

# فصلنامه علمی-دانشجویی سای

شماره ۴۰ / زمستان ۱۴۰۱

انجمن علمی دانشجویی فیزیک دانشگاه الزهراء (س)

پرونده ویژه این شماره:

- گفت‌وگو با جناب آقای دکتر امیرحسین فتح الهی (عضو هیئت علمی دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه الزهراء (س))
- فیزیک و جهان شگفت انگیز بلورهای برف
- دنیای شگفت انگیز انیون‌ها
- سفر به قلب راکتورهای هسته‌ای
- تحول حوت به حمل
- مقدمه‌ای بر فیزیک اعصاب
- نگاهی بر تقویم‌های رایج
- اخبار روز فیزیک
- گاه‌شمار کیهانی
- فراسوی آسمان



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# شناسنامه‌ی نشریه

فصلنامه‌ی علمی - دانشجویی سای / شماره‌ی ۴۰ / زمستان ۱۴۰۱

- صاحب امتیاز: انجمن علمی فیزیک دانشگاه الزهرا(س)
  - مدیر مسئول: فاطمه سادات صوفباف
  - سردبیر: نرگس رستمی
  - استاد مشاور: جناب آقای دکتر حسین حکیمی پژوه
  - طراحی جلد و صفحه آرایی: روناک قزلوند
  - ویراستاران : نرگس رستمی، فاطمه سادات صوفباف، الهام خلیلی، حدیث سلیمانی
  - اعضای هیئت تحریریه: معصومه محمدی، نفیسه معصومیان، فاطمه مطلبی، رودینا دیسه، فاطمه صادقی، حدیث سلیمانی، سولماز صدرالدینی، صبا الهیاری، پرستو سربازی، مریم قربانی، ملیکا شایق، ریحانه طرقي، فاطمه سادات صوفباف، صهبا خان احمدی، نرگس رستمی، زهرا شیخانی‌نژاد، آمنه مقدم سلیمی، زهرا بختیاری، فاطمه افشاری‌پور
  - نشانی: ایران، تهران، خیابان ده ونک، دانشگاه الزهرا (س)
  - کد پستی: ۱۹۹۳۸۹۳۹۳۷
- کلیه حقوق مطالب چاپ شده در این نشریه، متعلق به نویسنده اثر است.



تلگرام: @Phi\_JournalPhysics



ایتا : @Phi\_JournalPhysics

رایانامه: Phi.JournalPhysics@gmail.com

# فهرست

سرمقاله

اخبار روز فیزیک

۱

۴

خبر۱: چگونه نظریه‌ی آشوب، دوحوزه‌ی به ظاهر متفاوت فیزیک را به هم مرتبط می‌کند؟

۷

خبر۲: ریاضیدانان، بی‌نهایت پیکربندی ممکن را برای سیاه‌چاله پیدا کردند.

۱۱

خبر۳: شکست رکورد پرتاب لیزر در اهروی دانشگاه مریلند

۱۴

خبر۴: مشاهده‌ی ایشیا، بدون نگاه کردن به آن‌ها با استفاده از مکانیک کوانتومی

۱۷

گاه‌شمارکیهان

۲۰

فراسوی آسمان (توضیح رویدادهای نجومی)

سفری به قلب راکتورهای هسته‌ای

۲۶

(با نگاهی به کاربرد حیاتی کروماتوگرافی در حفظ و بهبود عملکرد آن‌ها)

۳۴

مصاحبه با دکتر امیرحسین فتح‌اللهی (عضوهیئت علمی دانشکده فیزیک الزهرا(س))

۴۴

تحول حوت به حمل

۴۸

نگاهی بر تقویم‌های رایج

۵۲

بوزون‌ها، فرمیون‌ها و حالا اینیون‌ها، به دنیای شگفت انگیز اینیون‌ها خوش آمدید! (۱)

۵۸

به یاد دکتر مسعود علی‌محمدی (استاد فیزیک دانشگاه تهران)

۶۰

فیزیک و جهان شگفت انگیز بلورهای برف

۷۲

مرگ پایان ستاره هانیست. (به یاد دکتر «آلنوش طریان»، مادر نجوم ایران)

۷۴

مقدمه‌ای بر فیزیک اعصاب

۸۴

معرفی کتاب: آقای تامپ کینز در سرزمین عجایب، سرگذشت فیزیک

۸۶

جدول فیزیکی

۸۸

پاسخ تمرین و جدول (شماره ۳۹)

۹۱

فراخوان دعوت به همکاری



## سرمقاله

# «به نام خداوند لوح و قلم»

باری دیگر، طبیعت رخت سفیدش را به تن کرد و آرمید؛ زمستانی دوباره آغاز شد و دفترچه‌ی سال را به دست گرفت و برگ‌های آخرش را به سرعت ورق زد.

یک سال دیگر، چشم به هم‌زدنی با تمام اتفاق‌های خوشایند و ناخوشایندش رو به پایان است و مژده آمدن سالی بهتر را به همگان می‌دهد.

زمستان برای همه فرصتی شد تا برنامه‌های یک‌ساله‌ی خود را تند تند ورق بزنیم و کارهای نیمه‌تمام را به اتمام برسانیم تا با ذهنی آرام به استقبال سال نو برویم و خانه‌ها و دل‌هایمان را از هرغباری پاک کنیم و بهار جدیدی از زندگی‌مان را آغاز کنیم.

امسال، زمستان میزبان شعبان بود و گویی زمستان و بهار با هم ملاقات کردند و زودتر از آمدن فصل بهار، دل‌هایمان را بهاری کرد و یادآور شد که برای سال نو تلاش کنیم تا خود را برای ظهورش آماده سازیم.

هفت سین امسال را می‌اندازیم، دور آن جمع می‌شویم، گوی عشق خانواده را باهم روشن می‌کنیم، **یا مقلب القلوب...** گویان، در انتظار لحظه‌ی تحویل سال، به امید روزهایی بهتر می‌نشینیم و نوروزمان را به مهمانی خداوند دعوت می‌شویم.

**فرخنده باد! سال نو، با سلام به منجی عالمیان، مهدی موعود، حضرت ولی عصر ارواحنا فداه.**

نشریه سای، سالی پر از شادی و سلامتی را برای همگان آرزومند است.

اسفند ماه ۱۴۰۱

فاطمه سادات صوف‌باف-مدیرمسئول نشریه سای



# لبخند آدم برفی

سکوت دلنشینی، همه جا را فرا گرفته است؛ سکوتی همراه با شور زمستانی، شوری که مرواریدهای زمستانی هنگام تولد از ابر به زمین به پا کرده اند . صدای خنده های ریز مرواریدهای شاد، مرا از دنیای خواب و رویا، وارد دنیای سفید پوش زمستانی کرد.

به کنار پنجره ی کلبه ی کوچکی جنگلی رفتم، پرده ی چشمان کلبه را کنار زدم، لباس سفید طبیعت مرا حیرت زده کرد، گویی این دانه های برفی، ساقدوش های بازیگوشی هستند که آمده اند تا مرا برای جشن عروسی این طبیعت زیبا فرا بخوانند.

جشنی که هر ساله، در انتظارش هستم؛ با شتاب، از کلبه خارج شدم، خودم را در آغوش این عروس زمستانی رها کردم؛ ناگهان، نگاهم به آدم برفی کنار کلبه، گره خورد. آدم برفی، لبخندی بر لب داشت، اما لبخندش از هر ناله و فریادی فراتر بود؛ انگار، چیزی می طلبید؛ اما نمی دانست، به که بگوید ؟ اصلا چه بگوید؟

توجهم را جلب کرد؛ و همان گونه که در این سبد پنبه ای زمین، چرخ می زدم و می خندیدم؛ نزد آدم برفی رفتم؛ به چشمانش نگاه کردم؛ تا لب باز کردم که بپرسم: « قضیه از چه قرار است؟» شروع به گریه کرد؛ اشک هایش همانند الماسی درخشان بود؛ مرا به خود جلب کرد و شدم غافل از دل سوخته ی آدم برفی .

به سخن درآمد و گفت: «در انتظار خورشیدم ، اما رخ نمی نماید.»

خورشید که صدای اندوهگین آدم برفی را شنیده بود؛ از طریق دانه های برفی، پیغامی فرستاد. « اگر بیایم، تو نابود می شوی .»

