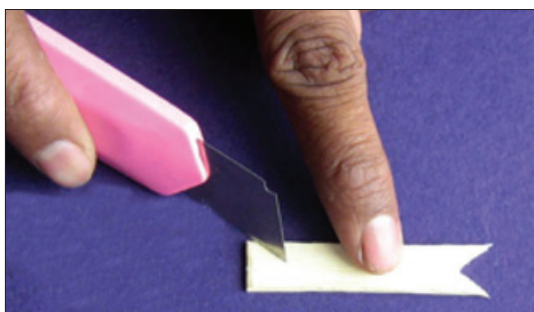
آیا می‌توان با وسایل ساده، شکلی از موج عرضی و حتی شکلی از تداخل در یک راستا موسوم به موج ایستاده را تولید کرد؟ پاسخ مثبت است. برای این کار به مقداری نخ، چوب بستنی و یک کاتر نیاز داریم (تصویر ۱).

شرح: چوب بستنی را روی میز قرار دهید و با کمک کاتر با دقت

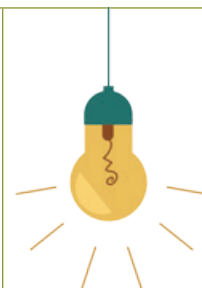
دو سر آن را به صورت حرف V ببرید (تصویر ۲).



▲ تصویر ۱

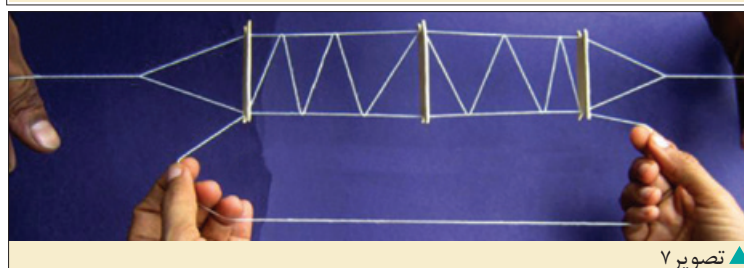
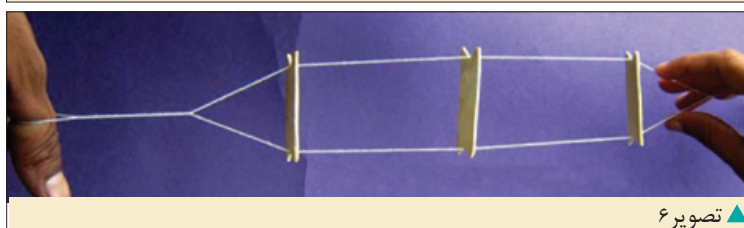
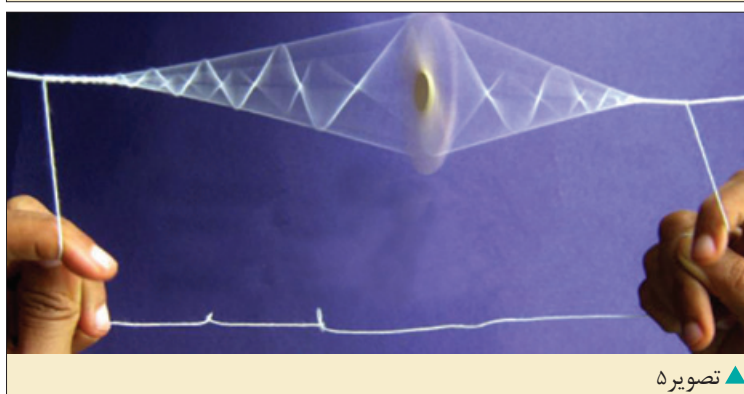
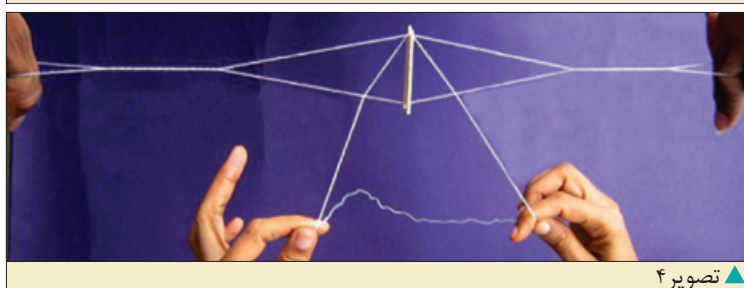
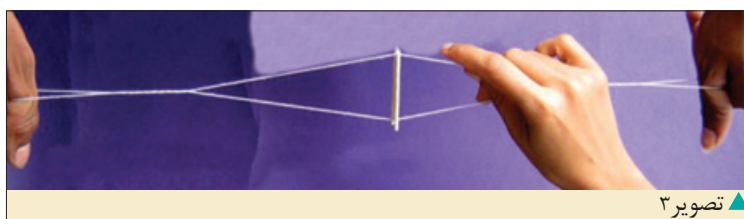


▲ تصویر ۲

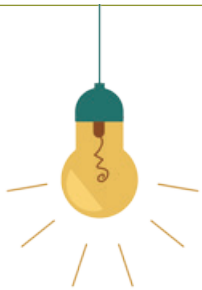


اکنون نخ را به صورت یک حلقه درآورید و چوب بستنی را که از دو طرف به صورت حرف V بریده شده است بین حلقه‌ای که چند لایه تاب خورده است قرار دهید (تصویر ۳). سپس یک حلقه نخ دیگری درست کنید و آن را مطابق آیا می‌توان با وسایل ساده‌ای شکلی از موج عرضی و حتی شکلی از تداخل در یک راستا موسوم به موج ایستاده را تولید کرد؟ تصویر (۴) در بالای چوب قرار دهید.

اکنون نخ اول را با دو دست خود بکشید و از دوستان بخواهید حلقه نخ دوم را بکشند و رها کند. با حرکت و چرخش حلقه اول شکلی از موج را بین چوب بستنی و کناره‌های نخ مشاهده خواهید کرد (تصویر ۵). در این آزمایش شما می‌توانید از چند تکه چوب بستنی، مطابق تصویر (۶) استفاده و یک موج ایستاده را بین هر دو چوب بستنی مشاهده کنید. (تصویر ۷)
توجه کنید اگر به تنهایی می‌خواهید این نمایش زیبا را اجرا



آیا می‌توان با
وسایل ساده،
شکلی از
موج عرضی و
حتی شکلی
از تداخل در
یک راستا
موسوم به موج
ایستاده را
تولید کرد؟



چرا آب از
لیوان وارونه به
پایین نمی‌ریزد
و از توری
عبور نمی‌کند؟

در این قسمت می‌خواهیم با یک تکه پارچه توری و یک لیوان، مقداری آب رنگی و چند تکه کش (تصویر ۸) آزمایشی ساده ولی مهم را انجام دهیم و کشش سطحی در آب را به خوبی نمایش دهیم.

در ابتدا پارچه توری را روی دهانه لیوان قرار دهید و مقداری آب رنگی درون لیوان بریزید (تصویر ۹) هنگامی که آب کاملاً لیوان را پر کرد (تصویر ۱۰). دور لیوان و پارچه را با یک تکه کش اسکناس (یا کش موی سر) بپوشانید (تصویر ۱۱) اکنون

کنید باید حلقه اول را با انگشتان شست پا بگیرید و با دو دست خود حلقه نخ دوم را بکشید.

۲. توری ضد آب

در فیزیک (۱) سال دهم دبیرستان از خاصیت کشش سطحی در سطح آب بحث شده و برای تفهیم آن به چند آزمایش از جمله قرار دادن یک سنجاق روی آب و ایجاد حباب صابون اشاره گردیده است.





در پلاستیکی را روی مجموعه قرار دهید.
حال می‌توانید مجموعه را وارونه کنید (تصویر ۱۲) و به آرامی در پلاستیکی را زیر لیوان بیرون بکشید مشاهده خواهید کرد به دلیل وجود نیروی کشش سطحی در سطح آب، آبی از درون لیوان به بیرون نخواهد ریخت.
دیدن فیلم انجام این کار خالی از لطف نخواهد بود.

[https:// www.roshdmag.ir/u/20a](https://www.roshdmag.ir/u/20a)

۳. لیوان مغناطیسی چرخان

در کتاب فیزیک (۲) دبیرستان خاصیت مغناطیسی مواد و تأثیر آن بر یک قطعه ماده فرومغناطیس مانند آهن تحت عنوان القای خاصیت مغناطیسی مورد بحث قرار گرفته است. با آزمایش بسیار ساده‌ای می‌توان این تأثیر را نشان داد. برای

انجام این آزمایش تنها به یک آهن‌ربای حلقه‌ای و یک لیوان یک‌بار مصرف کاغذی و یک پره فولادی دوجرخه نیاز داریم (تصویر ۱۳)

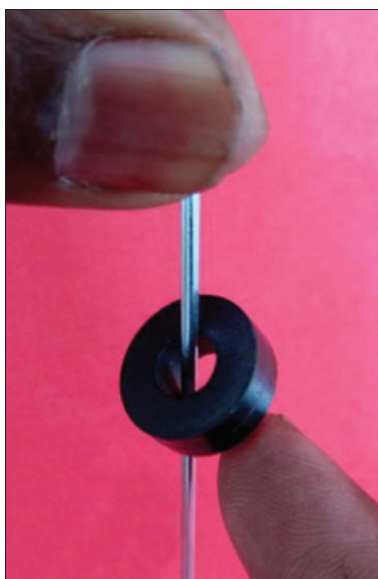
برای مشاهده چرخش آهن‌ربای حلقه‌ای در یک میله فولادی، کافی است آهن‌ربای حلقه‌ای را درون میله فولادی قرار داده و آن را رها کنید (تصویر ۱۴) مشاهده می‌کنید آهن‌ربای حلقه‌ای در حین سقوط به دور خود خواهد چرخید (تصویر ۱۵). برای جالب‌تر شدن نمایش می‌توانید مطابق تصاویر ۱۶ و ۱۷ آهن‌ربا را روی یک قسمت از لیوان که با رنگ‌های اصلی، رنگ‌آمیزی شده است بچسبانید.

مشاهده می‌کنید که ته لیوان هنگام سقوط شروع به چرخش می‌کند و رنگ‌های اصلی ترکیب شده و به رنگ سفید مشاهده می‌شوند.

برای مشاهده
چرخش
آهن‌ربای
حلقه‌ای در
یک میله
فولادی،
کافی است
آهن‌ربای
حلقه‌ای را
درون میله
فولادی قرار
داده و آن را
رها کنید



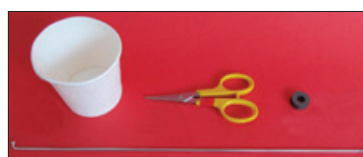
▲ تصویر ۱۵



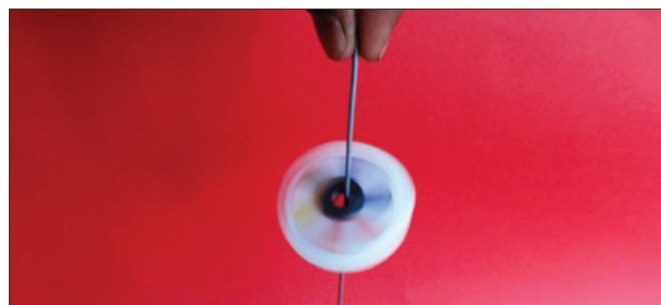
▲ تصویر ۱۴



▲ تصویر ۱۲



▲ تصویر ۱۳



▲ تصویر ۱۷



▲ تصویر ۱۶

پی‌نوشت
* فیلم‌ها و تصاویر مربوط به
سایت زیر است:
www.arvind.goptatoys.com



ما اعماق بدن را سه بعدی به تصویر می کشیم

گفت و گو با دکتر محسن اعرابی،
مدیر بخش پزشکی هسته‌ای بیمارستان شهید رجایی کرج

هوشنگ غلامی
عکاس: غلامرضا بهرامی

فیزیک در پزشکی، و نیز توانایی‌ها و امکانات تشخیصی-درمانی در پزشکی هسته‌ای، به گفت و گو نشستیم. با هم، گزارش این گفت و گو را می خوانیم.

دکتر محسن اعرابی، نخست در معرفی و بیان سوابق تحصیلی و علمی خود، گفت: پزشکی عمومی را در دانشگاه شهید بهشتی خواندم و تخصص پزشکی هسته‌ای را از دانشگاه علوم پزشکی تهران گرفتم و از سال ۱۳۹۲ تاکنون مسئول فنی بخش پزشکی هسته‌ای بیمارستان فوق تخصصی شهید رجایی کرج هستم.

<https://www.roshdmag.ir/u/202>



بلورهای «سوسوزن»

دکتر اعرابی در بیان ویژگی‌ها و توانایی‌های دستگاه «دوربین گاما»، افزود: دستگاه «دوربین گاما» را آقای هال انگر (Hal Anger) در آمریکا اختراع کرد (۱۹۷۵). این دستگاه از بلورهای به نام سنتیلاتور (سوسوزن) استفاده می‌کند. وقتی که پرتو

اشاره

پزشکی هسته‌ای یکی از مهم‌ترین کاربردهای علم فیزیک در پزشکی است. اکنون سال‌هاست که در فناوری پزشکی هسته‌ای از مواد رادیواکتیو برای تشخیص و حتی درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده می‌شود و جهان تا امروز شاهد پیشرفت‌های بزرگی در عرصه پزشکی هسته‌ای بوده است. با استفاده از «دوربین گاما» که در واقع یک دوربین رادیواکتیو است، ما می‌توانیم از اعماق بدن انسان تصاویر سه بعدی بگیریم و بیماری را در اندام هر فرد تشخیص دهیم و برای درمان آن نیز اقدام کنیم.

به مناسبت بهره‌برداری از دستگاه پیشرفته و در نوع خود منحصر به فرد «دوربین گاما» در بیمارستان فوق تخصصی شهید رجایی کرج، با دکتر محسن اعرابی، مدیر فنی بخش پزشکی هسته‌ای این بیمارستان، درباره ویژگی‌های این دستگاه، مفهوم پزشکی هسته‌ای و نقش

گاما و X که توسط حواس ما قابل ردیابی نیست به این بلورها می‌خورد، از بلورها نور مرئی ساطع می‌شود. پس دوربین گاما، بلورهایی دارد که وقتی به آن‌ها پرتو ایکس یا گاما تابیده می‌شود از خود نور مرئی تولید می‌کند که ما آن را در بدن مریض نمی‌بینیم، ولی دستگاه آن را به ما نشان می‌دهد.

تولید ۲۰۲۰

دکتر محسن اعرابی، با بیان اینکه دستگاهی که اخیراً ما در این بیمارستان نصب و راه‌اندازی کرده‌ایم تولید سال ۲۰۲۰ آمریکا و شرکت جنرال الکتریک (G.E) است، ادامه می‌دهد: دستگاه «دوربین گاما» امسال وارد کشور شده است و فعلاً از این دستگاه در ایران به تعداد کمتر از تعداد انگشتان یک دست فعال است. دستگاه را شرکت تجهیزات پزشکی پیشرفته که نماینده شرکت جنرال الکتریک است به کشورمان وارد کرده و در اینجا نصب نموده است.

هزینه چهار و نیم میلیارد تومانی

وی با بیان اینکه حدود چهار و نیم میلیارد تومان هزینه خرید این دستگاه بوده، یادآور شد؛ این دستگاه سال قبل (۱۳۹۸) و زمانی که قیمت ارز و دلار در شرایط عادی و بدون نوسان بود خریداری شد.