آدم برفی فریاد برآورد و این چنین گفت:

«چه شد در من ؟ نمی دانم! فقط دیدم پریشانم،

فقط یک لحظه فهمیدم، که خیلی دوستت دارم!» [۱]





خورشید با شنیدن این سخن، به لرزه درآمد و رخ نمود.  
آدم برفی، در وصال خورشید با شور و شغف و خوشحالی، شروع به خندیدن و آواز خواندن کرد؛ اما غافل از این که گرمای عشق خورشید، سبب نابودی اش می شود؛ در همین حین، آدم برفی لب به سخن گشود و گفت:

« ای دل، بسوز که سوختنت به یک باره است    پرپر شدن برای عشق راه چاره است  
آن دم که با تمام وجود عاشقت شدم    اینک نگر که این دل من پاره پاره است» [۲]

من با دیدن این صحنه، با حیرت و دلسوزی گفتم:

«غبطه همی خورم به عشقت، ای بی خبر    لیک عقل و عشق نباشد به یک جا به سر» [۳]  
آدم برفی با ریشخندی به من گفت:

« در نیابد حال پخته هیچ خام    پس سخن کوتاه باید والسلام» [۴]

من با ناراحتی به طرف کلبه بازگشتم و از دور، نظاره گر آب شدن و بخار شدن آدم برفی بودم. آدم برفی نابود شد؛ اما به ظاهر، او به طرف خورشید رفت و این دو به وصال یکدیگر رسیدند؛ در فصل بهار، از عشق خود بارانی ساختند و در هر سرزمینی که عشقشان باریده می شد، عشق و محبت در آن جا، جوانه می زد.

روزی از کنار رودخانه ای عبور می کردم که صدای آشنای آدم برفی را از درون رودخانه، شنیدم که می گفت:

« وین نغمه ی محبت بعد از من و تو ماند    تا در زمانه باقی ست آواز باد و باران» [۵]  
آری! آری، این صدای آشنای آدم برفی عاشقی بود که از نگاه من مرده بود؛ اما با عشق خود زنده ماند و به جاودانگی رسید.

زمستان ۱۳۹۷

نویسنده: فاطمه سادات صوف باف-مدیرمسئول

منابع:

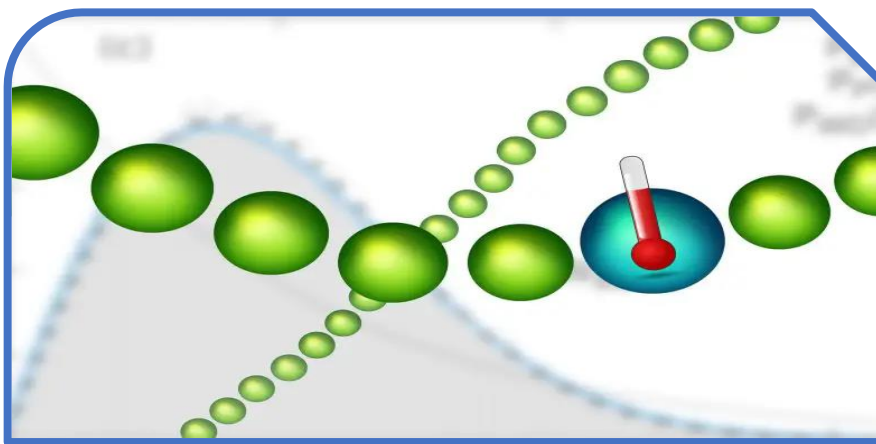
۱. نجمه زارع
۲. نام مستعار: لین خوچون-shereno.com
۳. فاطمه سادات صوف باف
۴. مولانا، مثنوی معنوی، دفتر اول

# چگونه نظریه‌ی آشوب، دو حوزه‌ی به ظاهر

## متفاوت فیزیک را به هم مرتبط می‌کند؟

معصومه محمدی، دانشجوی کارشناسی فیزیک، ورودی ۱۴۰۰، دانشگاه الزهراء (س)  
ویراستار: حدیث سلیمانی، فارغ‌التحصیل رشته‌ی سیستم‌های پیچیده و فیزیک آماری، دانشگاه الزهراء (س)

یک مطالعه‌ی جدید در TUWien (دانشگاه فنی وین) نشان داده‌است که نظریه‌ی آشوب، چگونه دو نظریه‌ی کوانتوم و ترمودینامیک که دو حوزه‌ی ظاهراً جدا از هم در علم فیزیک هستند را به هم مربوط می‌کند.



تصویر: یکی از ذرات به عنوان «دماسنج» عمل می‌کند. کل سیستم روی کامپیوتر شبیه سازی می‌شود. [۱]

یک ذره‌ی منفرد، دارای دما نیست و فقط انرژی یا سرعت خاصی دارد. تنها زمانی می‌توان یک دمای خوش تعریف به دست آورد که تعداد زیادی از ذرات با توزیع سرعت تصادفی وجود داشته باشند. رابطه‌ی بین ترمودینامیک و فیزیک کوانتومی موضوعی است که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌است. محققان در دانشگاه فنی وین با استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، این رابطه را بررسی کرده و دریافته‌اند که آشوب نقش قابل توجهی در آن ایفا می‌کند. این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد، فقط در صورت وجود آشوب، می‌توان قوانین ترمودینامیکی را از فیزیک کوانتومی استنتاج کرد.



## • بولتزمن: همه چیز ممکن است، اما ممکن است بعید باشد.

مولکول‌های هوا که به طور تصادفی در یک اتاق حرکت می‌کنند، می‌توانند تعداد غیر قابل تصویری از حالت‌های مختلف را به خود بگیرند؛ برای هر ذره‌ی منفرد مکان‌های مختلف و سرعت‌های متفاوت مجاز است، اما احتمال وقوع تمام این حالت‌ها یکسان نیست. پروفیسور ایوا برزینووا<sup>۲</sup> از موسسه‌ی فیزیک نظری در TUWien می‌گوید: «از نظر فیزیکی ممکن است تمام انرژی این فضا به یک ذره‌ی منفرد منتقل شود، سپس با سرعت بسیار بالایی حرکت کند در حالی که تمام ذرات دیگر ساکن هستند. اما این موضوع به قدری بعید است که عملاً هرگز مشاهده نخواهد شد.»

احتمال حالت‌های مجاز مختلف را می‌توان براساس فرمولی<sup>۳</sup> که لودویگ بولتزمن<sup>۴</sup>، فیزیکدان اتریشی، براساس قواعد فیزیک کلاسیک وضع کرده محاسبه کرد و از این توزیع احتمال می‌توان گفت: «دما، فقط برای تعداد زیادی از ذرات تعریف می‌شود.»

## • تمام جهان به عنوان حالت کوانتومی واحد

زمانی که با فیزیک کوانتومی سروکار داریم، به دلیل وجود تعداد زیادی از ذرات کوانتومی مشکلاتی ایجاد می‌شود. این ذرات کوانتومی، به صورت همزمان در این بازی هستند و معادلات نظریه‌ی کوانتومی آن‌قدر پیچیده می‌شود که حتی بهترین ابررایانه‌های جهان نیز شانس برای حل آن‌ها ندارند.

در فیزیک کوانتومی، ذرات منفرد را نمی‌توان مانند توپ‌های بیلیارد کلاسیک، مستقل از یکدیگر در نظر گرفت. هر توپ بیلیارد در هر نقطه از زمان مسیر و مکان منحصر به فرد خود را دارد، در حالی که ذرات کوانتومی هیچ فردیتی ندارند. آن‌ها فقط با هم، در یک تابع موج کوانتومی بزرگ توصیف می‌شوند.

پروفیسور یواخیم بورگدورفر<sup>۵</sup> (از TUWien) می‌گوید: «در فیزیک کوانتوم، کل سیستم توسط یک حالت کوانتومی بس ذره‌ای بزرگ توصیف می‌شود. اینکه چگونه یک توزیع تصادفی و در نتیجه دما باید از این مسئله به وجود بیاید، برای مدت طولانی یک معما باقی ماند.»

<sup>۲</sup> Professor Iva Brezinova

<sup>۳</sup> فرمول آنتروپی:  $S = k_B \ln W$  که در آن  $W$  احتمال بروز ماکرو حالت‌های سیستم است.

<sup>۴</sup> Ludwig Boltzmann

<sup>۵</sup> Professor Joachim Burgdörfer

## • نظریه‌ی آشوب به عنوان یک واسطه

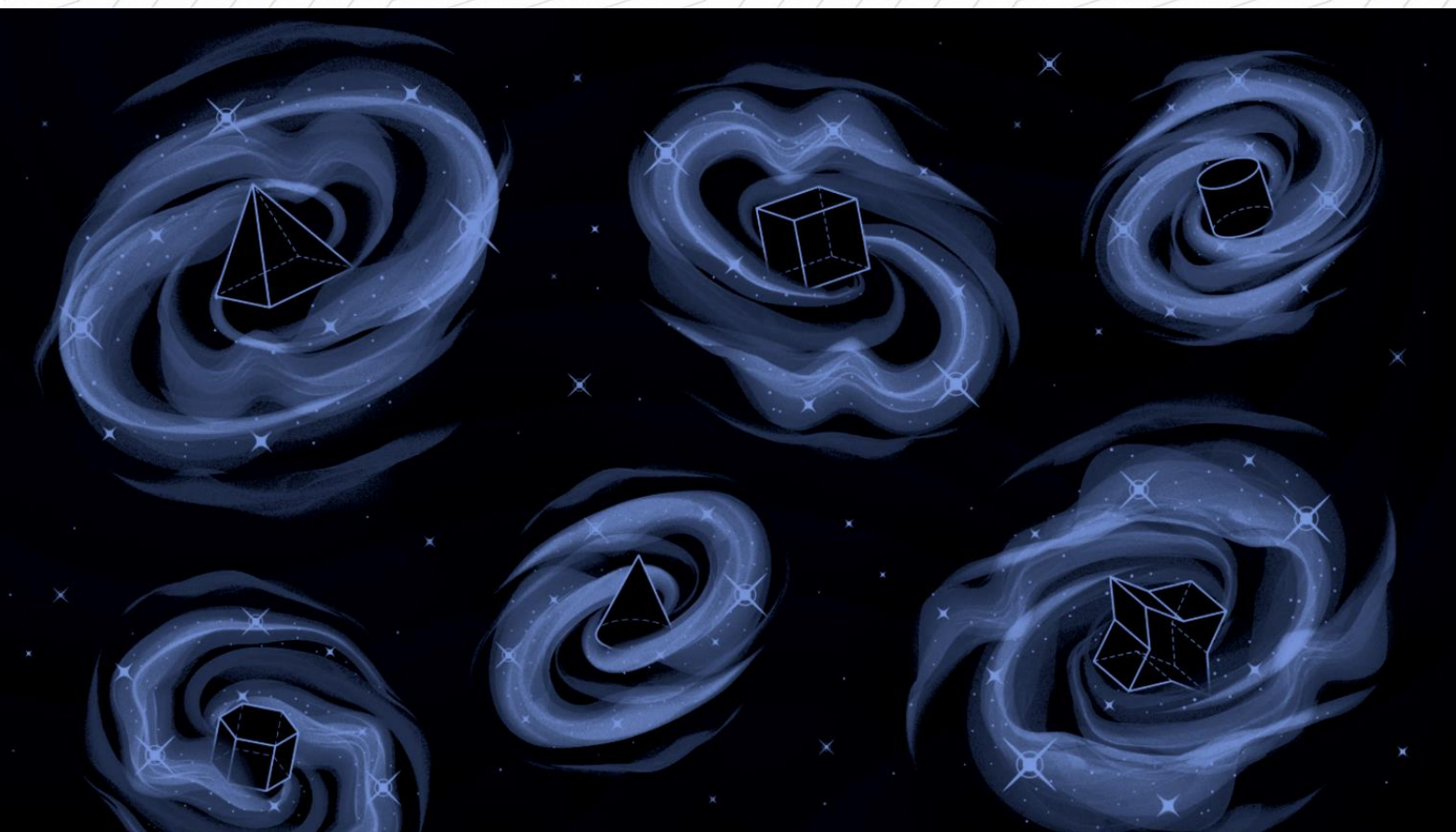
اکنون تیمی در TUWien توانسته است نشان دهد، که آشوب نقش کلیدی دارد. برای انجام این کار، این تیم شبیه‌سازی رایانه‌ای از یک سیستم کوانتومی با تعداد زیادی ذرات انجام داد. بسیاری از ذرات تمیزناپذیر به عنوان «حمام گرمایی» و یک ذره‌ی متفاوت «ذره‌ی نمونه» که به عنوان دماسنج عمل می‌کند. هر تابع موج کوانتومی منفرد سیستم بزرگ، دارای انرژی خاصی است، اما دمای خوش تعریفی ندارد؛ درست مانند یک ذره‌ی کلاسیک. اما اگر ذره‌ی نمونه را از یک حالت کوانتومی واحد انتخاب کنید و سرعت آن را اندازه بگیرید، به طرز شگفت‌انگیزی می‌توانید توزیع سرعتی را پیدا کنید که متناظر با دمایی باشد که با قوانین محرز ترمودینامیکی مطابقت دارد. ایوا برزینووا می‌گوید: «مطابق بودن یا نبودن آن به آشوب بستگی دارد، این چیزی است که محاسبات ما به وضوح نشان داده‌است. ما می‌توانیم به طور مشخص، برهم‌کنش‌های بین ذرات را روی رایانه تغییر دهیم و در نتیجه یک سیستم کاملاً آشفته ایجاد کنیم یا سیستمی که اصلاً آشوب را نشان نمی‌دهد یا هر چیزی در این بین.» بنابراین با انجام این کار، متوجه می‌شویم که وجود آشوب، تعیین می‌کند که آیا یک حالت کوانتومی ذره‌ی نمونه توزیع دمای بولتزمان را نشان می‌دهد یا خیر.

یواخیم بورگدورفر توضیح می‌دهد: «بدون ایجاد هیچ فرضیه‌ای در مورد توزیع‌های تصادفی یا قوانین ترمودینامیکی، اگر سیستم ترکیبی از ذره‌ی نمونه و حمام گرمایی، رفتار کوانتومی آشفته‌ای داشته باشد، رفتار ترمودینامیکی به خودی خود از نظریه‌ی کوانتومی ناشی می‌شود و اینکه این رفتار چقدر مطابق با فرمول معروف بولتزمان است، توسط قدرت آشوب تعیین می‌شود.»

این یکی از اولین مواردی است که در آن تأثیر متقابل بین سه نظریه‌ی مهم با دقت زیاد توسط شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای بس ذره‌ای نشان داده شده‌است: نظریه‌ی کوانتومی، ترمودینامیک و نظریه‌ی آشوب.

### منبع:

۱. "Canonical Density Matrices from Eigenstates of Mixed Systems" by Mahdi Kourehpaz, Stefan Donsa, Fabian Lackner, Joachim Burgdörfer and Iva Březinová, ۲۹ November ۲۰۲۲, *Entropy*. DOI: [10.3390/e24121740](https://doi.org/10.3390/e24121740)



تصویرا. اگر سیاهچاله‌هایی با اشکال غیرکروی کشف شوند، نشان داده می‌شود که جهان ما بیش از سه بعد دارد.

## ریاضیدانان، بی‌نهایت پیکربندی ممکن را برای سیاهچاله پیدا کردند

صبا الهیاری دانشجوی کارشناسی فیزیک ۱۴۰۰ دانشگاه الزهراء (س) sabaally03@gmail.com

ویراستاران: حدیث سلیمانی، نرگس رستمی

سطح سیاهچاله در فضای سه بعدی باید به شکل یک کره باشد، اما نتایج جدیدترین تحقیقات نشان می‌دهد که در ابعاد بالاتر، بی‌نهایت پیکربندی امکان پذیر است.

به طور کلی، سیارات و ستارگان تمایل به کروی شکل بودن دارند، زیرا گرانش، ابرهای گاز و غبار را به سمت مرکز جرم می‌کشد. همین امر، در مورد سیاهچاله‌ها یا به طور دقیق‌تر، افق رویداد سیاهچاله‌ها نیز



صدق می‌کند. طبق این تئوری، در جهانی با سه بعد فضا و یک بعد زمانی، سیاه‌چاله باید کروی شکل باشد.