تصویربرداری سه‌بعدی

دکتر اعرابی درباره چگونگی کارکرد دستگاه گفت: این دستگاه غیر از اینکه می‌تواند تصویر دوبعدی بگیرد، می‌تواند با چرخیدن در اطراف مریض، تصویر سه‌بعدی نیز از او بگیرد؛ یعنی مانند دستگاه سی. تی. اسکن. (C T scan) یا ام. آر. آی (MRI)، برش‌نگاری کند و تصویر مقاطع داخلی بدن را نشان دهد. در بخش تئوری نیز، دکتر اعرابی گفت متناسب با عملکرد ارگان‌ها و اندام‌های مختلف بدن، ما از موادی که در فیزیولوژی این بخش‌ها شرکت می‌کنند برای تصویربرداری استفاده می‌کنیم. در بخش پزشکی هسته‌ای این مواد با ترکیبات رادیواکتیو متصل می‌شوند- اصطلاحاً نشان‌دار می‌شوند- و با ورود به بدن در عملکرد آن اندام شرکت می‌کنند. مثلاً برای تصویربرداری از استخوان‌های بدن، از املاح کلسیم یا فسفر نشان‌دار شده با مواد رادیواکتیو استفاده می‌کنیم. با توجه به امکان ردیابی مواد رادیواکتیو متصل به رادیو داروها، می‌توان تصویری از فیزیولوژی درون بدن تهیه کرد. لذا در بسیاری از منابع پزشکی از تصاویر پزشکی هسته‌ای به‌عنوان تصویربرداری عملکردی (physiological Imaging) نام برده می‌شود. گاهی با نشان‌دار کردن مولکول‌ها می‌توان سطح ردیابی عملکرد را تا حد مولکول تنزل داد و اصطلاحاً تصاویر مولکولی (Molecular Imaging) تهیه کرد. وی با تأکید بر اینکه دستگاه‌های قدیمی‌تر، فقط می‌توانستند



* با استفاده از «دوربین گاما»، می‌توانیم از اعماق بدن انسان تصاویر سه‌بعدی بگیریم

* با هیچ کدام از حس‌هایمان نمی‌توانیم، ولی با بلورهای دستگاه گاما می‌توانیم درون بدن را ببینیم





تصاویر دوبعدی بگیرند و به همین دلیل تا سال‌های پیش، تصاویر در عکس‌برداری هسته‌ای دوبعدی بودند، یادآور شد: تصاویر کنونی که با «دوربین گاما» گرفته می‌شود سه‌بعدی‌اند و ما عمق بدن بیمار را می‌توانیم در هر نقطه از بدن و بسته به نوع اسکن مشاهده کنیم.

<https://www.roshdmag.ir/u/203>

پردازش تصاویر دیجیتال

مسئول فنی بخش پزشکی هسته‌ای بیمارستان شهید رجایی کرج با تأکید بر اینکه سیستم‌های الکترونیکی و مکانیکی دستگاه با پیشرفت‌های علم الکترومکانیک (الکترونیک و مکانیک) به‌روز شده است. وی خاطرنشان کرد با این پیشرفت‌ها، امروزه ما می‌توانیم با کمک این دستگاه، تصاویر را به صورت دیجیتال و سه بعدی تهیه کنیم. امکان پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف پزشکی هسته‌ای نیز کمک بزرگی به ارائه اطلاعات بیشتر و به‌ویژه وضوح تصاویر کرده و امکان تشخیص بیماری‌ها را در مراحل اولیه فراهم می‌کند. هم‌چنین استفاده از سیستم پاکس (PACS) امکان ارسال تصاویر از طریق اینترنت را فراهم آورده است.

نقش فیزیک در پزشکی

از دکتر اعرابی درباره مفهوم پزشکی هسته‌ای و نقش فیزیک در پزشکی پرسیدیم که در پاسخ برایمان گفت: بشر از حدود ۱۲۰ تا ۱۳۰ سال قبل در عالم فیزیک، با مواد رادیواکتیو آشنا شد، هانری بکرل در سال ۱۸۹۶م در نمک‌های اورانیم و ماری کوری در ۱۸۹۸م در عناصر رادیوم و پلوتونیوم پی به این خاصیت بردند. بعد از مدتی، دانشمندان دیگر، فهمیدند که از این مواد می‌توانند در تصویربرداری برای تشخیص و درمان بیماری‌ها استفاده کنند. در نتیجه، علم پزشکی هسته‌ای و در پی آن فناوری پزشکی هسته‌ای، پیدا شد که امروز در سطحی بسیار وسیع در تشخیص و درمان انواع بیماری‌ها به کار می‌رود. برای مثال، بیماری پرکاری تیروئید که با «یُد» رادیواکتیو تشخیص داده و درمان هم می‌شود، جزء بسیار کوچکی از پزشکی هسته‌ای است.

البته درمان پرکاری تیروئید می‌تواند هم با عمل جراحی باشد، هم با روش دارویی و هم با روش تابش رادیواکتیو که همان پرتودرمانی است. در زمینه تصویربرداری نیز این گونه است؛ ما از مواد رادیواکتیو برای درمان پرکاری تیروئید، سرطان تیروئید و انواع سرطان‌های دیگر استفاده کنیم.

دکتر اعرابی با اشاره به اینکه رادیواکتیوها موادی هستند که پرتوهای گوناگون از جمله پرتو گاما تولید می‌کنند، افزود: وقتی این مواد را وارد بدن فرد می‌کنیم در اندام مورد نظر تجمع می‌کنند. مثلاً دارو را که تزریق می‌کنیم در استخوان جمع می‌شود، آن‌گاه اسکن استخوان را می‌گیریم و آن اندام را به کمک رادیواکتیو تصویربرداری می‌کنیم.

*** تصاویر کنونی که با دوربین گاما گرفته می‌شود سه‌بعدی است و ما عمق بدن بیمار را می‌توانیم در هر نقطه از بدن، و بسته به نوع اسکن، مشاهده کنیم**

*** این دستگاه علاوه بر تصویر دوبعدی، می‌تواند با چرخیدن در اطراف بیمار، تصویر سه‌بعدی نیز از اندام‌های بدن او بگیرد**

*** دوزیمتر، دستگاهی است که با کمک گرفتن از اصول فیزیک، پرتوهای گاما را سنجش می‌کند**

پزشکی هسته‌ای؛ کاربرد اصلی فیزیک در پزشکی

دکتر اعرابی، با تأکید بر اینکه پزشکی هسته‌ای شاخه‌ای از علم فیزیک پزشکی است خاطر نشان کرد: از تلفیق علم فیزیک و علم پزشکی علمی میان رشته‌ای به نام «فیزیک پزشکی» به وجود آمده است که در واقع اساس کاربرد اصول فیزیک در روش‌های تشخیصی- درمانی است. دستگاه‌های سونوگرافی، سی. تی. اسکن و ام. آر. آی و دوربین گاما. از جمله فناوری‌های فیزیک پزشکی هستند که در حوزه پزشکی قرار دارند.

<https://www.roshdmag.ir/u/204>



«دوزیمترها» و کشف پرتوهای گاما

این متخصص پزشکی هسته‌ای، تصریح کرد: برای محاسبه میزان و مقدار مواد رادیواکتیو ما از دستگاهی به نام دوزیمتر نیز استفاده می‌کنیم. دوزیمتر، دستگاهی است که با کمک گرفتن از اصول فیزیک، پرتوهای گاما را سنجش می‌کند، و مقدار آن را به ما نشان می‌دهد. دوزیمترها انواع مختلف دارند. مثلاً دستگاه «دوز کالیبراتور» مقدار داروی لازم برای هر تصویربرداری را مشخص می‌کند، در نتیجه تکنسین آن دارو را قبل از عکس برداری به مریض تزریق می‌کند یا دوزیمتر گایگر-مولر وجود پرتوهای گاما در محیط را نشان می‌دهد. اگر احتمال حمله بیولوژیک توسط مواد رادیواکتیو در منطقه‌ای وجود داشته باشد این دوزیمتر به ما نشان می‌دهد که آیا در منطقه، مواد رادیواکتیو وجود دارد یا نه. مدل دیگری از دوزیمترها به نام «فیلم بج» برای محاسبه میزان پرتوگیری کارکنان بخش‌های رادیولوژی و پزشکی هسته‌ای استفاده می‌گردد.

اصول مراقبت و حفاظت در برابر پرتوهای یونساز

با توجه به اینکه پرتوهای یونساز، انرژی‌های زیادی دارند در صورت استفاده نامناسب، برای بدن ما مضر خواهد بود. با توجه به حساسیت ویژه‌ای که خانم‌های باردار و کودکان به مواد رادیواکتیو دارند، ورود آن‌ها به بخش پزشکی هسته‌ای ممنوعیت دارد. البته ما گاهی از نوزادان هم اسکن تهیه می‌کنیم ولی این کار تحت شرایط ویژه و با رعایت اصول مراقبت از مواد پرتوزا انجام می‌شود. سه اصل مهم برای مراقبت و محافظت در برابر پرتوها وجود دارد. اصل اول این است که زمان پرتوگیری در حداقل خود باشد. این بدان معنی است که همه افراد کمترین زمان را در کنار مواد پرتوزا باشند اصل دوم رعایت فاصله از چشم مواد پرتوزاست. با توجه به این اصل میزان پرتوگیری با عکس مجذور فاصله رابطه دارد. در اصل سوم نیز باید برای کار با مواد پرتوزا از شیلدهای محافظ بدن- مانند رپوش‌های سربی- استفاده کرد.



*** برای نوزادان هم اسکن داریم ولی این کار را تحت شرایط ویژه و با رعایت اصول مراقبت انجام می‌دهیم**

سپیده دم مغناطیسی

زهرا باقری

اشاره

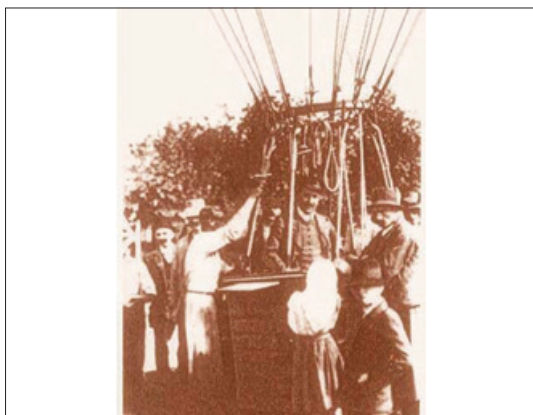
تدریس مبحث میدان مغناطیسی در فیزیک دوره متوسطه دوم همیشه برای من یکی از جذاب ترین کارها بوده است. چون می توانم برای دانش آموزان کره زمین را به عنوان بزرگ ترین آهنربایی که می توانند ببینند مثال بزنم و پدیده های ناشی از این میدان را به آنها نشان دهم. یکی از این پدیده های طبیعی، شفق قطبی است که تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین بر پرتوهای کیهانی به وجود می آید و از زیباترین مناظر بر روی کره زمین است، تا جایی که سالانه میلیون ها گردشگر را به مناطق شمالی کره زمین جذب می کند. آشنا کردن دانش آموزان با این پدیده به عنوان مثالی طبیعی از آثار میدان مغناطیسی، نیازمند داشتن یک دسته اطلاعات اولیه از دانش نجومی پرتوهای کیهانی است.

در این مقاله ابتدا به معرفی پرتوهای کیهانی پرداخته ایم، و سپس میدان مغناطیسی زمین را شرح داده ایم و برای درک بهتر موضوع فیلم هایی نیز برای آشنایی بیشتر شما با این پدیده فیزیکی قرار داده ایم.

پرتوهای کیهانی

بعد از اینکه هنری بکرل^۱ در سال ۱۸۹۶ به کشف پدیده رادیواکتیو نایل آمد، به نظر می رسید که تابش های موجود در محیط که تقریباً در همه جا حضور دارند از چشمه های شناخته شده رادیواکتیو تولید می شوند. اما زمانی که دانشمندان با استفاده از ورقه های الکتروسکوپ طلا به مطالعه رسانایی گازها پرداختند، پی بردند که هر چقدر هم که الکتروسکوپ های مورد استفاده در آزمایش از منابع احتمالی تابش پرتوها دور باشند باز هم به آرامی تخلیه می شوند؛ نتیجه اینکه پرتوهای ناشناخته ای وجود دارند که سبب این تخلیه می شوند.

به دنبال این وضعیت، در سال ۱۹۰۱ دو گروه تحقیقاتی در آلمان و انگلستان این پدیده را بررسی کردند. هر دو گروه به این نتیجه رسیدند که این پرتوهای ناشناخته از چشمه های ناشناخته ای به زمین می رسند. در این میان ویلسون^۲ گمانه زنی کرد که ممکن است یونیزاسیون (تخلیه) به علت تابش پرتوهای ناشی از چشمه های خارج از جو زمین باشد و گفت احتمالاً این پرتوها مانند پرتوهای رونتگن یا پرتوهای کاتدی هستند. با این تفاوت که از قدرت نفوذ



▲ شکل ۲: ویکتور هس بعد از فرود بالون در سال ۱۹۱۲

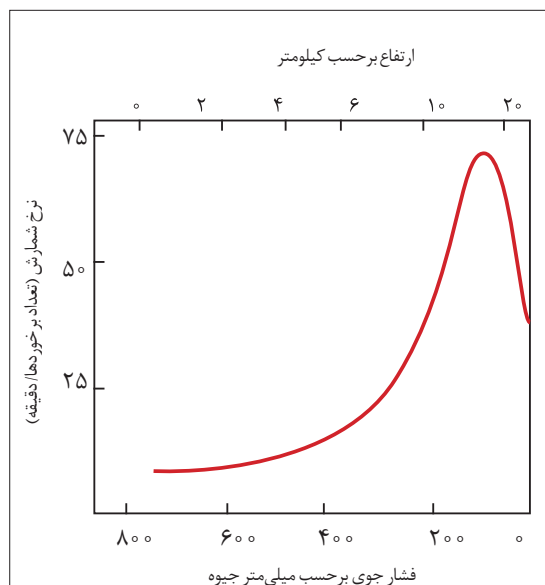
این رخداد، چنان‌که هارویت در ۱۹۸۱ گزارش داد، آغازگر نجوم پرتوهای کیهانی بود. باید گفت که هس این آزمایش‌ها را باز هم در شرایطی که کسوف کامل بود و بیشتر تابش‌های مرئی خورشید به علت وجود ماه مسدود شده بود انجام داد و همان نتایج قبل را به دست آورد. در نتیجه خورشید را به‌عنوان منبع این تابش‌ها نامحتمل دانست و نتیجه گرفت که تابش‌ها، با قدرت نفوذپذیری بسیار زیادشان، از فضای خارج وارد اتمسفر زمین می‌شوند، از این سبب آن‌ها را پرتوهای کیهانی نامید. دو دهه بعد، هس برای این کشفش، در سال ۱۹۳۶ جایزه نوبل دریافت کرد. در سال‌های ۱۹۱۳ و ۱۹۱۴ ورنر کلهاورستر^۶ با اندازه‌گیری افزایش شدت تابش‌ها در ارتفاع ۹km نتایج ویکتور هس را تأیید کرد.

رابرت میلیکان^۷ نیز در سال ۱۹۲۵ ثابت کرد که پرتوهای کیهانی از خارج از محیط زمین می‌آیند. وی اعتقاد داشت که پرتوهای کیهانی، پروتون‌های بسیار پرانرژی یا الکترون‌های ثانویه تولیدشده در «پراکندگی کامپتون» پرتوهای گاما هستند. خود کامپتون بر این باور بود پرتوهای کیهانی، ذرات باردار اولیه هستند. پراکندگی کامپتون عبارت است از اینکه پرتو ایکس در اندرکنش با ماده انرژی خود را از دست می‌دهد و طول موجش افزایش می‌یابد. کامپتون فیزیک‌دان آمریکایی و برنده نوبل فیزیک ۱۹۲۷ بود.