سوالی که مطرح می‌شود این است که اگر جهان ما ابعاد بالاتری داشته باشد، آیا همان محدودیت‌ها اعمال می‌شود و اثرات ابعادی که ما نمی‌توانیم ببینیم، قابل لمس خواهد بود؟ و آیا در این تئوری پیکربندی‌های دیگری برای سیاه‌چاله امکان پذیر است؟ طبق ریاضیات می‌توان گفت که پاسخ سوال دوم، مثبت است. در طول دو دهه گذشته، محققان برای قاعده‌ای که سیاه‌چاله‌ها را به شکل کروی محدود می‌کند، استثناهایی پیدا کرده اند که اکنون نتایج این تحقیقات فراتر رفته است و در یک اثبات ریاضی گسترده، نشان داده می‌شود که تعداد نامتناهی پیکربندی در ابعاد پنج و بالاتر امکان پذیر است. این مقاله، نشان می‌دهد که معادلات نسبیت عام آلبرت اینشتین<sup>۱</sup> می‌تواند تنوع زیادی از سیاه‌چاله‌ها را با ابعاد بالاتر ایجاد کند. احتمال دارد که محصولات میکروسکوپی برخورد، در برخورد دهنده‌ی ذرات<sup>۲</sup>، به تشخیص این سیاه‌چاله‌ها کمک کنند و نشانگر این که جهان ما ابعاد بالاتری دارد باشند. این تحقیقات به صورت کاملاً تئوری می‌باشند و نمی‌توان گفت که آیا چنین سیاه‌چاله‌هایی وجود دارند یا خیر.

## • دونات سیاه‌چاله

استیون هاوکینگ<sup>۳</sup> در سال ۱۹۷۲ اثبات کرد که سطح یک سیاه‌چاله، در یک لحظه‌ی ثابت در زمان، باید یک کره‌ی دو بعدی باشد. این در حالی است که یک سیاه‌چاله یک جسم سه بعدی است و سطح آن فقط دو بُعد فضایی دارد.

تا دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ یعنی زمانی که اشتیاق به نظریه‌ی ریسمان افزایش یافت، تلاشی برای بسط قضیه‌ی هاوکینگ صورت نگرفت. در سال ۲۰۰۲، سه دهه پس از نتیجه‌ی هاوکینگ، فیزیکدانانی به اسم روبرتو امپاران<sup>۴</sup> و هاروی ریل<sup>۵</sup>، برای معادلات اینشتین در پنج بُعد، یک راه حل سیاه‌چاله‌ی بسیار متقارن یافتند. آن‌ها این سطح سه بعدی دونات مانند را، «حلقه‌ی سیاه» نامیدند. در واقع، این سیاه‌چاله‌های دونات مانند وقتی شکل می‌گیرند، که با سرعت مناسب بچرخند. راینون گفت: «اگر آن‌ها خیلی سریع بچرخند، از هم می‌پاشند، و اگر به اندازه‌ی کافی سریع بچرخند، دوباره به کره تبدیل می‌شوند.» با ادامه‌ی تحقیقات، آن‌ها یک نقطه‌ی مطلوب یافتند که در آن نقطه، حلقه به قدری سریع می‌چرخد که به شکل دونات باقی می‌ماند.

<sup>۱</sup> Albert Einstein

<sup>۲</sup> یک برخورددهنده (به انگلیسی Collider) گونه‌ای شتاب‌دهنده ذره‌ای است که پرتوهای مستقیم ذرات را با هم درگیر می‌کند.

<sup>۳</sup> Stephen William Hawking

<sup>۴</sup> Roberto Emparan

<sup>۵</sup> Harvey Reall



## دغدغه‌ی جدید

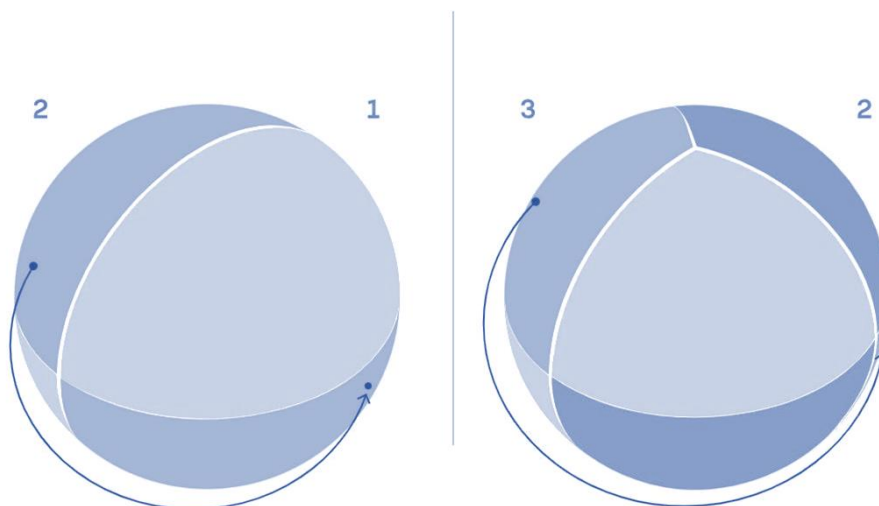
در سال ۲۰۰۶، گرگ گالووی<sup>۱۱</sup> از دانشگاه میامی و ریچارد شوئن<sup>۱۲</sup> از دانشگاه استنفورد، قضیه‌ی هاوکینگ را تعمیم دادند تا تمام پیکربندی‌های ممکن برای سیاه‌چاله را در ابعادی فراتر از چهار بُعد، توصیف کنند. در میان این پیکربندی‌ها کره، حلقه و دسته‌ی وسیعی به نام فضاهای عدسی گنجانده شده‌است. مارکوس خوری در این باره می‌گوید: «در میان تمام پیکربندی‌های ممکن جهان در سه بُعد، کره و سپس فضاهای عدسی، ساده‌ترین پیکربندی ممکن می‌باشند.» فضاهای عدسی نوع خاصی از ساختار ریاضی هستند، که از دیرباز در هندسه و توپولوژی اهمیت داشته‌اند. خوری فضاهای عدسی را «کره‌های‌تاشده» تعریف می‌کند. وقتی ریاضیدانان در مورد فضاهای عدسی صحبت می‌کنند، معمولاً به فضاهای سه بُعدی اشاره می‌کنند.

در سال ۲۰۱۴، کوندوری<sup>۱۳</sup> و جیمز لوشیتی<sup>۱۴</sup> از دانشگاه ادینبرگ، وجود سیاه‌چاله‌ها را در فضای پنج بُعدی اثبات کردند. راه حل آن‌ها که با عنوان «عدسی سیاه» شناخته می‌شود، دارای چند ویژگی مهم است. این راه حل یک فضا-زمان «تخت مجانبی» را توصیف می‌کند، به این معنی که انحنای فضا-زمان، که در مجاورت یک سیاه‌چاله زیاد است، با حرکت به سمت بی‌نهایت، به صفر نزدیک می‌شود. این ویژگی کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که نتایج از نظر فیزیکی مطابقت دارند. آن‌ها دریافتند که می‌توانند سیاه‌چاله‌ای به شکل هر فضای عدسی ایجاد کنند، که در این صورت تعداد نامتناهی سیاه‌چاله را در تعداد

نامحدودی از ابعاد می‌توان بدست آورد.

برای ساختن فضای عدسی، ریاضیدانان با یک توپ جامد سه بعدی شروع می‌کنند و مناطق مختلف را به یکدیگر متصل می‌کنند.

با برش طولی توپ به بخش‌ها شروع کنید. سپس نقاط نیمه بالای یک قطاع را به نقاط نیمه پایینی دیگری وصل کنید.



<sup>۱۱</sup> Greg Galloway

<sup>۱۲</sup> Richard Schoen

<sup>۱۳</sup> Kunduri

<sup>۱۴</sup> James Lucietti

فیزیکدانان پیش‌بینی کرده‌اند که روزی می‌توان سیاه‌چاله‌های کوچکی در برخورد دهنده‌ی، هادرونی بزرگ<sup>۱۰</sup> یا یک شتاب‌دهنده ذرات<sup>۱۱</sup> با انرژی بالاتر تولید کرد. به گفته‌ی خوری، اگر بتوان سیاه‌چاله‌ای را که توسط شتاب دهنده تولید شده‌است، در طول عمر کوتاه و کسری از ثانیه شناسایی کرد و توپولوژی غیر کروی آن را مشاهده کرد، دلیل بر این خواهد بود که جهان ما بیش از سه بُعد فضا و یک بُعد زمانی دارد. چنین یافته‌ای می‌تواند یک موضوع دیگر، تا حدودی آکادمیک‌تر را روشن کند. خوری در رابطه با بررسی ایده‌ها درباره‌ی سیاه‌چاله‌ها در ابعاد پنج و بالاتر، می‌گوید: «نسبیت عام به طور سنتی یک نظریه‌ی چهار بُعدی بوده است. ما روی این نظریه که نسبیت عام در ابعاد بالاتر معتبر است، شرط می‌بندیم. اگر هر سیاه‌چاله‌ی غیر کروی شناسایی شود، به ما می‌گوید که فرض ما موجه بوده است.»