در سال ۱۹۲۷ دیمیترا اسکوبلزین^۸ با استفاده از اتاقک ابر شیارهای ایجاد شده توسط پرتوهای کیهانی را ترسیم کرد. در سال ۱۹۲۷، کلای در سفری از آمستردام به جاو در اندونزی، پی برد که با تغییر عرض جغرافیایی، شدت پرتوهای کیهانی نیز تغییر می‌یابد. در نزدیکی خط استوا، قبل از ورود به میدان مغناطیسی زمین، شدت این پرتوها کمتر می‌شود. او هم چنین پی برد که پرتوهای کیهانی عمدتاً از ذرات باردار تشکیل شده‌اند. در سال ۱۹۳۰ برونو راسی نشان داد که اگر پرتوهای کیهانی عمدتاً باردار باشند باید اثرات شرق و غرب نیز وجود داشته باشند.

فوق‌العاده بیشتری برخوردارند. یک سال بعد دو گروه تحقیقاتی در دانشگاه تورنتوی کانادا نشان دادند که با قرار دادن مانع سرب در جلوی الکتروسکوپ این تابش اسرارآمیز ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در سال ۱۹۰۷ تئودور ولف^۹ از مؤسسه فیزیک کالج ایگنتوس در والکنبورگ هلند، برای نشان دادن تابش در ارتفاعات یک الکتروسکوپ را به بالای برج ایفل برد. وی متوجه شد که شدت تابش‌ها با دور شدن از سطح زمین زیاد می‌شود. بنابراین نتیجه گرفت که منشأ این تابش‌ها از سطح زمین نیست و آن‌ها باید از خارج از جو بیایند.

در سال ۱۹۱۲ دومینیکو پاچینی^۴ ایتالیایی شدت تابش‌ها را به‌طور هم‌زمان در بالای دریا و استخر اندازه‌گیری کرد و نتیجه گرفت که بخش اصلی این تابش‌ها از منابعی خارج از زمین می‌آیند. در همان سال ویکتور هس^۵ سه الکتروسکوپ با دقت بالا ساخت و آن‌ها را در بالون‌هایی قرار داد و به بالا فرستاد و شدت تابش را در ارتفاعات مختلف به دست آورد. در ارتفاع ۵۳۰۰ متری نسبت تابش‌ها ۴ برابر سطح زمین بود. او دریافت که شدت تابش‌ها با افزایش ارتفاع زیادتر می‌شود.



▲ شکل ۱: تغییرات نرخ شمارش ذرات کیهانی

ویکتور هس داخل بالون دو اتاقک یونی سرپیسته قرار داد و با این کار متوجه شد که در ابتدا میزان یونیزاسیون کم است اما در ارتفاع ۱۵۰۰ متری، شروع به افزایش می‌کند تا اینکه در ارتفاع ۵۰۰۰ متری میزان یونیزاسیون به بیش از دوبرابر میزان یونیزاسیون در سطح زمین می‌رسد. وی در نوامبر همان سال نوشت: «نتایج این مشاهدات بهترین توضیح در اثبات ورود یک تابش با قدرت نفوذ زیاد از بالا به اتمسفر است.»

در بهار سال ۱۹۳۳ دو گروه آمریکایی، جانسون و توماس از بورتل، و لوئیس آلوارز و آرتور کامپتون از دانشگاه شیکاگو، به‌طور هم‌زمان و مستقل، اثرات شرق و غرب را اندازه‌گیری کردند. آن‌ها با انجام این تحقیقات نشان دادند که پرتوهای کیهانی عمدتاً بار مثبت دارند. در اواخر دهه ۱۹۳۰، شاین و همکارانش در پرواز بالون از شمارشگر گایگر^{۱۰} استفاده کردند و دریافتند که بیشترین ذرات اولیه، الکترون‌ها نیستند. از این‌رو پروتون‌ها مؤلفه‌های غالب پرتوهای کیهانی به‌شمار می‌آیند. شمارشگر گایگر مولر یک نوع شمارشگر ذرات بنیادی است که توانایی شناسایی ذرات باردار را دارد و از آن معمولاً برای سنجش آلودگی رادیواکتیو استفاده می‌شود. این شمارشگر یک محفظه پر شده از یک گاز بی‌اثر است که از وسط آن یک سیم نازک می‌گذرد. در اثر اعمال ولتاژ به سیم، جریانی از الکترون ایجاد می‌شود. وقتی پرتوهای یونیزه‌کننده وارد

محفظه می‌شوند، گاز درون لوله، الکتریسیته را بین محفظه و سیم هدایت می‌کند که ایجاد نویز می‌شود. برای آشنایی بیشتر با طرز کار این شمارنده فیلم شماره ۱ را تماشا کنید.

<https://www.roshdmag.ir/u/20b>

در طی دهه ۱۹۲۷-۱۹۳۷ تحقیقات آزمایشگاهی مختلف نشان داد که پرتوهای کیهانی اولیه اکثراً ذرات باردار مثبت هستند. همچنین تابش‌های ثانویه مشاهده‌شده در سطح زمین به‌طور کلی از یک «مؤلفه نرم» شامل الکترون‌ها و پروتون‌ها و یک «مؤلفه سخت» شامل ذراتی مانند میون‌ها ساخته شده است. در آن زمان فکر می‌شد که میون‌ها ذرات ناپایداری هستند که توسط هیدکی یوکاوا^{۱۱} در سال ۱۹۳۵ در تئوری نیروهای هسته‌ای پیشگویی شده بود. آزمایش‌ها ثابت کرد که میون با میانگین طول عمر 2.6×10^{-6} s به یک الکترون و دو نوترینو واپاشیده می‌شود و چون برهم‌کنش قوی با هسته ندارد، ذره یوکاوا نمی‌تواند باشد. این معما با کشف پایون در سال ۱۹۴۷ که به‌طور مستقیم در برهم‌کنش‌های هسته‌ای پرنانرژی تولید می‌شد، حل شد. پایون‌ها به یک میون و یک نوترینو با میانگین زمانی 2.6×10^{-6} s واپاشیده می‌شوند. واپاشی‌های پی‌درپی، به‌طور مستقیم در یک آزمایش میکروسکوپی از شیارها قابل مشاهده است که در آن باریکه‌ای از ذرات در نوع خاصی از فیلم عکاسی در معرض پرتوهای کیهانی قرار گرفته‌اند. وان آلن^{۱۲} و گوتلیب^{۱۳} در سال ۱۹۴۸ این فیلم‌های عکاسی را با بالن به بالای اتمسفر بردند و از نتایج به‌دست‌آمده دریافتند که ذرات کیهانی اولیه اکثراً پروتون‌ها و کمی هسته‌های هلیوم و قسمت کوچک‌تری از هسته‌های سنگین‌تر هستند.

در سال ۱۹۳۴ برونو راسی در آزمایشی، تخلیه هم‌زمان دو شمارنده مجزای گایگر را مشاهده کرد و به این نتیجه رسید که علت انطباق دو شمارنده که در فاصله دوری از هم قرار دارند برخورد یک بهمن هوایی با تجهیزات شمارنده است. در سال ۱۹۳۷ پیر اوزه^{۱۴} که از نتایج راسی بی‌خبر بود نتایج

مشابهی به دست آورد و جزئیات آن را بررسی کرد. وی دریافت که بهمن‌های گسترده هوایی، از ذرات پرتوهای کیهانی پرنانرژی که با اتمسفر زمین برهم‌کنش می‌کنند، تولید می‌شوند. یک بهمن از برهم‌کنش‌های ثانویه‌ای آغاز می‌شود که محصول نهایی آن بهمنی از الکترون‌ها، فوتون‌ها و میون‌هاست.



▲ شکل ۳: تصویری از پیر اوزه

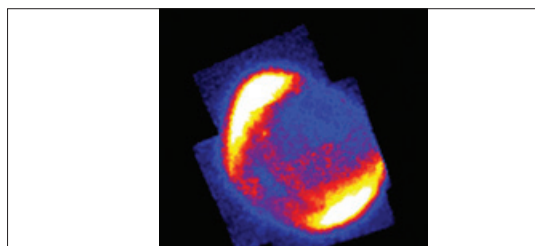
هومی بهابها^{۱۵} در سال ۱۹۳۸ نتیجه گرفت که مشاهده ویژگی‌های ذرات به تحقیق‌های آزمایشگاهی دقیق تئوری نسبیتی آلبرت اینشتین^{۱۶} منتهی خواهد شد.

در سال ۱۹۴۸ یک گروه تحقیقاتی از دانشگاه مینه‌سوتا و دانشگاه روچستر، با استفاده از اتاق‌های تیره و امولسیون‌های هسته‌ای در بالون، حضور هسته‌های سنگین‌تر را در پرتوهای کیهانی کشف کردند. فرمی در سال ۱۹۴۹ پرتوهای کیهانی را به‌عنوان گازی متشکل از ذرات نسبیتی باردار در حال حرکت در میدان مغناطیسی بین‌ستاره‌ای در نظر گرفت. مقاله او زمینه‌ای برای نظریه مدرن شتاب‌دهنده پرتوهای کیهانی شد. مطالعات بیشتر نشان داد که پرتوهای کیهانی شامل همه عناصر بین هیدروژن و آهن، از جمله فراوانی بیش از حد عناصر B و Be، Li می‌باشد. سپس در سال ۱۹۵۰ فهمیدند که بخش قابل توجهی از تابش رادیویی، تابش سنکروترون بوده که نشان‌دهنده حضور زیاد الکترون نسبیتی در سراسر کهکشان ما، تعدادی منابع گسسته و همچنین منابع فراکهکشانی است.

در سال ۱۹۵۴ اعضای «گروه پرتوکیهانی راسی» در مؤسسه فنی ماساچوست توانستند انرژی و جهت ورودی پرتوهای کیهانی را اندازه‌گیری کنند. در این آزمایش از یازده آشکارساز سنسیتلا توری که در درون دایره‌ای به قطر ۴۶۰ m در رصدخانه دانشگاه هاروارد قرار دارد، استفاده کردند. از این کار و آزمایش‌های دیگری که در سراسر جهان انجام گرفت طیف انرژی پرتو کیهانی اولیه که می‌توان آن را تا انرژی بالای 10^{20} eV گسترش داد، به دست آمد. آزمایش بزرگ بهمن هوایی که پروژه اوزه نام گرفته است در مکانی در دشت مرتفعی در آرژانتین توسط کنسرسیوم بین‌المللی فیزیک‌دانان اجرا شد و هدف از آن بررسی ویژگی‌ها و جهت ورودی پرتو کیهانی اولیه است. نتایج به‌دست‌آمده برای فیزیک ذرات و کیهان‌شناسی اهمیت زیادی دارد. نتایج اولیه‌ای که در نوامبر ۲۰۰۷ به دست آمد جهت ۲۷ تا از پرنانرژی‌ترین رخدادها را نشان داد که به موقعیت هسته‌های کهکشانی فعال

**در سال ۱۹۳۴
برونو راسی در
آزمایشی، تخلیه
هم‌زمان دو
شمارنده مجزای
گایگر را مشاهده
کرد و به این
نتیجه رسید که
علت انطباق دو
شمارنده که در
فاصله دوری از
هم قرار دارند
برخورد یک
بهمن هوایی
با تجهیزات
شمارنده است**

می‌شود و ظرف مدت چند ساعت یا چند روز تاریک و کم‌نور می‌شود. بعضی از انفجارها به بارشی از گاز و گردوغبار و برخی دیگر به ستاره‌های نوترونی و سیاه‌چاله‌ها تبدیل می‌شوند. این انفجارات البته بسیار نادر هستند. تلسکوپ‌های نجومی بزرگ در سال‌های ۱۵۷۲ و ۱۶۰۴ انفجارات ابرنواخترها را در کهکشان‌ها ثبت کردند، که هر کدام از آن‌ها ویژگی‌های مختلفی از درخشندگی را نسبت به زمان داشتند و سرانجام با رسیدن به نیمه عمر، یعنی ۵۵ روز، کم‌نور و سپس ناپدید شدند.



▲ شکل ۵: ابرنواختر ۱۰۰۶ را نشان می‌دهد

در سال ۱۰۴۵ ستاره‌شناسان چینی یک انفجار ابرنواختری را مشاهده کردند که بسیار درخشان و در وسط روز قابل رؤیت بود. این انفجار گاز و گردوغبار به‌عنوان سحابی خرچنگ نام گرفته است.



▲ شکل ۶: تصویری از سحابی خرچنگ

وقتی یک ستاره از بین می‌رود، بخش عظیمی از انرژی آن صرف شتاب دادن ذرات می‌شود. ستاره‌شناسان کشف کرده‌اند که باقی‌مانده نواختر RCW۸۶ که در فاصله ۸۲۰۰ سال نوری از ما قرار داشته و در سال ۱۸۵ پس از میلاد مسیح توسط منجمان چینی ثبت شده است، یکی از منابع پرتوهای کیهانی محسوب می‌شود. این قدیمی‌ترین ثبت نواختر در تاریخ نجوم است.



▲ شکل ۷: تصویری از ابرنواختر RCW۸۶

درست است که بیشتر پرتوهای کیهانی از انفجارات

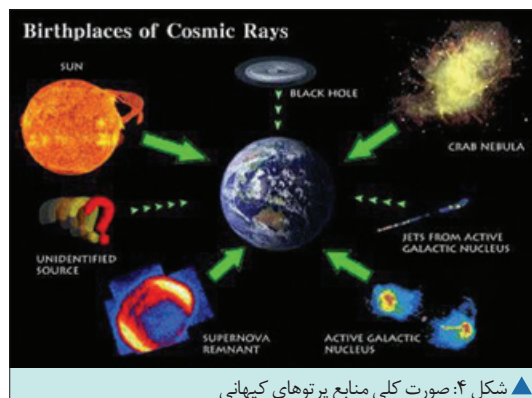
(AGN) جایی که اعتقاد داشتند پروتون‌ها توسط میدان مغناطیسی قوی شتاب می‌گیرند و سیاه‌چاله‌های بزرگ در مرکز (AGN) مربوط می‌شود.

منابع احتمالی پرتوهای کیهانی

بعضی از ذرات کیهانی انرژی بسیار زیادی دارند. این انرژی گاهی به 10^{20} eV (در حدود 10^{20} ژول) می‌رسد. بنابراین یکی از سؤالات اساسی و بنیادی در فیزیک پرتوهای کیهانی این است که منشأ این ذرات تا این سطح انرژی چیست؟

از آنجا که پرتوهای کیهانی، به علت باردار بودن، در میدان‌های مغناطیسی کهکشان‌ها و بین کهکشان‌ها منحرف می‌شوند و جهت اولیه خود را از دست می‌دهند، بنابراین نمی‌توان با استفاده از جهت این پرتوها به جهت منبع تولیدکننده آن‌ها پی برد، مگر در انرژی‌های بسیار بسیار بالا که انرژی این ذرات بیش از 10^{19} eV (تقریباً یک ژول) است.

در حال حاضر با تقریب زیادی معلوم شده که پرتوهای کیهانی در دو دسته گسترده پایین می‌آیند. دسته اول که در اقلیت هستند و از روی تغییرات کم مربوط به شار پرتوهای کیهانی بین شب و روز مشخص شده‌اند، مربوط به خورشیدند. رابطه بین افزایش شدت پرتوهای کیهانی با شعله‌های خورشیدی (انفجارهای عظیم بر روی سطح خورشید که با تلسکوپ دیده می‌شوند) آشکار شده است، اما بیشتر پرتوهای کیهانی از فواصل بسیار دورتر می‌آیند. در حال حاضر تصور بر این است که این پرتوها از کهکشان خود ما (راه شیری) سرچشمه می‌گیرند، ناحیه‌ای که شامل حدود یکصد میلیارد ستاره از جمله منظومه شمسی است. کل این کهکشان حدود صد هزار سال نوری ضخامت دارد و ما تقریباً در صفحه استوایی آن، یعنی در حدود نیمه راه از مرکز قرار گرفته‌ایم. غبار و ستاره‌ها اغلب در ناحیه استوایی کهکشان متمرکز شده‌اند.