---

#### منابع:

۱. [Mathematicians Find an Infinity of Possible Black Hole Shapes. Quantamagazin.org](https://www.quantamagazine.org/mathematicians-find-an-infinity-of-possible-black-hole-shapes-20220922/)
۲. VISHNU KAKKAT, MARCUS KHURI, JORDAN RAINONE, AND GILBERT WEINSTEIN. THE GEOMETRY AND TOPOLOGY OF STATIONARY MULTI-AXISYMMETRIC VACUUM BLACK HOLES IN HIGHER DIMENSIONS.

---

<sup>۱۰</sup> Large Hadron Collider

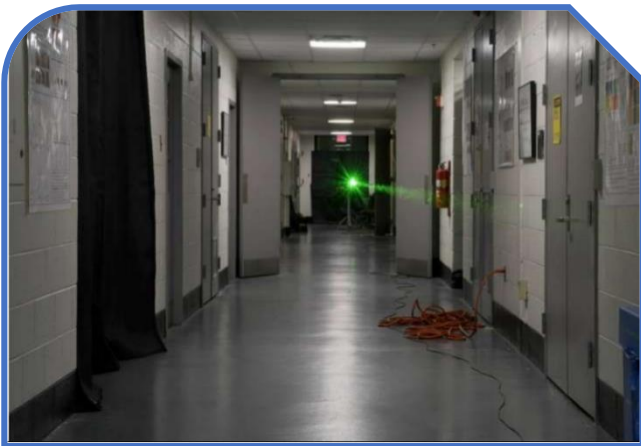
<sup>۱۱</sup> شتاب‌دهنده، دستگاهی است که در آن ذرات باردار (مانند ذرات بنیادی، هسته‌ی اتم‌ها یا اتم‌های یونیزه شده، مولکول‌ها یا قسمت‌های مولکول) به وسیله‌ی میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی، تا سرعت‌های بسیار زیادی شتاب داده می‌شوند.

## ● شکست رکورد پرتاب لیزر در راهروی دانشگاه مریند ●

مریم قربانی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۱۴۰۰، دانشگاه الزهراء(س) maryam.ghorbanimay2003@gmail.com  
ویراستاران: الهام خلیلی دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک اپتیک و لیزر دانشگاه یزد، نرگس رستمی

در هر دانشگاهی پالس‌های لیزری که به داخل راهرو فرستاده شود و قدرت آن به اندازه‌ی سوزاندن کاغذ و پوست باشد، وجود ندارد؛ اما این اتفاقی است که در مرکز تحقیقات دانشگاه مریند، در ساختمانی در پردیس شرقی دانشگاه، رخ داد. محققان آمریکایی در حال بررسی «موج‌برهای هوایی»، بودند که این پدیده را مشاهده کردند.

در طی چند شب در سال ۲۰۲۱، پروفیسور هوارد میلچبر<sup>۱۷</sup> و همکاران او، راهروی دانشگاه را به یک آزمایشگاه تبدیل کردند. آن‌ها سطوح براق نظیر درها و... را برای جلوگیری از بازتاب کورکننده‌ی لیزر پوشاندند و راهرو را با استفاده از علائم احتیاط و نصب پرده‌های سیاه به یک محدوده‌ی مخصوص جذب لیزر تبدیل کردند.



هدف آن‌ها این بود که به طور موقت هوای رقیق را به یک کابل فیبر نوری<sup>۱۸</sup> یا به عبارتی به یک هدایت کننده‌ی موج (موج‌بر<sup>۱۹</sup> هوا) تبدیل کنند که بتواند نور را تا ده‌ها متر هدایت کند، همانند کابل‌های فیبر نوری اینترنت که مسیر مناسبی را برای جریان داده‌های نوری فراهم می‌آورند. موج‌بر هوا کاربردهای زیادی در زمینه‌ی جمع‌آوری یا انتقال نور دارد؛ مانند ارتباطات لیزری دوربرد و یا حتی تسلیحات لیزری و ...

**تصویرا.** در یک آزمایش، لیزر به سمت راهروی UMD فرستاده شد تا نور را در مسیر ۴۵ متری طی کند.

<sup>۱۷</sup> Howard Milchberg، فیزیکدان دانشگاه مریند، ایالات متحده آمریکا

<sup>۱۸</sup> fiber optic cable: رشته‌ی باریک و بلندی از یک ماده‌ی شفاف مثل شیشه یا پلاستیک است که می‌تواند نوری را که از یک سر به آن وارد شده، از سر دیگر خارج کند. فیبر نوری دارای پهنای باند بسیار بلندتر از کابل‌های معمولی می‌باشد و با آن می‌توان داده‌های تصویر، صوت و داده‌های دیگر را به راحتی با پهنای باند بالا تا ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه و بالاتر انتقال داد.

<sup>۱۹</sup> Waveguide: ساختاری است که موج الکترومغناطیس را با اتلاف بسیار کمی منتقل کرده و هیچ‌گونه تغییری در موج ایجاد نمی‌کند.



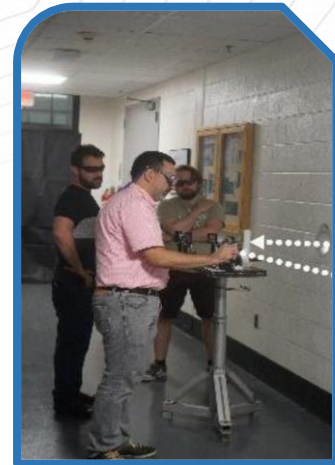
تمام کارها برای این بود که بفهمند تا چه اندازه می‌توانند از این تکنیک استفاده کنند. در آزمایشگاه روش مشابه برای فواصل کمتر از یک متر صادق است، اما محققان برای گسترش آزمایش و دستیابی به فواصل تا ده‌ها متر، به مانعی برخورد کردند؛ آزمایشگاه آن‌ها بسیار کوچک بود و حرکت دادن لیزر امکان‌پذیر نبود. پس، آن‌ها برای حل این مشکل، یک حفره در دیوار ایجاد کردند و پالس لیزر را در راهروی ۵۰ متری پرتاب کردند. این فرایند در طی شب انجام می‌شد تا از ایجاد مزاحمت برای سایر کارمندان و دانشجویان جلوگیری کند.

پروفسور میلچبرگ می‌گوید: «چالش‌های زیادی وجود داشت. افزایش مقیاس تا ۵۰ متر ما را وادار کرد تا در فیزیک اساسی تولید موج‌برهای هوایی تجدید نظر کنیم. علاوه بر آن می‌خواستیم یک لیزر پر قدرت را به داخل یک راهروی عمومی ۵۰ متری بفرستیم و طبیعتاً مسائل ایمنی وجود داشت. خوشبختانه، هم با دپارتمان فیزیک و هم با دفتر ایمنی محیط مریلند همکاری بسیار خوبی

داشتیم»

بدون استفاده از کابل فیبرنوری یا موج‌بر هوا، یک پرتو نور (پرتو نور خارج شده از لیزر یا چراغ‌قوه فرقی ندارد) می‌تواند به طور مداوم در طول حرکت به محیط اطراف پراکنده شود. راه حل میلچبرگ برای حل چالش متمرکز نگه داشتن نور، تبدیل نور اضافی به شکل پالس‌های لیزری کوتاه است.

تکنیک پالس کوتاه از توانایی لیزر برای تامین کردن شدت بالا در طول مسیر استفاده می‌کند که پلاسما<sup>۲۰</sup> را به وجود می‌آورد. انرژی‌ای که در مسیر وجود دارد هوا را گرم کرده و به همین علت منبسط می‌شود و مسیری از هوای کم چگالی را باقی می‌گذارد. این فرآیند شبیه یک نسخه‌ی کوچک از رعد و برق است که در آن انرژی رعد و برق، هوا را به پلاسمایی تبدیل می‌کند که به طور انفجاری هوا را منبسط می‌کند و صدای رعد و برق را به وجود می‌آورد. صدای بلندی که محققان در طول مسیر حرکت پرتو در آزمایشگاه شنیدند به همین علت بود. اما این مسیرهای رشته‌ای با چگالی کم همه‌ی نیازهای تیم را برای هدایت لیزر برطرف نمی‌کرد. آن‌ها هسته‌ای با چگالی بالا (همانند کابل‌های فیبر نوری اینترنت) می‌خواستند. پس آن‌ها آرایشی از چندین تونل با چگالی کم ایجاد کردند که در یک خندقی که هسته‌ای با چگالی زیاد از هوا را احاطه کرده است، ادغام می‌شوند. آزمایش‌های سال ۲۰۱۴ از آرایش مجموعه‌ای از چهار رشته‌ی لیزر استفاده کردند، اما در آزمایش جدید از یک روش جدید بهره بردند که به طور خودکار تعداد رشته‌ها با انرژی لیزر افزایش می‌یافت.