▲ شکل ۴: صورت کلی منابع پرتوهای کیهانی

بقایای ابرنواخترها (SNRs)

ابرنواختر ناشی از انفجار یک ستاره است. جرم در یک لحظه ستاره‌ای که چندین میلیون برابر جرم خورشید دارد منفجر

بعضی از انفجارها
به بارشی از
گاز و گردوغبار
و برخی دیگر
به ستاره‌های
نوترونی و
سیاه‌چاله‌ها
تبدیل می‌شوند.
این انفجارات
البته بسیار نادر
هستند



خورشیدی بیشتری باشد، تعداد و انرژی این ذرات هم بیشتر می‌شود. بعد از گذشت حدود ۴۰ دقیقه از اینکه پرتوهای کیهانی موجود در فوران‌های خورشید بیشترین شدت را پیدا می‌کنند، اول سریع‌ترین ذرات، و در ساعات بعد، ذرات کندتر به زمین می‌رسند. در فیلم شماره ۳ ثبت شراره خورشیدی تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۱۷ توسط ناسا نشان داده شده است که ذرات آن به‌صورت باد خورشیدی به زمین می‌رسند.

<https://www.roshdmag.ir/u/20d>

زمینه‌های مهم تحقیق و مطالعه پرتوهای کیهانی

طی حدود بیست سال، تحقیقات پرتو کیهانی تنها عرصه کشف ذرات زیراتمی جدید بود. ما در حال حاضر می‌دانیم که این ذرات از برخورد بین هسته‌های عبورکننده با سرعتی بیش از نصف سرعت نور پدیدار می‌شوند. براساس فرمول مشهور اینشتین $E=mc^2$ ، مقداری از انرژی برخورد، دوباره به‌صورت جرم ذرات جدید آشکار می‌شود.

اولین بار در اوایل دهه ۱۹۳۰ ذرات جدید، در بین پرتوهای کیهانی ظاهر شدند و تعداد آن‌ها بعد از جنگ جهانی اول، زمانی که پژوهش‌های پرتو کیهانی سرعت یافته بود، زیاد شد. از آن زمان عصر جدید فیزیک ذرات شروع شد. تا اینکه همزمان با ورود شتاب‌دهنده‌های بزرگ در دهه ۱۹۵۰ پرتوهای کیهانی به‌طور محسوسی به‌عنوان منبع ذرات جدید جایگزین شدند. حتی هنوز هم پرتوهای تر از ذرات این شتاب‌دهنده‌ها، چند میلیون بار کم‌انرژی‌تر از برخی ذراتی هستند که می‌توان در میان پرتوهای کیهانی پیدا کرد (البته به ندرت و به‌طور کنترل نشده).

طیف انرژی پرتوهای کیهانی

محدوده مقدار انرژی تابش‌های کیهانی بسیار گسترده است و از 10^9 eV تا 10^{20} eV را شامل می‌شود. هنگامی که مطالعات پرتو کیهانی پیشرفت کرد، مشخص شد که انرژی ذرات تک، که در واحد الکترون ولت (eV) اندازه‌گیری می‌شود، اغلب بسیار بالاست. در دمای اتاق، انرژی نوعی یک مولکول هوا چندصدم یک الکترون ولت است در حالی که پرتوهای کیهانی انرژی‌هایی بالای یک میلیارد (10^{19}) الکترون ولت دارند. تغییرات تعداد پرتوهای کیهانی برحسب انرژی را «طیف انرژی» می‌گویند.

شار پرتوهای کیهانی که تا به حال اندازه‌گیری شده، تقریباً در همه جهات یکسان است. یعنی مستقل از زاویه فضایی و همسانگرد می‌باشد.

نمودار شار (تعداد ذرات ورودی بر واحد سطح بر واحد زمان) پرتوهای کیهانی صاف و هموار است به جز در دو نقطه در انرژی‌های 10^{15} eV و 10^{18} eV که تغییر ناگهانی مشاهده می‌شود، در غیر این صورت نمودار به‌صورت یک خط صاف درمی‌آید. شکست اول در انرژی 10^{15} eV اتفاق افتاده است که به زانوی منحنی^{۱۷} معروف است و نقطه شکست دوم در انرژی 10^{18} eV رخ داده است که به آن قوزک منحنی^{۱۸} گویند.

ابرنواخترها شتاب می‌گیرند ولی این به این معنا نیست که ابرنواخترها خودشان منفجر می‌شوند و ذراتی با این انرژی را به بیرون پرتاب می‌کنند. بقایای انفجارات ابرنواخترها که هزاران سال از عمر آن‌ها می‌گذرد از ابرها و گازهای منبسط شده تشکیل شده‌اند و به‌طور تصادفی ذرات در میدان مغناطیسی، انرژی و سرعت زیادی به دست می‌آورند. به طوری که این بقایای ابرنواخترها نمی‌توانند آن‌ها را در خودشان نگه دارند و این ذرات با سرعت و انرژی زیاد به داخل کهکشان فرار می‌کنند. با تماشای فیلم شماره ۲ می‌توانید ثبت انفجار یک ابرنواختر را که در ۸۰ میلیون سال پیش یعنی زمان زندگی دایناسورها رخ داده و اکنون نور آن به ما رسیده است ببینید.

<https://www.roshdmag.ir/u/20c>



هسته‌های کهکشانی فعال

از دیگر منابع انتشار پرتوهای کیهانی هسته‌های کهکشانی فعال (AGN) هستند. AGN یک نام کلی برای آن دسته از کهکشان‌هایی است که در مرکزشان سیاه‌چاله پر جرمی وجود دارد. از هر ۱۵ دسته پرتو کیهانی پرتوهای که به سمت زمین می‌آیند ۱۲ تا آن‌ها از هسته‌های کهکشانی فعالند. تعداد کهکشان‌های کیهانی در حدود 10^{11} است که تقریباً یک درصد آن‌ها هسته‌های فعال دارند. یعنی در حدود 10^9 هسته کهکشانی فعال وجود دارد.



▲ شکل ۸: جت ذرات خارج‌شده از داخل هسته فعال کهکشانی

بادهای خورشیدی

بادهای خورشیدی از سال‌های اولیه عصر فضا یعنی از اوایل دهه ۶۰ قرن بیستم تاکنون بررسی شده‌اند. بادهای خورشیدی ذراتی هستند که از خورشید جدا شده و به‌صورت باد یا جریانی از ذرات به فضای بین‌ستاره‌ای فرار می‌کنند. این ذرات متشکل از الکترون، پروتون، ذره آلفا و مقداری عناصر سنگین‌تر هستند. سرعت این بادهای بین ۲۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر بر ثانیه است و ذراتی را که حمل می‌کنند چهار تا پنج روز بعد به زمین می‌رسند. این ذرات در دمای زیاد تاج خورشیدی به تدریج بر سرعتشان افزوده می‌شود و از میدان جاذبه خورشید می‌گریزند. در نتیجه زمانی که فعالیت

اولین بار در
اوایل دهه
۱۹۳۰ ذرات
جدید، در
بین پرتوهای
کیهانی ظاهر
شدند و تعداد
آن‌ها بعد از
جنگ جهانی
اول، زمانی که
پژوهش‌های
پرتو کیهانی
سرعت یافته
بود، زیاد شد

تعیین ترکیب جرمی پرتوهای کیهانی

یکی از سؤالات مهم در مورد پرتوهای کیهانی پرنرژی این است که ترکیب جرمی این پرتوها چگونه است. از آنجا که پاسخ به این سؤال به طور مستقیم و با استفاده از آشکارسازهای ذرات معمولی کار بسیار دشواری است، ما در این قسمت به روش های تعیین ترکیب جرمی و انواع آشکارسازها برای این منظور می پردازیم:

از آنجا که نوکلئون های هر عنصر بار منحصربه فردی دارد، ما برای تعیین ترکیب جرمی پرتوهای کیهانی به طور جداگانه بار هر یک از ذرات پرتوهای کیهانی را اندازه گیری می کنیم. تعیین بار پرتوهای کیهانی به دو روش مستقل از هم صورت می گیرد: الف. تعیین نسبت کاهش انرژی پرتوهای کیهانی در عبور از آشکارسازها، که این کاهش انرژی با $\left(\frac{Z^2}{\text{سرعت ذرات}}\right)$ متناسب است.

ب. تعیین سرعت یا یک حالت وابسته به آن که مستقل از کاهش انرژی است.

آشکارسازها برای این منظور به سه دسته تقسیم می شوند:

الف. آشکارسازهای ثبتی مثل: امولسیون عکاسی^{۱۹}

ب. آشکارسازهای بصری مثل: اتاقک ابر^{۲۰}

ج. آشکارسازهای الکترونیکی مثل: شمارنده های گایگر-مولر^{۲۱} در سال ۱۹۵۶ فرانک مک دونالد^{۲۲} برای تعیین ترکیب جرمی و سرعت پرتوهای کیهانی دو آشکارساز الکترونیکی (کونتورهای سنتیلاتور و چرنکوف) را با هم ترکیب کرد. این ترکیب جدید از دو آشکارساز، اندازه گیری های خوبی از فراوانی نسبی عناصر سنگین تر از آهن به دست آورد. از آنجا که عناصر سنگین تر از آهن کمیاب هستند، برای شناسایی آنها به روش های جدیدتری احتیاج است.

گروه عناصر Li و Be و B و گروه Mn و Ti و Sc در پرتوهای کیهانی بیشتر از خورشید وجود دارند، زیرا امکان تولید این ذرات در اثر برخورد ذرات سنگین تر در محیط بین ستاره ای بیشتر است و در نتیجه فراوان ترند

همان طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، در مورد عناصر پرتوهای کیهانی موجود در منظومه شمسی، استثنایی به شرح زیر وجود دارد:

- هم طیف پرتوهای کیهانی ناشی از خورشید و هم طیف پرتوهای کیهانی کهکشانی اثرات زوج و فردی را نشان می دهند.

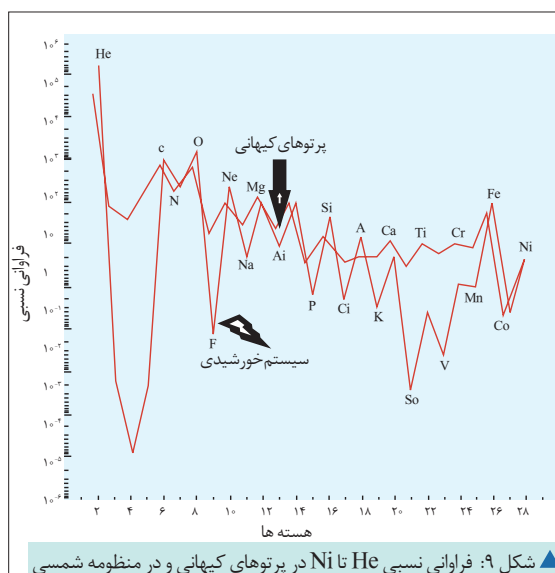
- هسته های زوج (Z زوج) فراوان تر از هسته های فردند.

- در پرتوهای کیهانی هسته های سنگین تر بیشترند تا در خورشید.

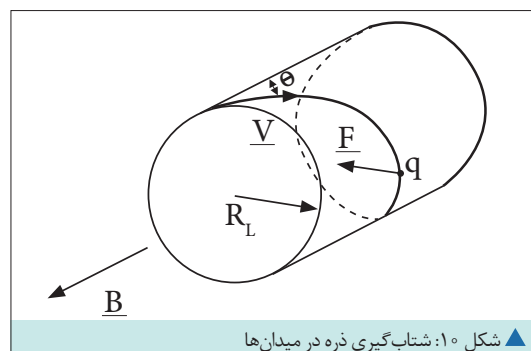
- گروه عناصر Li و Be و B و گروه Mn و Ti و Sc در پرتوهای کیهانی بیشتر از خورشید وجود دارند، زیرا امکان تولید این ذرات در اثر برخورد ذرات سنگین تر در محیط بین ستاره ای بیشتر است و در نتیجه فراوان ترند.

بررسی جهت های بارش پرتوهای کیهانی

از کشف پرتوهای کیهانی بیش از یک قرن می گذرد اما منشأ و منبع تولید آنها و فرایند انتشار آنها در کهکشان، همچنان سؤالی است که جواب آن به درستی معلوم نیست. علت عمده این سردرگمی آن است که پرتوهای کیهانی باردار هستند و مسیر حرکت آنها تحت تأثیر میدان مغناطیسی درون کهکشان مدام تغییر می کند. از این رو جهتی که پرتوهای کیهانی وارد جو زمین می شوند به هیچ وجه جهت چشمه ای نیست که این پرتوها در آن تولید شده اند. به عنوان مثال پروتون با انرژی 10^{15} eV در میدان مغناطیسی $1 \mu\text{G}$ که برآوردی از میدان مغناطیسی درون کهکشان است، مسیر خمیده ای با شعاع انحناء 1 pc طی می کند. اما میدان مغناطیسی درون کهکشان یک میدان مغناطیسی ثابت و یکنواخت نیست، بلکه در مقیاس های 10^4 cm تا 10^{20} cm رفتار کاملاً آشوبناک و نامنظمی دارد. از این رو مسیر حرکت پرتوهای کیهانی در حین حرکت در کهکشان، مدام تغییر می کند تا اینکه شار پرتوهای کیهانی درون کهکشان توزیع زاویه ای همسانگرد پیدا می کند. به همین دلیل، هر چقدر هم پرتوهای کیهانی بیشتر ثبت شود، هیچ اطلاعی از منشأ توزیع این پرتوها به دست نمی آید. اما از طرفی با افزایش انرژی پرتوهای کیهانی این همسانگردی از بین می رود، زیرا تقریب هایی که برای فرایند پخش پرتوهای کیهانی تاکنون وجود داشت، بی اعتبار می شوند، به گونه ای که ضریب پخش پرتوهای کیهانی آن قدر بزرگ می شود که ناهمگنی ذاتی که در توزیع چشمه های پرتوهای کیهانی در کهکشان وجود دارد، به نحوی در داده ها آشکارسازی می شود. باور کلی بر این است که تعداد چشمه های تولید پرتوی کیهانی در مرکز کهکشان بسیار بیشتر از تعداد آنها در نواحی خارجی مرکز کهکشان است. این امر باعث می شود که شار پرتوهای



کیهانی که از سمت مرکز کهکشان دریافت می‌شود تا حدودی از شار پرتوهای کیهانی دریافت‌شده از خارج مرکز کهکشان بیشتر باشد. یعنی پرتوهای کیهانی که از صفحه کهکشان به سمت هاله آن حرکت می‌کنند، می‌توانند باعث بروز ناهمسانگردی در شار پرتوهای کیهانی شوند. ناهمسانگردی که در شار پرتوهای کیهانی به وجود می‌آید، معادله‌ای صریح و قابل پیش‌بینی ندارد. به فرض آنکه محل دقیق چشمه‌های تولید پرتوهای کیهانی درون کهکشان را هم بدانیم، شرایط و فرآیند انتشار این پرتوها که به ساختار ریزمقیاس و بزرگ‌مقیاس میدان مغناطیسی درون کهکشان بستگی دارد، روی این ناهمسانگردی تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، ناهمسانگردی به موقعیت زمین یا راصد نسبت به میدان مغناطیسی مؤثر اطراف آن، که می‌تواند بازوهای کهکشان باشد، نیز بستگی دارد. پرتوهای کیهانی عموماً در راستای خطوط میدان مغناطیسی حرکت می‌کنند که مانند لوله‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر از شعاع انحنای پرتوهاست. در نتیجه جهتی که بیشینه ناهمسانگردی را نشان می‌دهد، می‌تواند جهتی را مشخص کند که پرتوهای کیهانی در آن تولید شده‌اند.



پرتوهای کیهانی و سلامتی انسان

انسان در محیط زیست خود به‌طور طبیعی از پرتوهای کیهانی که از فضای خارج از جو زمین فرود می‌آیند و پرتوهای گسیل‌شده از مواد پرتوزای اولیه موجود در پوسته زمین، به‌طور مستقیم متأثر می‌شود. علاوه بر منابع طبیعی، انسان در محیط زیست خود نیز از چشمه‌های صنعتی، پزشکی و غیره پرتوگیری می‌کند. در کشورهای غیرپیشرفته و در حال توسعه ۹۴ درصد کل پرتوگیری انسان از منابع طبیعی است که شامل پرتوهای کیهانی و زمینی می‌شود.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، پرتوهای کیهانی منشأ خورشیدی یا کهکشانی دارند و میزان جذب ناشی از آن‌ها در هوا به ازای اضافه شدن هر ۱۵۰۰ متر ارتفاع، دوبرابر می‌شود. همچنین، میزان تابش پرتوهای کیهانی به بدن انسان، بستگی به فصل و موقعیت روز دارد و مقدار آن در داخل ساختمان کمتر از هوای آزاد است. میزان جذب پرتوهای کیهانی در داخل منازل مسکونی بسته به نوع ساختمان و مصالح به کار

برده‌شده، متفاوت است. پرتوها می‌توانند تأثیرات متعددی در سلول‌ها بر جای بگذارند. اثرات بیولوژیکی پرتوها بر روی یک موجود زنده پرسلولی در اثر ایجاد تغییر در اجزای آن، یعنی سلول‌ها ایجاد می‌شود. از مهم‌ترین اثرات اشعه بر روی اجزای موجودات زنده مختلف، اثرات دیررس آن‌هاست که در فواصل زمانی مختلف و گاه طولانی، بعد از تابش اشعه و دوزهای پایین، ایجاد می‌شود. در این‌گونه اثرات، بین زمان تابش و زمان ظهور علائم آن‌ها فاصله زمانی قابل توجهی وجود دارد.

این اثرات کاهش نامحسوس طول عمر، ظهور اثرات ژنتیکی در نسل‌های بعدی و وقوع انواع سرطان‌ها را شامل می‌شود. مکانیزم‌های سرطان‌زایی اشعه کاملاً شناخته نیست ولی احتمالاً هر سرطان دوران کودکی، ناشی از اشعه‌های زمینه طبیعی می‌باشد. از آنجا که پرتوهای کیهانی با افزایش ارتفاع زیاد می‌شوند، انتظار داریم مردمی که در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا زندگی می‌کنند نسبت به بقیه از این اشعه بیشتر رنج ببرند. برای مثال در کلرادو که در ارتفاع ۱۶۰۰ متری قرار گرفته، پرتوهای تابش کیهان دوبرابر نسبت به سطح دریاست.

اثر میدان مغناطیسی زمین

رفتار زمین به‌صورت یک آهن‌ربای بزرگ، قرن‌هاست که شناخته شده است. زمین طوری رفتار می‌کند که گویا یک آهن‌ربای میله‌ای قوی، حدود ۲۰۰ کیلومتر از مرکز دارد که با محور چرخش زمین در یک راستا نیست. با تعمیم این آهن‌ربای خیالی به سطح زمین، یک قطب ژئومغناطیسی آن (حدود ۷۹° شمال، ۶۹° غرب) در گرین‌لند و قطب دیگر آن (۷۹° جنوب، ۱۱۰° شرق) در قطب جنوب است. برای آشنایی با میدان مغناطیسی زمین فیلم‌های شماره ۴ و ۵ را تماشا کنید

<https://www.roshdmag.ir/u/20e>
<https://www.roshdmag.ir/u/20f>

هنگامی که پرتوهای کیهانی به زمین نزدیک می‌شوند، مسیرشان تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین و چند فاکتور دیگر قرار می‌گیرد: جهت اولیه حرکت آن‌ها، جرم، سرعت و بار ذره، و اینکه میدان مغناطیسی چگونه با فاصله از زمین تغییر می‌کند. به دلیل اینکه مسیر پرتوهای کیهانی به خاطر وجود میدان مغناطیسی در نزدیکی زمین منحرف می‌شود، مسیر این ذرات در نزدیکی زمین تا حدود زیادی حلقوی و به‌هم پیچیده است. در نتیجه تعداد و سرعت پرتوهای کیهانی نزدیک به زمین همانند آن ذراتی که بسیار دورند اندازه‌گیری نخواهد شد. میدان مغناطیسی و کره زمین دو لایه حفاظتی قدرتمند در برابر ریزش پرتوهای کیهانی هستند. میدان مغناطیسی همچون مانع طبیعی عظیمی برای ذرات پرتوهای کیهانی عمل می‌کند. اگر ذرات دارای انرژی باشند، از لایه‌های مگنتوسفر عبور می‌کنند

انسان در محیط
زیست خود
به‌طور طبیعی از
پرتوهای کیهانی
که از فضای
خارج از جو زمین
فرود می‌آیند و
پرتوهای گسیل
شده از مواد
پرتوزای اولیه
موجود در پوسته
زمین، به‌طور
مستقیم متأثر
می‌شود





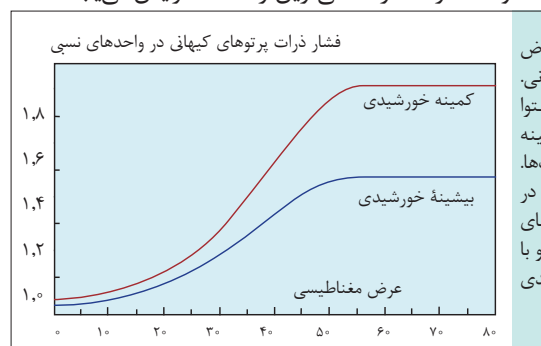
و به لایه‌های بالایی جو می‌رسند، اما اگر انرژی ذرات کافی نباشد، آن‌ها در جهت خط‌های نیروی مغناطیسی گرایش پیدا می‌کنند و به علت کمبود انرژی، به آسانی حرکت می‌کنند و به قطب‌ها می‌رسند. به همین دلیل ابتدا مناطقی که در نزدیکی قطب‌ها هستند این تابش‌ها را دریافت می‌کنند و سپس نواحی نزدیک استوا که به وسیله میدان مغناطیسی زمین بهتر محافظت می‌شوند. فیلم شماره ۶ را برای دریافت بهتر تماشا کنید.

https://www.roshdmag.ir/u/20g

جاکوب کالسی فیزیک‌دان هلندی، با استفاده از اتاقک‌های یونیزاسیون، ثابت کرد که پرتوهای کیهانی کمترین مقدار خود را در ناحیه استوایی میدان مغناطیسی زمین دارند و شدت آن‌ها تا حدود ۱۰ درصد در شمالی‌ترین ارتفاعات افزایش می‌یابد.

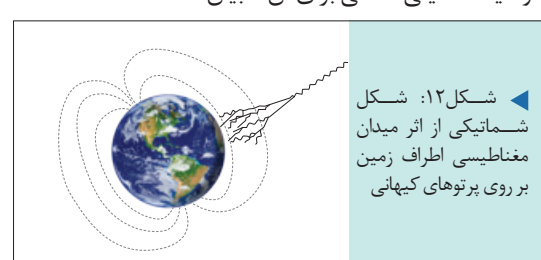
تغییرات شار پرتوهای کیهانی در بالای اتمسفر

یک وابستگی بین شدت پرتوهای کیهانی در انرژی‌های کمتر از ۱۰ GeV با فعالیت‌های خورشیدی وجود دارد. اگر فعالیت‌های خورشیدی ثابت بود، شار پرتوهای کیهانی کهکشان مانیز ثابت می‌شد، ولی به خاطر فعالیت‌های خورشیدی شار پرتوهای کیهانی تغییر می‌کند. داده‌های خورشیدی مربوط به فعالیت‌های خورشیدی که هر یازده سال یک بار اتفاق می‌افتند پلاسما مغناطیسی‌ای را که خورشید به وجود می‌آورد گسترش می‌دهند که باعث کاهش سرعت ذرات ورودی می‌شود. به خاطر ساختار میدان مغناطیسی، تنها برخی از پرتوهای کیهانی کهکشان ما به داخل منظومه شمسی نفوذ می‌کنند و آن به صورت یک محافظ عمل می‌کند. وقتی فعالیت‌های خورشیدی زیاد است، این محافظ قوی‌تر است و پرتوهای کیهانی کمتری به سطح زمین می‌رسند، و وقتی فعالیت‌های خورشیدی کمتر است، محافظ ضعیف‌تر است و پرتوهای کیهانی بیشتری به زمین می‌رسند. در شکل زیر شار پرتوهای کیهانی با توجه به فعالیت‌های خورشیدی مشخص شده است.



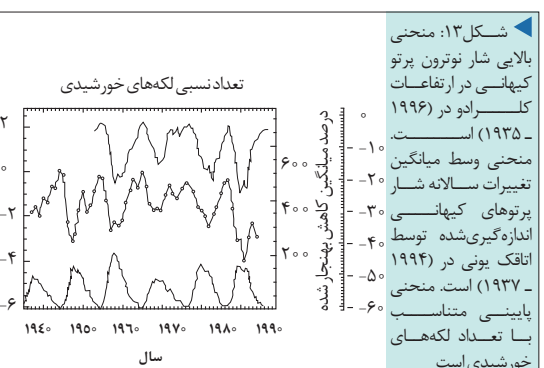
شکل ۱۱: منحنی عرض جغرافیایی پرتوهای کیهانی. مقدار کمینه در خط استوا اتفاق می‌افتد و مقدار بیشینه در عرض جغرافیایی قطب‌ها. منحنی‌ها نسبی‌اند، در ارتفاعات بالا شار پرتوهای کیهانی از هم جدا شده و با ارتفاع و فعالیت خورشیدی نوسان می‌یابند

اشترورمر کسی بود که نظریه منشأ شفق شمالی را بیان کرد و نشان داد که یک فضای مرکزی و اصلی در اطراف زمین وجود دارد که برای ذرات بارداری که از مسافت‌های خیلی دور به ما نزدیک می‌شوند، دست‌نیافتنی است. این نظریه برای پرتوهای کیهانی، با فرض اینکه این ذرات باردار از جهات مختلف به زمین می‌رسند، به کار رفت. پرتوهای کیهانی پرانرژی بر اثر میدان مغناطیسی زمین انحراف کمی پیدا می‌کنند در حالی که پرتوهای کیهانی کم‌انرژی در میدان مغناطیسی زمین انحراف زیادی دارند و مسیر حرکتشان بسیار پیچیده می‌شود و هیچ توصیف تحلیلی خاصی برای آن‌ها بیان نشده است.



شکل ۱۲: شماتیکی از اثر میدان مغناطیسی اطراف زمین بر روی پرتوهای کیهانی

علاوه بر فعالیت‌های خورشیدی و میدان مغناطیسی زمین، شدت تابش کیهانی به طول و عرض جغرافیایی و زاویه سمتی نیز بستگی دارد (وابستگی به طول جغرافیایی از این حقیقت ناشی می‌شود که محور دوقطبی مغناطیسی زمین با محور دوران زمین موازی نیست). همچنین شار کیهانی از جهت‌های شرقی و غربی به علت قطبش میدان وابسته به جاذبه زمین



شکل ۱۳: منحنی بالایی شار نوترون پرتو کیهانی در ارتفاعات کلرادو در (۱۹۹۶ - ۱۹۳۵) است. منحنی وسط میانگین تغییرات سالانه شار پرتوهای کیهانی اندازه‌گیری شده توسط اتاقک یونی در (۱۹۹۴ - ۱۹۳۷) است. منحنی پایینی متناسب با تعداد لکه‌های خورشیدی است

در نهایت ذرات پرتوهای کیهانی توسط میدان مغناطیسی زمین منحرف و در اتمسفر جذب می‌شوند، و چون انرژی کافی برای یونیزه کردن گازهای مختلف در بالای اتمسفر را دارند باعث سپیده‌دم زیبایی می‌شوند. در نیمکره شمالی به آن شفق شمالی و در نیمکره جنوبی به آن شفق جنوبی می‌گویند. این پرتوهای کیهانی کم‌انرژی را نمی‌توان به وسیله آشکارسازهای ذرات در سطح زمین آشکارسازی کرد. در فیلم شماره ۷ هم می‌توانید نمای زیبایی از شفق قطبی را از دید ساکنان ایستگاه فضایی در خارج از اتمسفر ببینید.

https://www.roshdmag.ir/u/20h

پی‌نوشت‌ها

1. Henri Becquerel
2. Wilson
3. Theodor Wulf
4. Domenico Pacini
5. Victor Hess
6. Werner Kolhorster
7. Robert Milikan
8. Dimitri Skobelzyn
9. Bruno Rossi
10. Geiger
11. Hideki Yukawa
12. Van Allen
13. Gottlieb
14. Pierre Auger
15. Homi J. Bhabha
16. Albert Einstein
17. Kneel
18. Ankle
19. photographic emulsions
20. cloud chambers
21. Geiger-Muller counters
22. Frank McDonald





نخ از کجا پاره می‌شود؟

یوسف مظهری خیاوی

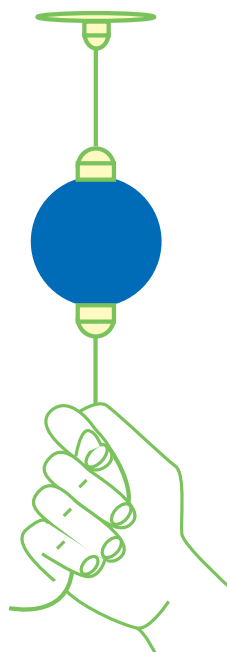
مشکین شهر، پژوهش سرای دانش‌آموزی دکتر حسابی

مقدمه

در این مقاله خواهیم دید - بسته به اینکه انتهای نخ سبک و آویزان شده از وزنه‌ای را (که خود این وزنه از نخ سبک دیگری، از نقطه‌ای ثابت، آویزان است) چگونه بکشیم، یکی از نخ‌ها و یا دیگری پاره می‌شود. درواقع، با کمک فرمول نویسی، برای پاره شدن هر کدام از نخ‌ها، شرطی کافی را برای شتاب وزنه، به دست می‌آوریم. نتایج به دست آمده با فرض سبک بودن نخ‌ها به دست می‌آیند که در این صورت خواهیم دید، مقدار جرم وزنه نقشی در نتایج به دست آمده ندارد.