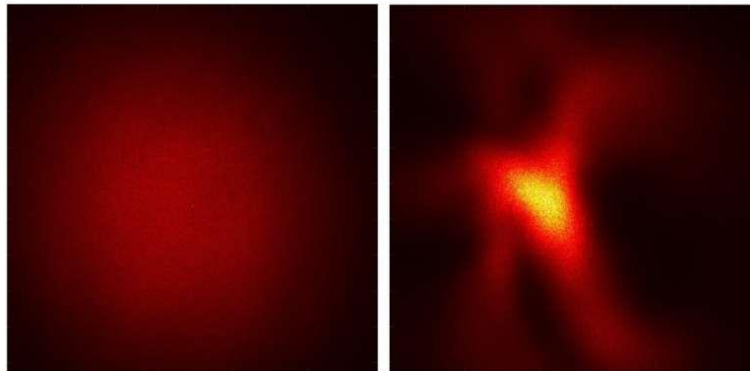


**تصویر ۲.** محققان در حال تنظیم حفره بر روی دیوار برای پرتاب لیزر در راهرو هستند. خطوط سفید، نشان دهنده مسیر پرتو، قبل و بعد از تغییر مسیر است.

<sup>۲۰</sup> پلاسما حالت چهارم ماده، که شبیه به گاز است و از اتم‌هایی تشکیل شده است که تمام یا تعدادی از الکترون‌های خود را از دست داده‌اند (یونیزه شده‌اند).



محققان نشان دادند که این تکنیک می‌تواند طول موج‌برهای هوا و قدرتی که می‌تواند آن را به انتهای راهرو برساند را افزایش دهد. پس از چندین شب آزمایش، محققان دریافتند که روش آن‌ها می‌تواند تقریباً ۲۰ درصد از نوری را که به طور معمول از طریق هوا پخش (اتلاف) می‌شود، حفظ کند؛ که در غیر این صورت بدون حضور یک موج‌بر از بین می‌رفت. این فاصله حدود ۶۰ برابر بیش‌تر از آزمایش‌های قبلی بود.

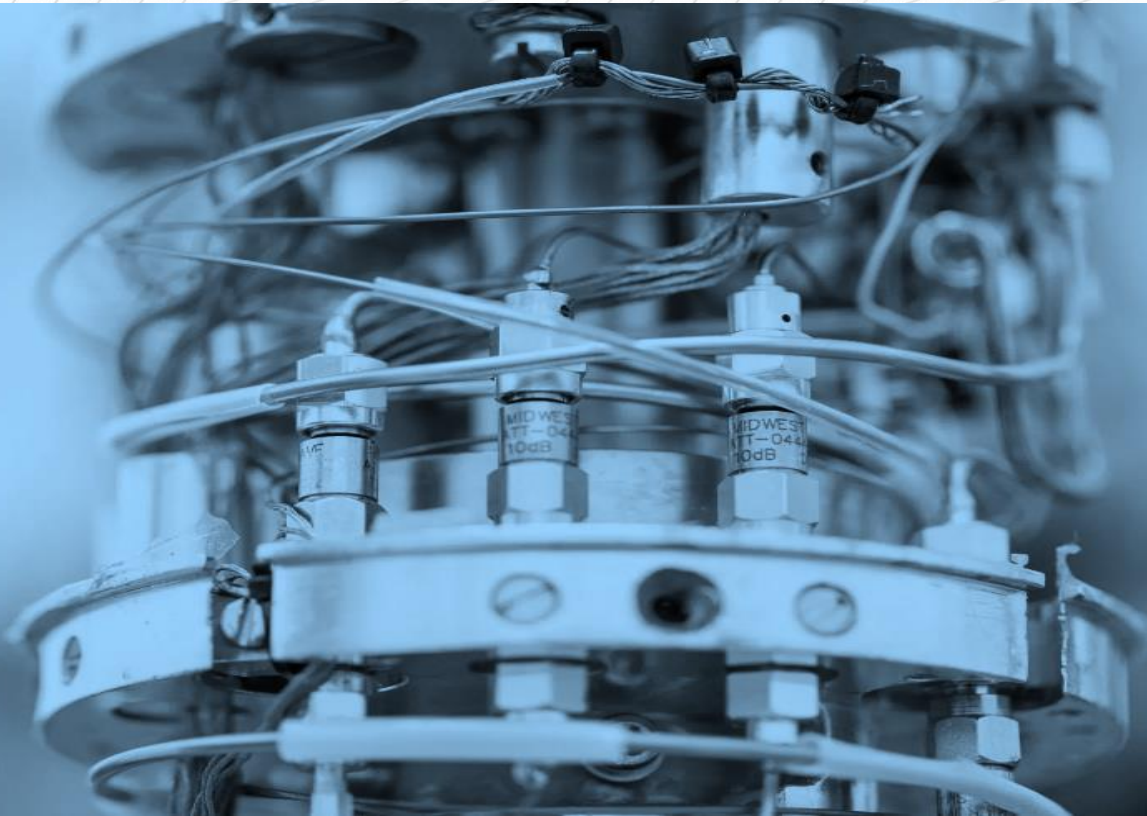


**تصویر ۳.** شکل پراکندگی نور لیزر جمع آوری شده پس از حرکت در راهرو. بدون موج‌بر (چپ) و با یک موج‌بر (راست)

محققان آزمایش‌هایی در فاصله‌های کمتر، نظیر ۸ متر انجام دادند و در آن‌جا توانستند فیزیک پروژه را با جزئیات بیش‌تری بررسی کنند. در آزمایش‌های با فواصل کوتاه‌تر، توانستند حدود ۶۰ درصد از نوری که به طور معمول در هوا پخش می‌شد و از بین می‌رفت را به هدف برسانند. آزمایش‌ها نشان داد که موج‌بر بسیار زودگذر است و تنها صدم ثانیه دوام می‌آورد. با این حال، برای هدایت چیزی که با سرعت نور حرکت می‌کند، آن زمان کافی است. این تحقیق نشان می‌دهد که در چه زمینه‌هایی می‌توان پیشرفت کرد و آزمایش را بهبود داد. بر اساس یافته‌های محققان از آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌ها، این تیم در حال برنامه‌ریزی آزمایش‌هایی برای افزایش طول و بهبود کارایی موج‌برهای هوا هستند. آن‌ها همچنین قصد دارند رنگ‌های مختلف نور را هدایت کنند و نحوه‌ی عملکرد آن را مشاهده کنند. میلچبرگ می‌گوید: «دستیابی به مقیاس ۵۰ متری برای موج‌برهای هوایی به معنای واقعی کلمه مسیر را برای موج‌برهای طولانی‌تر و بسیاری از کاربردهای دیگر روشن می‌کند. حال دست‌ورالعملی برای هدایت لیزری تا یک کیلومتر و بالاتر از آن داریم.»

منابع:

۱. A. Goffin et al, Optical Guiding in ۵۰-Meter-Scale Air Waveguides, Physical Review X (۲۰۲۳). DOI:۱۰/۱۱۰۳
۲. <https://phys.org/news/۲۰۲۳-۰۱-meter-laser-university-maryland-hallway.html>
۳. <https://umdphysics.umd.edu/about-us/news/research-news/۱۸۵۳-longlaser.html>



تصویر. بخشی از دستگاه ترانسمون که اثرات کوانتومی مورد استفاده برای تشخیص پالس‌های میکروویو، بدون برهمکنش با آن‌ها را تولید می‌کند. [۱]

# مشاهده‌ی اشیاء، بدون نگاه کردن به آن‌ها با استفاده از مکانیک کوانتومی

معصومه محمدی دانشجوی کارشناسی فیزیک ۱۴۰۰ دانشگاه الزهراء (س) [m.mohammadi@student.alzahra.ac.ir](mailto:m.mohammadi@student.alzahra.ac.ir)

ویراستاران: فاطمه سادات صوف‌باف، نرگس رستمی

روش تازه‌ی توسعه یافته‌ای که جهان‌های کوانتومی و کلاسیک را به هم پیوند می‌زند و ممکن است، اندازه‌گیری‌ها را برای رایانه‌های کوانتومی و کاربردهای دیگر افزایش دهد.