بحث و بررسی

در شکل (۱) وزنه‌ای ساکن به جرم m از نخ با جرم ناچیز آویزان است و نخ مشابه دیگری نیز از پایین وزنه مذکور آویزان است. نخ پایینی را در راستای قائم به سمت پایین می‌کشیم. حال سؤال این است که تحت چه شرایطی نخ بالایی و تحت چه شرایطی نخ پایینی پاره می‌شود؟



شکل ۱

وقتی نیرویی به نخ می‌وارد، قبل از پاره شدن، در اثر کشش مقداری به طول آن افزوده می‌شود. بنابراین وقتی نخ پایینی را به سمت پایین می‌کشیم، در حالی که هیچ‌کدام از نخ‌ها هنوز پاره نشده است، وزنه به سمت پایین شروع به حرکت می‌کند

جهت مثبت را در راستای قائم، رو به پایین، در نظر می‌گیریم، پس بنا به فرمول قانون دوم نیوتن داریم:

$$T_1 + mg - T_2 = ma \quad (a > 0)$$

$$T_1 - T_2 = m(a - g)$$

اگر نخ پایینی را طوری به آرامی به سمت پایین بکشیم که بزرگی شتاب حرکت وزنه کمتر از بزرگی شتاب گرانش باشد، یعنی $a < g$ ، داریم:

$$(a - g) < 0 \Rightarrow T_1 < T_2 < T_{\max}$$

و با کشیدن نخ اول به سمت پایین، T_1 افزایش می‌یابد و مقدار T_2 نیز افزایش می‌یابد زیرا باید بیشتر از T_1 بماند و بنابراین نخ بالایی زودتر به آستانه پاره شدن می‌رسد و بدون پاره شدن نخ پایینی، نخ بالایی پاره می‌شود. اما اگر نخ پایینی را طوری ناگهانی به سمت پایین بکشیم که بزرگی شتاب حرکت وزنه بزرگ‌تر از بزرگی شتاب گرانش باشد، یعنی $a > g$ ، داریم:

$$(a - g) > 0 \Rightarrow T_2 < T_1 < T_{\max}$$

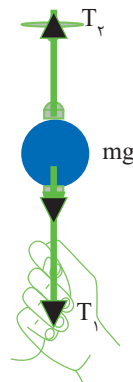
و با کشیدن نخ اول به سمت پایین، T_1 افزایش می‌یابد و نخ پایینی زودتر به آستانه پاره شدن می‌رسد و بدون پاره شدن نخ بالایی، نخ پایینی پاره می‌شود. از آنجا که عملاً a و g هرگز دقیقاً برابر نمی‌شوند (زیرا احتمال اینکه a و g دقیقاً برابر شوند صفر است) یعنی هرگز $a - g = 0$ نمی‌شود، بنابراین هیچ‌گاه T_1 و T_2 برابر نمی‌شوند و هیچ‌گاه نخ بالایی و پایینی هر دو پاره نمی‌شوند. اینکه مقدار جرم وزنه چه اندازه باشد تأثیری در نتایج گرفته شده ندارد، ولی اگر وزنه‌ای وجود نداشته باشد، یعنی $m = 0$ ، در این صورت نخ بالایی و پایینی به یکدیگر متصل هستند و $T_1 = T_2$ است، و بنابراین هر دو نخ با هم پاره می‌شوند. ولی در واقعیت این اتفاق نمی‌افتد. زیرا در معنای واقعی و عملاً دو نخ کاملاً مشابه وجود ندارد.

ممکن است پاسخ این سؤال را به‌طور غیردقیق براساس مقاومت وزنه در مقابل تغییر سرعت (اینرسی) بدهیم و بگوییم اگر نخ پایینی را به‌طور ناگهانی به سمت پایین بکشیم، این نخ و اگر آهسته بکشیم، نخ بالایی پاره می‌شود. ولی روشن است که پاسخ صحیح را باید با روشی متفاوت و با کمک فرمول‌نویسی داد.

اولاً باید دانست که برای هر نخ با جرم ناچیز، کشش نخ در تمام طول آن یکسان است. بنابراین، نیرویی که به انتهای نخ پایینی وارد می‌سازیم، برابر با کشش این نخ در تمام طولش است.

بدیهی است که افزایش کشش وارد شده بر هر نخ سرانجام باعث پاره شدن آن می‌شود. آستانه کشش نخ برای اینکه پاره نشود را با $T_{\max}$ نشان می‌دهیم. در این صورت نخ با کشش T ، در صورتی که $T < T_{\max}$ باشد، پاره نمی‌شود.

وقتی نیرویی به نخ می‌وارد، قبل از پاره شدن، در اثر کشش مقداری به طول آن افزوده می‌شود. بنابراین وقتی نخ پایینی را به سمت پایین می‌کشیم، در حالی که هیچ‌کدام از نخ‌ها هنوز پاره نشده است، وزنه به سمت پایین شروع به حرکت می‌کند. بنابراین شتابی رو به پایین خواهد داشت. کشش نخ پایینی را با T_1 و کشش نخ بالایی را با T_2 نشان می‌دهیم. بنابراین نیروهای وارد بر وزنه که در شکل زیر نشان داده شده عبارت‌اند از T_1 و T_2 .



<https://www.roshtmag.ir/u/205>



شتاب گرانش درون زمین

میشل دراگونی، دانشگاه بولونیا، ایتالیا
حسن قلمی باویل علیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

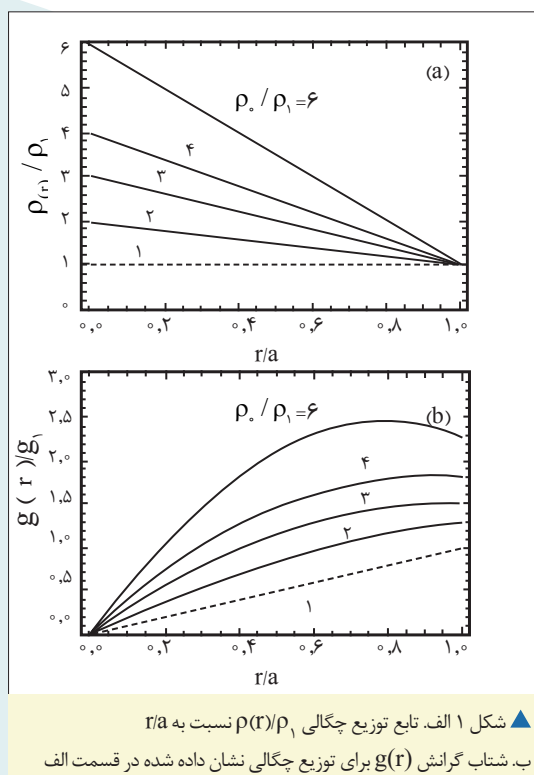
با استفاده از این فرض، می‌توان توزیع چگالی را از معادلهٔ آدامز - ویلیامسون^۲ به‌دست آورد که گرادیان چگالی شعاعی را با خواص الاستیک در یک سیاره با تقارن کروی، تحت شرایط هیدرواستاتیک، مرتبط می‌کند. حل معادله نیاز به دانستن سرعت موج لرزه‌ای دارد که تابعی از r است، و می‌تواند از داده‌های لرزه‌سنجی محاسبه شود. نمودارهای شتاب گرانش، به‌عنوان تابعی از متغیر r ، در سطح زمین، رفتار غافلگیرکننده‌ای را نشان می‌دهد^۳. گرانش تقریباً ثابت و برابر با مقدار سطح در کل گوشته (پوسته‌ای با ضخامت حدود ۳۰۰۰ کیلومتر) است که گفتیم ۸۴٪ از کل حجم زمین را تشکیل می‌دهد. این واقعیت را می‌توان براساس مدل سادهٔ زمینی با دو لایه نشان داد.

نقش اصلی مدل‌ها، تولید پدیده‌های قابل مشاهده و آشکارسازی روابط موجود بین مقادیر توصیفی از یک سیستم فیزیکی است. یک مدل همیشه سیستم را ساده‌سازی می‌کند، اما فقط چند جنبه را در نظر می‌گیرد، و بسیاری دیگر از جنبه‌ها به‌طور هدفمند مورد غفلت قرار می‌گیرند، چرا که به نظر نمی‌رسد برای مسئله مهم باشند. در این مقاله از مدل دو لایه استفاده می‌کنیم تا نشان دهیم که شتاب گرانش در گوشته، نسبت به مقادیر خاص بین شعاع هسته و شعاع زمین و چگالی زمین، ثابت است. به منظور روشن شدن این حقیقت، از مدل‌های ساده

شتاب گرانش در قسمت داخلی زمین براساس توزیع چگالی آن تعیین می‌شود. اما نتیجهٔ قابل توجه این است که شتاب تقریباً در سراسر گوشته، که حدود ۸۴٪ از حجم زمین را تشکیل می‌دهد، ثابت است. این نتیجه را می‌توان با یک مدل دو لایه‌ای ساده از زمین توضیح داد. علت عدم تغییر شتاب در گوشته به خاطر اندازه و چگالی هستهٔ زمین با توجه به اندازه و چگالی کل زمین است. در سایر سیارات، با توزیع متفاوت جرم، وابستگی شتاب به عمق و فاصله می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

شناخت میدان گرانش درون کرهٔ زمین از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا گرانش یکی از نیروهای اصلی کنترل حرکات درونی زمین، مانند حرکت‌های هم‌رفتی است که در هسته و گوشته رخ می‌دهد. این حرکت‌ها منشأ مبانی آشکارسازی فعالیت سیاره، مانند میدان مغناطیسی و دینامیک سطح (ساختمان‌شناسی لایه‌های زمین، آتشفشان، زمین‌لرزه) است. به‌ویژه، گرادیان دمایی بی‌دررو (یعنی حداقل شیب دما که امکان جابه‌جایی در یک مایع قابل فشرده شده را فراهم می‌کند) متناسب با شتاب گرانش است.^۱

محاسبهٔ شتاب گرانش درون زمین به دانش توزیع چگالی جرم در سطح زمین نیاز دارد. به‌عنوان اولین تقریب، می‌توان فرض کرد که زمین دارای تقارن کروی است، و چگالی آن فقط به شعاع r از مرکز سیاره بستگی دارد.



$$g(r) = -\frac{4}{3}\pi G\rho_0 r + \pi G \frac{\rho_0 - \rho_1}{a} r^2 \quad (6)$$

با قرار دادن $\rho_0 = \rho_1$ و $a=r$ ، شتاب را در سطح سیاره با چگالی یکنواخت ρ_1 به دست می آوریم.

$$g_1 = -\frac{4}{3}\pi G\rho_1 a \quad (7)$$

نمودار مربوط به تابع $g(r)/g_1$ در شکل ۱ ب، برای مقادیر متفاوت ρ_0/ρ_1 ترسیم شده است. مشاهده می شود که تابع $g(r)$ به طور کلی یکنواخت نیست. فقط در صورت $\rho_0/\rho_1 \leq 3$ ، تابع همیشه افزایش می یابد تا به مقدار $r=a$ برسد. اگر $\rho_0/\rho_1 > 3$ ، شتاب حداکثر در $r=r_0$ به وجود می آید.

$$\frac{r_0}{a} = \frac{2}{3} \frac{\rho_0}{\rho_0 - \rho_1} \quad (8)$$

در حالت $\rho_0 \gg \rho_1$ با افزایش نسبت ρ_0/ρ_1 ، سطح کروی در $r=r_0$ به مقدار مینیمم $r_0 = \frac{2}{3}a$ کاهش می یابد. بنابراین، توزیع چگالی بسیار ساده، همان طور که توسط معادله (۵) ارائه شده است با توجه به مقدار نسبت ρ_0/ρ_1 می تواند برش های مختلفی از $g(r)$ ایجاد کند. در حالت خاص، وقتی چگالی ρ یکنواخت است، همان طور که با خطوط نقطه چین در شکل ۱، نشان داده شده است، از معادله (۶) نتیجه می شود:

سیارات با تقارن کروی استفاده می شود. در این حالت شتاب گرانش در فضای داخلی آن سیارات با توجه به توزیع متفاوت چگالی براساس نظریه نیوتنی محاسبه می گردد.

شتاب گرانش

اگر a شعاع کره زمین و ρ چگالی آن باشد. می توان شتاب گرانش g در قسمت داخلی سیاره را به راحتی از رابطه زیر محاسبه کرد. با یادآوری اینکه قانون گرانش نیوتن مشابه قانون گاوس است، اگر شعاع کروی سطح باشد آنگاه:

$$g(r) = -\frac{Gm(r)}{r^2}, \quad (1)$$

که در آن G ثابت گرانشی و $m(r)$ جرم احاطه شده در شعاع r و حجم v است.

$$m(r) = \int_v \rho dv \quad (2)$$

اگر توزیع جرم دارای تقارن کروی باشد، یعنی چگالی ρ فقط به میزان فاصله از مرکز کره وابستگی داشته باشد، آنگاه به کمک انتگرال می توان جرم را به دست آورد.

$$m(r) = 4\pi \int_0^r \rho(r') r'^2 dr' \quad (3)$$

بنابراین از رابطه (۱) خواهیم داشت

$$g(r) = -\frac{4\pi G}{r^2} \int_0^r \rho(r') r'^2 dr' \quad (4)$$

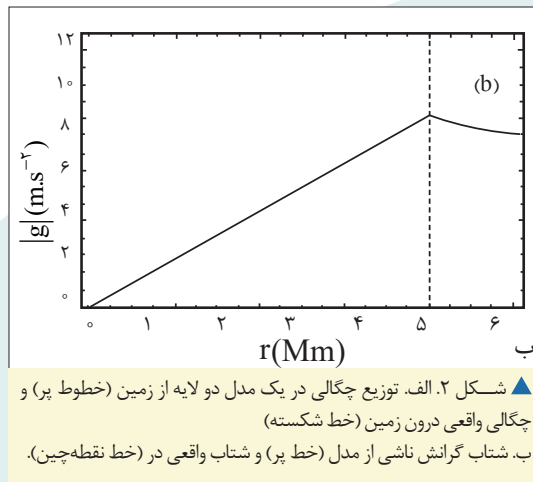
که در آن علامت منفی نشان می دهد که شتاب به سمت مرکز سیاره است.

سیاره با چگالی متغیر خطی

در سیارات، چگالی به طور معمول با عمق افزایش می یابد. در مورد زمین این افزایش مداوم از سطح به مرکز زمین عموماً تا پایان قرن نوزدهم رخ داده است.^۷ فرض کنید چگالی در مرکز سیاره ρ است و به طور خطی به مقدار ρ_1 در سطح کاهش می یابد، یعنی:

$$\rho(r) = \rho_0 - \frac{\rho_0 - \rho_1}{a} r \quad (5)$$

نمودار تابع $\rho(r)/\rho_1$ نسبت به ρ_0/ρ_1 برای مقادیر مختلف در شکل (۱-الف) ترسیم شده است. از معادله (۴) شتاب گرانش در سیاره زمین به دست می آید.



▲ شکل ۲. الف. توزیع چگالی در یک مدل دو لایه از زمین (خطوط پر) و چگالی واقعی درون زمین (خط شکسته)
ب. شتاب گرانش ناشی از مدل (خط پر) و شتاب واقعی در (خط نقطه چین).

از معادله (۴) می‌توان شتاب گرانش در هسته را که تابع خطی است به‌دست آورد:

$$g(r) = -\frac{4}{3}\pi G\rho_1 r, \quad 0 \leq r \leq r_1 \quad (12)$$

در حالی که در گوشته توسط آن رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$g(r) = -\frac{4}{3}\pi G \frac{(\rho_1 - \rho_2)r_1^3 + \rho_2 r^3}{r^2}, \quad r_1 \leq r \leq a \quad (13)$$

در یک سیاره همگن با چگالی ρ^* ، شتابی که در سطح تولید می‌شود چنین است:

$$g^* = -\frac{4}{3}\pi G\rho^* a \quad (14)$$

در شکل ۲-ب، بزرگی g شتاب تابع r از تابع توزیع چگالی داده شده در شکل ۲ الف ترسیم شده است. قابل توجه است که g تقریباً برحسب r در لایه بیرونی ثابت است. شتاب واقعی گرانش در زمین نیز برای مقایسه ترسیم شده است.

بحث

همان‌طور که در شکل ۲ الف نشان داده شده است، تابع توزیع چگالی درون زمین یک تابع ثابت نیست و برحسب r تغییر می‌کند و با افزایش عمق هم در هسته و هم در گوشته افزایش می‌یابد. با این حال، معادلات (۱۲) و (۱۳) تقریب خوبی برای هدف ما هستند، همان‌طور که در شکل ۲ ب نشان داده شده است.

از این نکته که g تقریباً در گوشته ثابت است، می‌توان به راحتی فهمید که شتاب گرانش در سطح یک توده کروی، متناسب با حاصل ضرب چگالی متوسط در شعاع کره است (معادله ۱۴).

(۹)

$$g(r) = -\frac{4}{3}\pi G\rho r$$

این نتیجه کاملاً شناخته‌شده‌ای است که شتاب گرانش به‌طور خطی با r کاهش می‌یابد. در واقع، طبق معادله (۴)، شتاب در هر عمقی متناسب با نسبت $m(r)/r^2$ است، که در آن m جرمی است که شتاب ایجاد می‌کند. هر چه عمق سیاره با چگالی ثابت بیشتر شود m متناسب با r^3 کاهش می‌یابد. بنابراین، نسبت $m(r)/r^2$ متناسب با r کاهش می‌یابد.

سیارهٔ دولایه

فیزیکدان آلمانی امیل ویکهورت^۶ اولین کسی بود که در سال ۱۸۹۶ مدل زمین با هسته آهنی و پوسته سنگی را، با تغییر چگالی در مرز بین این دو قسمت پیشنهاد کرد.^۷ به‌عنوان یک مدل تقریبی برای زمین، اجازه دهید دو مورد را در نظر بگیریم. سیارهٔ دو لایه‌ای با چگالی ثابت مانند

$$\rho(r) = \begin{cases} \rho_1, & 0 \leq r \leq r_1 \\ \rho_2, & r_1 < r \leq a \end{cases} \quad (10)$$

با فرض $\rho_1 > \rho_2$ و نیز می‌توانیم فرض کنیم که هستهٔ کره در فاصله $0 < r < r_1$ و گوشته در فاصله $r_1 < r < a$ است. میانگین چگالی سیاره برابر است با:

$$\rho^* = \frac{(\rho_1 - \rho_2)r_1^3 + \rho_2 a^3}{a^3} \quad (11)$$

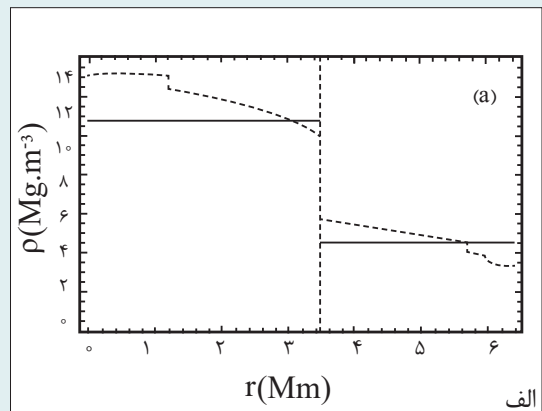
نمودار تابع $\rho(r)$ در شکل ۲ الف نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای^۸ وابسته به زمین برابر است:

$$a = 6371 \text{ km}, \quad r_1 = 3485 \text{ km}$$

$$\rho_1 = 10800 \text{ kg.m}^{-3} \text{ و } \rho_2 = 4500 \text{ kg.m}^{-3} \text{، پس از}$$

$$\text{محاسبه } \rho^* = 5530 \text{ kg.m}^{-3} \text{ به دست می‌آید. تابع توزیع}$$

چگالی واقعی در زمین نیز در شکل ۲ (الف) ترسیم شده است.



در حقیقت، معادله (۱۳) را برای شتاب در گوشته می‌توان به صورت زیر نوشت.

(۱۵)

$$g(r) = -\frac{4}{3}\pi G r \bar{\rho}(r)$$

که در آن

(۱۶)

$$\bar{\rho}(r) = \frac{(\rho_1 - \rho_r)r_1^3 + \rho_r r^3}{r^3}$$

این چگالی متوسط در یک کره به شعاع r و در بازه $r_1 < r < a$ برابر است با $\rho - (a) = \rho^*$

حاصل ضرب $r\bar{\rho}(r)$ برای کل کره زمین (یا برای قسمت‌های کروی زمین از جمله هسته) تقریباً یکسان است. به عبارت دیگر، حاصل ضرب $r\bar{\rho}(r)$ دارای یک مقدار ثابت در سراسر گوشته است.

در حقیقت

(۱۷)

$$r\bar{\rho}(r) = r_1\rho_1 \quad r_1 \leq r \leq a$$

به طوری که

(۱۸)

$$g(r) = g(r_1) \quad r_1 \leq r \leq a$$

این بدان معنی است که شتاب گرانش در هر نقطه از گوشته تقریباً برابر با سطح هسته است. به خصوص،

(۱۹)

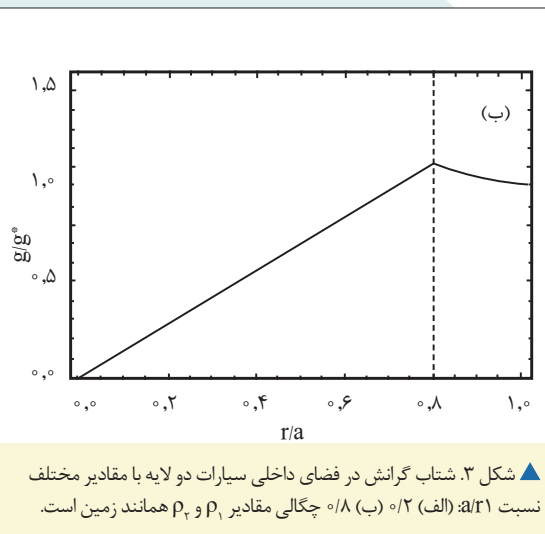
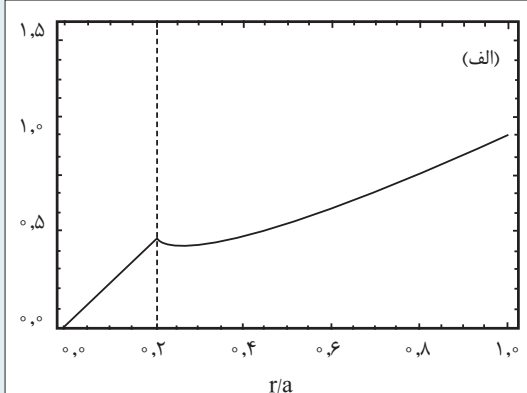
$$r_1\rho_1 \approx a\rho^*$$

هسته کوچک‌تر از کل کره زمین است، اما میانگین چگالی آن بالاتر است: به طوری که

(۲۰)

$$\frac{r_1}{a} \approx \frac{\rho^*}{\rho_1}$$

g/g^*



▲ شکل ۳. شتاب گرانش در فضای داخلی سیارات دو لایه با مقادیر مختلف نسبت a/r_1 : (الف) $0/2$ (ب) $0/8$ چگالی مقادیر ρ_1 و ρ_r همانند زمین است.

در این حالت، $r_1/a = 0/55$ و $\rho^*/\rho_1 = 0/51$ ، با اختلاف نسبی تقریباً ۷٪ به دست می‌آید. بنابراین شتاب $g(r)$ در سطح زمین تقریباً با شتاب $g(r)$ در سطح هسته برابر است و تأثیر گوشته این است که این مقدار را به طور کامل بدون تغییر در طول ۳۰۰۰ کیلومتر نگه می‌دارد.

این بدیهی است که ثابت بودن g در گوشته زمین تصادفی است و از ارزش‌های خاص نسبت‌های r_1/a و ρ^*/ρ_1 ناشی می‌شود. در سیارات دیگر، با مقادیر مختلف، نسبت‌ها و مشخصات گرانش درون سیاره می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

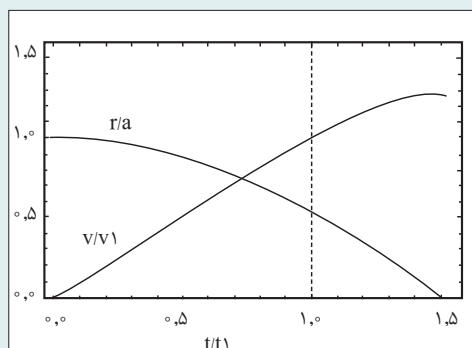
به عنوان مثال، اگر هسته کوچک‌تر باشد (مثلاً $r_1/a = 0/2$)، با همان مقادیر ρ_1 و ρ_r ، شتاب گرانش $g(r_1)$ در سطح هسته تنها ۴۷٪ از آن در سطح سیاره خواهد شد [شکل ۳ (الف)]. اگر هسته بزرگ‌تر باشد ($r_1/a = 0/8$)، ۱۲٪ بیشتر از $g(r)$ خواهد شد [شکل ۳ (ب)]. اتفاقاً، دو مقدار r_1/a به ترتیب به مقادیر نسبت داده شده به ماه و عطارد نزدیک هستند. در هر دو مورد یک شیب شعاعی قابل توجه از g در گوشته مانند هسته وجود دارد. این می‌تواند شیب دمایی بی‌دررو و نیروی شناوری را تحت تأثیر قرار دهد و ممکن است شرایط انتقال گرما را تغییر دهد.

سقوط آزاد در امتداد قطر

در سال‌های اخیر حرکت جسمی که در یک چاه فرضی در امتداد قطر مدل زمین در حال سقوط است مورد توجه بسیاری از نویسندگان قرار گرفته است. برای مدل کردن آن فرض می‌کنیم شتاب گرانش به طور خطی در هسته افزایش می‌یابد و در گوشته ثابت است. با این کار یک راه حل تحلیلی ساده ارائه

منابع

1. D.L., Anderson, Theory of the Earth (Cambridge University press, New York, 2007).
2. T. Lay and T.C. Wallace, Modern Global Seismology (Academic Press, London, 1995).
3. G.C. Brown and A.E. Mussett, The Inaccessible Earth, 2nd ed. (Chapman & Hall, London, 1993).
4. F. D. Stacey and P.M. Davis, Physics of the Earth, 4th ed. (Cambridge University Press, New York, 2008).
5. R. Snyder, "Two-density model of the Earth", Am. J. Phys. 54, 511-513 (June 1986).
6. A.J. Simoson, "The gravity of Hades", Math. Mag. 75 (5), 335- 350 (2002) and Hesiod's Anvil: Falling and Spinning through Heaven and Earth, No. 30 (Mathematical Association of America, 2007).
7. S. G. Brush, "Discovery of the Earth's core," Am. J. Phys. 48, 705-724 (Sept. 1980).
8. D.L. Turcotte and G. Schubert, Geodynamics, 3rd ed. (Cambridge University Press, New York, 2014).
9. A. R. Klotz, "The gravity tunnel in a non-uniform Earth", Am. J. Phys. 83, 231-237 (March 2015).
10. D. W. Pensell, "Flying Through polytropes", Am. J. Phys. 84, 192- 201 (March 2016).
11. S. Isermann, "Analytical solution Of gravity tunnels through an inhomogeneous Earth", Am. J. Phys. 87, 10-17 (Jan. 2019).
12. A. M. Dziewonski and D. L. Anderson, "Preliminary Reference Earth Model", Phys. Earth Planet. Inter. 25, 297 - 356 (1981).



▲ شکل ۴. مدل، مکان $r(t)$ و سرعت $v(t)$ جسم در امتداد قطر زمین در حالت دولا به را نشان می‌دهد. خط چین عمودی عبور از مرز گوشته - هسته را نمایش می‌دهد. مقادیر a و r_1 مفروض و $t_r \approx 1/5 t_1$ است.

نتایج

در کره زمین، مقادیر خاص نسبت‌های بین شعاع هسته و شعاع سیاره و نیز بین چگالی متوسط هسته و چگالی متوسط باعث افزایش شتاب تقریباً ثابت گرانش در سراسر گوشته زمین می‌شود. این واقعیت ناشی از نقش گرانش در کنترل دینامیک درونی زمین است. در سیارات دیگر، با تغییر مقادیر دو نسبت، وابستگی گرانشی به فاصله متفاوت و شرایط به روز همرفت حرارتی در گوشته را ایجاد می‌کند. در مدل دو لایه زمین، تقریب میدان در سراسر گوشته ثابت است و حل تحلیلی ساده برای سقوط آزاد یک جسم در یک چاه در امتداد قطر کره زمین را ارائه می‌دهد.

از مدل‌های ارائه شده در بالا می‌توان علاوه بر موارد ذکر شده با فرض چگالی یکنواخت، در کلاس‌های فیزیک مقدماتی یا کلاس‌های نجوم نیز استفاده کرد. مدل‌ها نشان می‌دهند که گرانش در فضای داخلی سیاره می‌تواند یک تابع غیرشهودی از عمق و فاصله باشند و تغییر در توزیع چگالی می‌تواند زمینه‌های گرانش مختلف را ایجاد کند و پیامدهایی بر دینامیک درونی سیاره داشته باشد. بنابراین آن‌ها می‌توانند در مبحث سیاره‌شناسی استفاده شوند. سرانجام، سقوط آزاد جسم در یک چاه در سراسر زمین دو لایه، تمرین مکانیک نیوتنی در حضور نیرویی است که تابعی از موقعیت و مکان است.

می‌دهیم. در این حالت معادله حرکت برابر است با:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = g(r), \quad (21)$$

که در آن t زمان است و

$$g(r) = \begin{cases} -\omega^2 r, & 0 \leq r \leq r_1 \\ -\omega^2 r_1, & r_1 < r \leq a \end{cases} \quad (22)$$

با

$$\omega^2 = \frac{4}{3} \pi G \rho_1 \quad (23)$$

اگر حرکت از $t=0$ شروع شود، حل برای گوشته خواهد شد:

$$r(t) = a - \frac{1}{2} \omega^2 r_1 t^2. \quad (24)$$

جسم به مرز گوشته و هسته در زمان زیر خواهد رسید:

$$(25)$$

$$t_1 = -\frac{v_1}{\omega^2 r_1}$$

در این حالت سرعت آن برابر است با:

$$(26)$$

$$v_1 = -\omega \sqrt{2r_1(a-r_1)}.$$

برای $t \geq t_1$ ، حرکت در هسته برابر است با:

$$r(t) = r_1 \cos \omega(t-t_1) + \frac{v_1}{\omega} \sin \omega(t-t_1) \quad (27)$$

تا زمان

$$t_r = t_1 + \frac{1}{\omega} \arctan \frac{1}{\omega t_1} \quad (28)$$

وقتی جسم با سرعت زیر به مرکز زمین می‌رسد:

$$v_r = v_1 \sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 t_1^2}}. \quad (29)$$

به‌طور مشابه حرکت در نیمکره دیگر تکرار می‌شود و زمان مورد نیاز برای عبور از کل کره زمین $2t_r$ خواهد شد یعنی $37/4$ دقیقه. اگر از مقادیر ρ_1 ، r_1 در فرض در بالا استفاده کنیم، نزدیک به $38/2$ دقیقه (طبق PREM) به دست می‌آید. تابع مکان و سرعت بر حسب زمان در شکل ۴ نشان داده شده است.