بینایی ما توسط سلول‌های تخصصی شبکیه که نور را جذب می‌کنند ممکن می‌شود. اما آیا بدون هیچ‌گونه جذب نور یا حتی یک فوتون می‌توان دید؟ در کمال تعجب، جواب مثبت است. اندازه‌گیری بدون برهمکنش<sup>۱</sup> یک اثر کوانتومی بنیادی است که به موجب آن حضور یک شیء حساس به نور بدون جذب فوتون برگشت‌ناپذیر، تعیین می‌شود. آنتون زیلینگر<sup>۲</sup>، برنده‌ی جایزه‌ی نوبل ۲۰۲۲، اولین کسی بود

<sup>۱</sup> Interaction-Free Measurement

<sup>۲</sup> Anton Zeilinger

که ایده‌ی یک آزمایش بدون برهمکنش را با استفاده از اپتیک به صورت تجربی اجرا کرد. اکنون در مطالعه‌ای که ارتباط بین جهان‌های کلاسیک را بررسی می‌کند، شروتی دوگرا<sup>۲۳</sup>، جان جی مک کورد<sup>۲۴</sup> و گئورگه سورین پارائوانو<sup>۲۵</sup> از دانشگاه آلتو، راه جدید و بسیار مؤثرتری را برای انجام آزمایش‌های بدون برهمکنش پیدا کرده‌اند. آن‌ها برای تشخیص وجود پالس‌های میکروویو تولید شده از ابزارهای کلاسیک، از دستگاه‌های ترانسومون (مدارهای ابررسانای نسبتاً بزرگی که رفتار کوانتومی از خود نشان می‌دهند) استفاده کردند.

## • آزمایشی با لایه‌ای اضافه شده از شرایط کوانتومی<sup>۲۶</sup>

اگرچه دوگرا و پارائوانو مجذوب کار انجام شده توسط گروه تحقیقاتی زیلینگر شدند اما آزمایشگاه آن‌ها به جای لیزر و آینه، حول میکروویو و ابررساناها متمرکز است. پارائوانو توضیح می‌دهد: «ما مجبور بودیم این مفهوم را با ابزارهای آزمایشی مختلف موجود برای دستگاه‌های ابررسانا تطبیق دهیم، به همین دلیل مجبور شدیم پروتکل استاندارد بدون برهمکنش را به روشی خطیر تغییر دهیم؛ ما با استفاده از سطح انرژی بالاتر ترانسومون، لایه‌ی دیگری از شرایط کوانتومی را اضافه کردیم. سپس، از همدوسی کوانتومی<sup>۲۷</sup> سیستم سه سطحی حاصل، به عنوان یک منبع استفاده کردیم.»

همدوسی، یکی از ویژگی‌های فیزیکی امواج است. دو منبع موج، کاملاً همدوس است اگر بسامد و شکل دو موج کاملاً یکسان باشد و در عین حال می‌توانند اختلاف فاز داشته باشند. در این ویژگی، توان موج‌ها برای تداخل در همدیگر اندازه‌گیری می‌شود.

در مکانیک کوانتومی، ذراتی مانند الکترون‌ها توسط یک تابع موج (یک توصیف ریاضی از حالت کوانتومی یک سیستم) توصیف می‌شوند. طبیعت احتمالی تابع موج باعث به وجود آمدن اثرات کوانتومی مختلف می‌شود. تا زمانی که رابطه‌ی قابل تعریف بین فاز و حالت‌های مختلف یک سیستم وجود داشته باشد، گفته می‌شود که سیستم همدوس است. همدوسی، یک خاصیت بنیادی مکانیک کوانتومی، و برای انجام محاسبات کوانتومی بر روی اطلاعات کوانتومی رمزگذاری شده در حالت‌های کوانتومی ضروری است. اما هنگامی که یک سیستم کوانتومی کاملاً ایزوله نباشد و با محیط خود در تماس باشد، این همدوسی از بین می‌رود که به آن ناهمدوسی کوانتومی<sup>۲۸</sup> می‌گویند.

همدوسی کوانتومی به این امکان اشاره دارد که یک شیء می‌تواند همزمان دو حالت مختلف را اشغال کند؛ چیزی که فیزیک کوانتوم اجازه‌ی آن را می‌دهد. با این حال، همدوسی کوانتومی ظریف است و به راحتی از بین می‌رود، بنابراین خیلی واضح نبود که پروتکل جدید کار کند. امادر کمال تعجب، اولین

<sup>۲۳</sup> Shruti Dogra

<sup>۲۴</sup> John J. McCord

<sup>۲۵</sup> Gheorghe Sorin Paraoanu

<sup>۲۶</sup> Quantumness

<sup>۲۷</sup> Quantum Coherence

<sup>۲۸</sup> Quantum Decoherence



آزمایش بازده خوبی داشته است. آن‌ها بارها به طراحی خود بازگشتند، مدل‌های نظری که نتایج آن‌ها را تایید می‌کرد را اجرا کرده و همه چیز را دوباره بررسی کردند. وجود تاثیر، قطعی بود. دوگرا می‌گوید: «ما همچنین نشان دادیم که با استفاده از پروتکل‌ها می‌توان حتی پالس‌های میکروویو بسیار کم توان را به طور مؤثر تشخیص داد.»

این آزمایش همچنین روش جدیدی را نشان داد که در آن دستگاه‌های کوانتومی می‌توانند به نتایجی دست یابند که برای دستگاه‌های کلاسیک غیرممکن است؛ پدیده‌ای که به عنوان مزیت کوانتومی<sup>۲۹</sup> شناخته می‌شود. محققان عموماً بر این باورند که دستیابی به مزیت کوانتومی نیازمند کامپیوترهای کوانتومی با کیوبیت‌های زیاد است اما این آزمایش، مزیت کوانتومی واقعی را با استفاده از یک چیدمان نسبتاً ساده‌تر نشان داد.

## • کاربردهای بالقوه‌ی این روش در فناوری‌های کوانتومی

پیش از این، اندازه‌گیری‌های بدون برهمکنش بر اساس روش‌های قدیمی که بازدهی کمتری دارند، کاربردهایی در فرایندهای تخصصی مانند تصویربرداری نوری، تشخیص نویز و توزیع کلیدهای رمزنگاری داشته‌اند؛ اما این روش جدید و توسعه یافته می‌تواند به طور چشمگیری کارایی فرایندها را افزایش دهد. پارائوانو می‌گوید: «در محاسبات کوانتومی، روش ما می‌تواند برای تشخیص فوتون‌های میکروویو در حافظه‌ی عناصر خاص به کار گرفته شود. این را می‌توان روشی بسیار کارآمد برای استخراج اطلاعات بدون ایجاد اختلال در عملکرد پردازنده‌ی کوانتومی در نظر گرفت.» این گروه به رهبری پارائوانو، همچنین با استفاده از رویکرد جدیدشان در حال بررسی دیگر اشکال مرموز پردازش اطلاعات مانند ارتباط خلاف واقع<sup>۳۰</sup> (ارتباط بین دو طرف بدون انتقال هیچ ذره فیزیکی) و محاسبات کوانتومی خلاف واقع<sup>۳۱</sup> (که در آن نتیجه‌ی یک محاسبه، بدون اجرای واقعی رایانه به دست می‌آید)، هست.

### منابع:

۱. Credit: Mikko Raskinen/Aalto University.

۲. Coherent interaction-free detection of microwave pulses with a superconducting circuit” by Shruti Dogra, John J. McCord and Gheorghe Sorin Paraoanu, ۷ December ۲۰۲۲, *Nature Communications*.