تازه‌های پژوهش در جهان فیزیک

علی رادپی
احمد رضا اعرابی

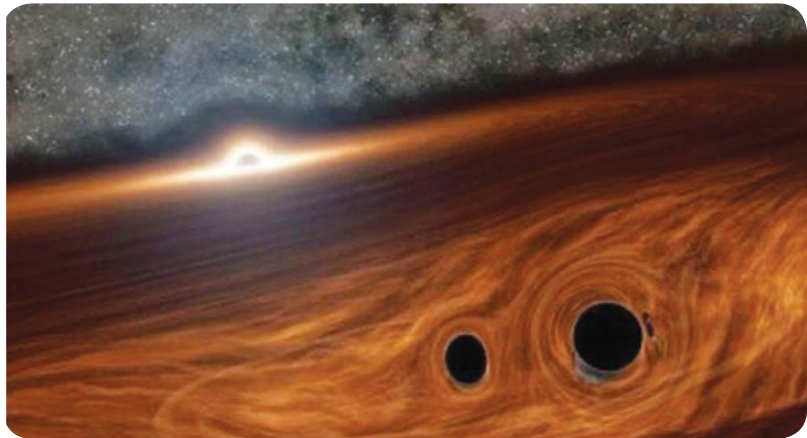
۱. افزایش قدمت تشکیل حلقه‌های کهکشانی



پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که حلقه‌های کهکشانی ناشی از مه‌بانگ در زمان کوتاه‌تری (نسبت به لحظه انفجار) از آنچه قبلاً فکر می‌شد ایجاد شده‌اند. دانشمندان با استفاده از یک رادیو تلسکوپ قدرتمند و مشاهده طولانی مدت یک کهکشان، که دارای یک حلقه چرخان با گاز سرد است، به این نتیجه رسیده‌اند. می‌دانیم کهکشان‌ها، که منابع عظیم جاذبه‌اند، از ستاره‌ها، گازهای قابل مشاهده و ماده تاریک تشکیل شده‌اند. آگاهی ما از چگونگی تشکیل و گسترش کهکشان‌ها برای درک چگونگی ایجاد ماده در ساختار بزرگ ضروری است. طبق درک فعلی ما از کیهان‌شناسی، نخستین ساختارهای بزرگ در جهان هستی، ماده تاریک کروی بوده است که، این ماده تاریک، در اثر نیروی جاذبه خود رمیش کرده و مواد اطراف خود را به درون خود کشیده است. گرچه مسیر حرکت گازها مشخص نیست ولی گازهایی که دمای پایین‌تری داشته‌اند زودتر توانسته‌اند حلقه‌های کهکشانی را تشکیل دهند. به همین دلیل امکان داشته است که این حلقه‌ها یک و نیم میلیارد سال نوری زودتر تشکیل شوند.^۱

۲. سیاه‌چاله یا ستاره نوترونی

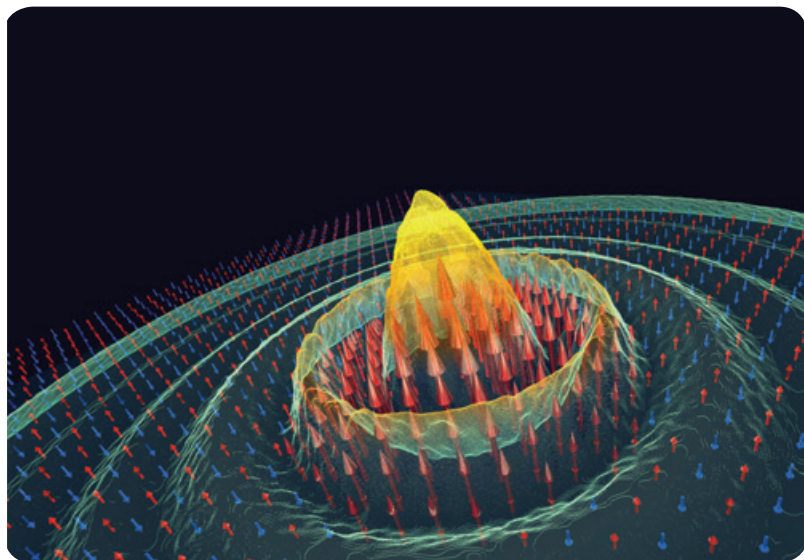
شیئی در فاصله بسیار دور، که به نظر می‌آید یک سیاه‌چاله کوچک یا یک ستاره نوترونی بزرگ باشد، به وسیله آشکارسازهای امواج گرانشی LIGO و VIRGO- مشاهده شده است. LIGO و Virgo از سه تداخل‌سنج بزرگ تشکیل شده‌اند که می‌توانند امواج گرانشی ناشی از ادغام سیاه‌چاله‌ها و همچنین ستاره‌های نوترونی را تشخیص دهند. ستارگان نوترونی و سیاه‌چاله‌های ستاره‌ای آخرین مرحله تکامل ستاره‌های بزرگ هستند و سیاه‌چاله‌ها از ستارگان نوترونی عظیم‌ترند. آنچه در مورد این شیء که در اوت ۲۰۱۹



کشف و GW۱۹۰۸۱۴ نامیده شد باید بدانیم این است که ما هنوز اطلاع نداریم که آیا این جسم سنگین‌ترین ستاره شناخته شده نوترونی است یا سبک‌ترین سیاه‌چاله شناخته شده؛ اما در هر صورت رکوردهای ثبت شده پیشین را به هم می‌زند. نکته دیگر این است که برخلاف ستاره‌های نوترونی، این شیء هیچ گونه تابش مغناطیسی ندارد.^۲

۳. ایجاد مغناطیس با تابش نور

مواد مغناطیسی، به دلیل توانایی‌شان در ذخیره‌سازی دائم اطلاعات در حالت مغناطیسی، اصلی‌ترین نقش را در فناوری محاسبات داشته‌اند. فناوری‌های فعلی مبتنی بر فرومغناطیس‌هاست که حالت‌های مغناطیسی آن‌ها را می‌توان به راحتی چرخاند، اما دستگاه‌های نسل بعدی سریع‌تر، متراکم‌تر و قوی‌تر هستند و با استفاده از طبقه‌ای متفاوت از مواد، معروف به ضد مغناطیس‌ها^۳ تولید می‌شوند؛ با این حال، کنترل حالت مغناطیسی آن‌ها بسیار دشوار است. اخیراً یک گروه تحقیقاتی از دانشگاه آکسفورد موفق شده‌اند، با استفاده از نور تراهرتز، یک ضد فرومغناطیس نمونه



اولیه را به ماده‌ای مغناطیس تبدیل کنند. فرومغناطیس‌ها از نظر عملکردی کند عمل می‌کنند و در برابر میدان‌های مغناطیسی مزاحم واکنش نشان می‌دهند. همچنین مستعد خطا هستند و نمی‌توان آن‌ها را خیلی و نزدیک با هم جمع کرد. ضد مغناطیس‌ها جایگزین‌های هیجان‌انگیزی هستند. برخلاف فرومغناطیس‌ها، آن‌ها هیچ خاصیت مغناطیسی ماکروسکوپی ندارند، و از آهن‌رباهای میله‌ای در اندازه اتم تشکیل شده‌اند. همچنین آن‌ها تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی قرار نمی‌گیرند، و این باعث می‌شود برای ذخیره‌سازی اطلاعات بسیار مناسب باشند. اکنون چالش محققان یافتن راه‌هایی برای تغییر قابل اعتماد حالت مغناطیسی این ضد مغناطیس‌هاست. در روش‌های جدید، پژوهشگران به جای فشار بر بلور در یک راستای مشخص و ایجاد حالات مغناطیسی در آن، که ممکن بود باعث شکستن بلور هم بشود، از باریکه نور در فرکانس‌ها و قطبش‌های متفاوت استفاده می‌کنند. این تکنیک باعث ایجاد خاصیت مغناطیسی تا ۴۰۰ برابر بیشتر در ماده می‌شود و سرعت افزایش میدان مغناطیسی را تا ۱۰۰ پیکو ثانیه کاهش می‌دهد. همچنین با تغییر قطبش نور می‌توان جهت آهن‌ربایی را نیز تغییر داد. تصویر بالا اتم‌های بلور ضد مغناطیسی COF_۲ را به صورت فلش‌های آبی و قرمز در جهت عکس نشان می‌دهد که تحت یک باریکه نوری تراهرتز قرار گرفته و هم جهت شده و تبدیل به یک ماده فرو مغناطیس می‌شوند.^۴

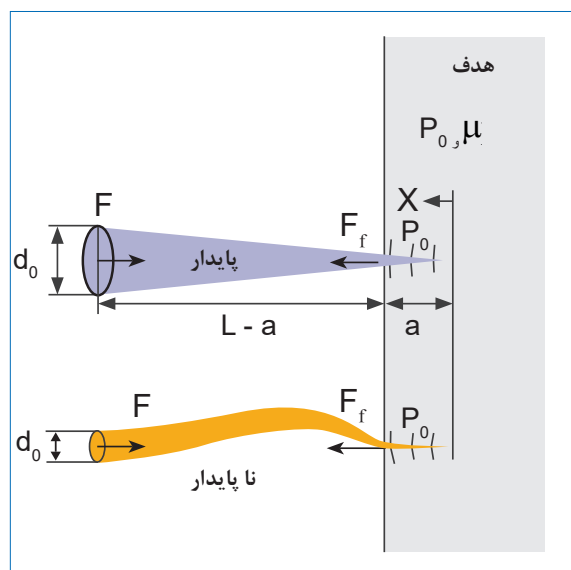
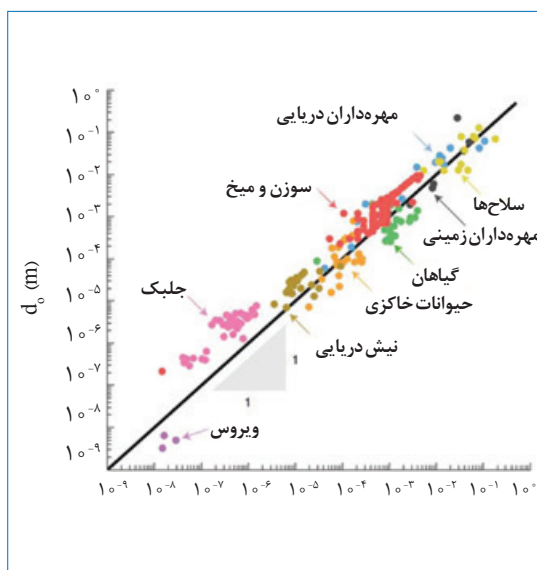
۴. نیش طبیعی و نیش مصنوعی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نیش گیاهان و جانوران علیرغم تفاوت‌ها و عمل کردهای متفاوتشان، شباهت‌های ذاتی زیادی با هم دارند؛ از جمله هر دو آنقدر سخت هستند که می‌توانند بدون خم شدن در محل گزش فرو روند. پژوهشگران دانشگاه دانمارک با بررسی ۲۰۰ مورد از نیش‌های طبیعی و مصنوعی؛ مثلاً نیش زنبور و خارهای کاکتوس و سوزن‌های سرنگ‌های زیرپوستی و ... توانسته‌اند رابطه بین طول نیش (L) و ضخامت نیش (d_0) را به دست آورند. تصویر زیر مقایسه بین دو نیش پایدار و ناپایدار را نشان می‌دهد.

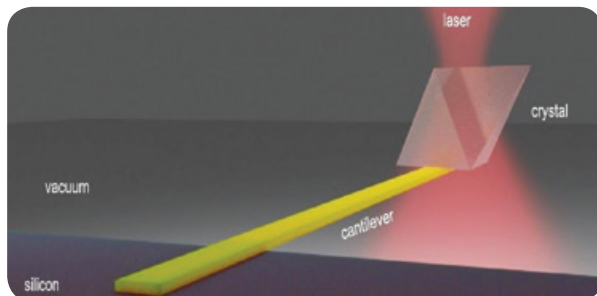


مقایسه نیش پایدار و ناپایدار

برای نفوذ نیش به یک هدف، نیروی F که به نیش وارد می‌شود تا فرو رود باید از یک طرف به اندازه‌ای باشد که بتواند بر نیروی اصطکاک F_f غلبه کند و از طرف دیگر نباید آن قدر زیاد باشد که سبب خم شدن آن شود. کم شدن ضخامت نیش و یا افزایش طول آن باعث خم شدن نیش خواهد شد. بلند شدن طول نیش به مواد بیشتری نیاز دارد و کوتاه شدن آن از دامنه تأثیرش می‌کاهد. همچنین نیروی وارد بر نیش باید در حدود نیروی مقاومت و کمتر از نیروی خم شدن نیش باشد. در ضمن، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین طول نیش و ضخامت آن رابطه خطی وجود دارد که در نمودار زیر این وضعیت نشان داده شده است. در رابطه خطی مذکور ضریب تناسب برابر نیروی اصطکاک بر واحد سطح نیش μp_0 و E نیز مدول یانگ^۵ می‌باشد. نکته قابل توجه در نمودار مربوط به نیش‌های طبیعی این است که همیشه از الگوی رابطه خطی پیروی نمی‌کنند؛ و این در مواردی است که هنگام نیش زدن، مقداری نیش خم می‌شود و یا در بعضی گیاهان خارها تو خالی هستند^۶.



۶. لیزر سرماساز



قاعده کلی این است که تابش لیزر به اجسام باعث بالا رفتن دما و حتی ذوب آن‌ها می‌شود، ولی اخیراً پژوهشگران توانسته‌اند با تاباندن لیزر به اجسام دمای آن‌ها را کاهش دهند. در سال ۲۰۱۵، محققان دانشگاه واشنگتن اعلام کردند که می‌توانند از لیزر برای خنک کردن آب و سایر مایعات استفاده کنند. اکنون همان محققان از یک روش مشابه برای خنک کردن یک نیم‌رسانای جامد استفاده کرده‌اند. آن‌ها با

استفاده از یک لیزر مادون قرمز دمای این نیم‌رسانا را ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده‌اند که این کار می‌تواند زمینه‌های متفاوتی را، از تصویربرداری زیستی گرفته تا ارتباطات کوانتومی، متحول سازد. یک بلوک سیلیکونی (نیم‌رسانا) به‌طور طبیعی در دمای اتاق دچار نوسانات حرارتی خواهد شد. این نوسانات نیم‌رسانا باعث شده است تا از آن در حسگرهای متفاوتی مانند حسگر شتاب، جرم، دما و ... در گوشی‌های هوشمند استفاده شود. اما اینک با تاباندن نور لیزر مادون قرمز به نیم‌رسانا باعث کاهش ارتعاش‌های آن و در نتیجه خنک شدن آن می‌شوند. فرکانس‌های تابش شده از نیم‌رسانا کاهش دمای نیم‌رسانا را تأیید کند.^۷

۷. معرفی ایزوتوپ جدید: Mendelevium-244



گروهی از پژوهشگران آزمایشگاه دانشگاه برکلی شکل جدیدی از عناصر ساخته شده به دست انسان را کشف کرده‌اند. ایزوتوپ تازه ایجاد شده. مندلیوم ۲۴۴ (mendelevium-244)، هفدهمین و سبک‌ترین شکل مندلیوم، یعنی عنصر شماره ۱۰۱ در جدول تناوبی است.

مندلیوم را اولین بار دانشمندان آزمایشگاه برکلی در سال ۱۹۵۵ ایجاد کردند. در جدیدترین کشف، پژوهشگرها به کمک یک شتاب‌دهنده ۸۸ اینچی، که در تصویر بالا مشاهده می‌کنید، ایزوتوپ men-244 تولید کردند. کشف این ایزوتوپ جدید چالش برانگیز است، زیرا همه ایزوتوپ‌های

همسایه مندلیوم دارای خواص تلاشی بسیار مشابه هستند. محققان شواهدی یافته‌اند که نشان می‌دهد مندلیوم ۲۴۴ دارای دو زنجیره تلاشی جداگانه است که هر یک نیمه عمر متفاوتی دارند، یکی ۴، ۰ و دیگری ۶ ثانیه.^۸

پی‌نوشت‌ها

1. Nature 581, 267-268(2020)
2. Physics World 24 Jun 2020
3. antiferromagnets
4. phys. org/ news/ 2020-06-magnetism. html

۵. مدول یانگ یا مدول الاستیسیته، نسبت نیروی تنش به نیروی کرنش یک جامد خطی است.

6. Physicstoday. scitation. org/do/10.1063/PT.6.1.20200619a/ full/
7. Phys. org/news/2020-06-laser-solid-state. refrigeration- semiconductor- material. html
8. Phys. org/ news/ 2020-06-isotope-mendelevium- html.



جایگاه باتری‌ها در خودروهای الکتریکی



۲۰ ROSHAN آبان

شبکه ملی مدارس ایران (رشد)

- محتوای کلیه کتاب های درسی از پایه اول تا پایه دوازدهم به تفکیک دوره و پایه
- بارگذاری کلیه شماره مجلات رشد تخصصی تا خردادماه ۱۳۹۹
- راه اندازی سرویس پویش درس خانه ویژه اشتراک گذاری فیلم های درسی تولید معلمان
- معرفی کتاب های آموزشی و داستانی مناسب و مفید برای دوره ها پایه های مختلف تحصیلی