DOI: ۱۰/۱۰۳۸/S۴۱۴۶۷-۰۲۲-۳۵۰۴۹-Z

<sup>۲۹</sup> Quantum Advantage

<sup>۳۰</sup> counterfactual communication

<sup>۳۱</sup> counterfactual quantum computing



# گاه‌شمار کیهانی

زهرایشخانی نژاد دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۸ دانشگاه الزهر(س) [yasi.sh.۲۶۴۸@gmail.com](mailto:yasi.sh.۲۶۴۸@gmail.com)  
نرگس رستمی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهر(س) [n.rostami۲۰۰۱.phy@gmail.com](mailto:n.rostami۲۰۰۱.phy@gmail.com)

## ● فروردین

اعتدال بهاری ماه نو	۱ فروردین
همنشینی ماه و مشتری	۲ فروردین
همنشینی ماه و زهره	۳ فروردین
همنشینی ماه و مریخ	۸ فروردین
ماه در تربیع اول	۹ فروردین
ماه کامل	۱۷ فروردین
عطارد در بیش‌ترین میزان کشیدگی شرقی	۲۲ فروردین
ماه در تربیع آخر	۲۴ فروردین
همنشینی ماه و زحل ماه در حضيض مداری	۲۷ فروردین
خورشید گرفتگی هیبریدی (در نیمکره جنوبی) ماه نو	۳۱ فروردین

## ● اردیبهشت

بارش شهابی شلیا قی همنشینی ماه و زهره	۲ و ۳ اردیبهشت
بارش شهابی پی کشتیدی	۴ اردیبهشت
همنشینی ماه و مریخ	۶ اردیبهشت
ماه در تربیع اول	۸ اردیبهشت
ماه گرفتگی نیمه شبه ماه کامل	۱۵ اردیبهشت
بارش شهابی اتا دلوی	۱۶ و ۱۷ اردیبهشت
ماه در تربیع آخر	۲۲ اردیبهشت
همنشینی ماه و زحل	۲۳ اردیبهشت
همنشینی ماه و مشتری	۲۷ اردیبهشت
ماه نو	۲۹ اردیبهشت

## ● خرداد

همنشینی ماه و زهره	۲ خرداد
همنشینی ماه و مریخ	۳ خرداد
ماه در تربیع اول	۶ خرداد
عطارد در بزرگترین کشیدگی غربی	۸ خرداد
ورود مریخ به خوشه ستاره‌ای M۴۴	۱۳ خرداد
زهره در بیش‌ترین کشیدگی شرقی ماه کامل	۱۴ خرداد
ماه در حضيض مداری	۱۷ خرداد
همنشینی ماه و زحل	۱۹ خرداد
ماه در تربیع آخر	۲۰ خرداد
بارش شهابی Arietids	۲۱ خرداد



# "فراسوی آسمان"

## توضیح رویدادهای نجومی

پرستو سربازی دانشجوی کارشناسی ارشد اخترفیزیک دانشگاه الزهراء(س) Parastoosky99@gmail.com  
 ملیکا شایق دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهراء(س) m.shayeghi10@gmail.com  
 نرگس رستمی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهراء(س) n.rostami2001.phy@gmail.com  
 ویراستار: فاطمه سادات صوفیاف

### • اعتدال بهاری

لحظه عبور خورشید از خط استوای سماوی، از جنوب به شمال را نشان می‌دهد.

### • خورشید گرفتگی هیبریدی (Hybrid solar eclipse)

در خورشید گرفتگی هیبریدی، خورشید هم به صورت حلقوی و هم به صورت گرفت کامل قابل مشاهده است. متأسفانه این پدیده در ایران قابل رویت نیست. این پدیده در غرب استرالیا، تیمور شرقی و شرق اندونزی در ۳۱ فروردین قابل مشاهده است.



تصویرا. خورشید گرفتگی هیبریدی

### • بارش شهابی گشتی دُم (Puppis meteor shower)

بارش شهابی، زمانی به وجود می‌آید که زمین از میان جریان‌هایی از دنباله‌هایی که در پی دنباله‌دارها و سیارک‌ها باقی مانده اند، عبور می‌کند. منشأ ایجاد این بارش، دنباله‌دار ۲۶P/Grigg-Skjellerup است. کانون این بارش در صورت فلکی گشتی دُم (Puppis) قرار دارد. این پدیده از ۲۶ فروردین تا ۸ اردیبهشت ماه ادامه دارد و اوایل اردیبهشت به اوج خود می‌رسد. معمولاً شهاب‌های این بارش با بارش شهابی شلیاقی همزمان می‌شوند و چندان چشمگیر نخواهد بود. اوج بارش نزدیک به ماه نو خواهد بود و نور مهتاب کم‌ترین تداخل را ایجاد خواهد کرد. در تهران، این پدیده از غروب آفتاب تا حوالی ساعت ۲۰ ادامه دارد.



تصویر ۲. صورت فلکی گشتی دُم

### • بارش شهابی شلیاقی (Lyrid meteor shower)

این بارش شهابی در اثر برخورد ذرات سنگ و غبار باقی مانده از دنباله داری با نام تاجر به جو زمین به وجود آمده است. کانون این بارش شهابی صورت فلکی شلیاق (Lyra) است و از سمت ستاره نَسرواقع سرچشمه می‌گیرد که درخشان‌ترین ستاره در صورت فلکی چنگ یا شلیاق است. این پدیده از ۲۷ فروردین ماه شروع شده و تا ۵ اردیبهشت ادامه دارد. در تهران دیدن این پدیده بعد از حدود ساعت ۲۰، زمانی که در افق شرقی بالا می‌رود، امکان پذیر است و سپس تا طلوع خورشید قابل مشاهده است. البته دیدن این پدیده مستلزم یک آسمان تاریک است.



تصویر ۳. صورت فلکی شلیاق

### • بارش شهابی اتا دلوی (Aquariid meteor)

کانون این بارش در نزدیکی ستاره اتا در صورت فلکی دلو (آبریز) (Aquarius) منشأ آن دنباله دار هالی است. این پدیده از ۳۰ فروردین تا ۷ خرداد ادامه دارد و بارش شهابی اتا دلوی در میانه اردیبهشت ماه به اوج خود می‌رسد. بهترین زمان برای مشاهده آن قبل از طلوع خورشید در ۱۷ اردیبهشت می‌باشد. در تهران این پدیده از حوالی ساعت ۲ بامداد تا طلوع خورشید ادامه دارد.



تصویر ۵. دنباله دار هالی



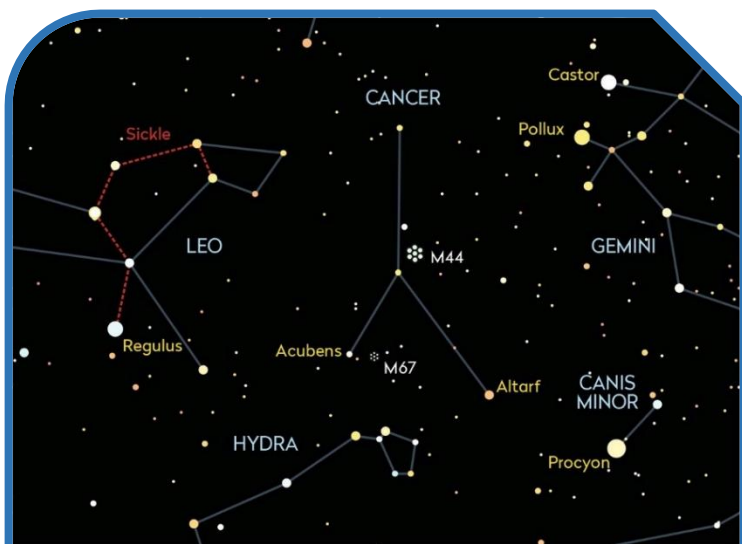
تصویر ۴. صورت فلکی دلو

### • بارش شهابی آریتید (Daytime Arietid meteor shower)

منبع این بارش ناشناخته است، اما تصور می‌شود که سیارک ۱۵۶۶ ایکاروس (Icarus ۱۵۶۶) منشأ این بارش شهابی قوی باشد. با این حال اجرام آسمانی دیگر مانند دنباله دار ۹۶P/Machholz هم می‌تواند منشأ این بارش باشد. این پدیده از اواخر فروردین شروع شده و تا اواخر خرداد ادامه دارد. اوج این بارش، حوالی ۲۰ خرداد می‌باشد. در تهران این پدیده بعد از حدود ۲ بامداد، ۱۹ درجه بالای افق قابل مشاهده است و ممکن است فقط ۱۶ شهاب سنگ در ساعت مشاهده می‌شود حتی زمانی که این پدیده به اوج خود می‌رسد، زیرا تابش آن در آسمان نسبتاً کم خواهد بود.

### • خوشه ستاره ای ام ۴۴ (Messier ۴۴)

این خوشه که با نام خوشه‌ی کندوی عسل نیز شناخته می‌شود با فاصله ۶۰۰ سال نوری از زمین یکی از نزدیک‌ترین خوشه‌های ستاره‌ای به منظومه شمسی ماست. این خوشه دارای ستاره‌های جوانی با سن حدود ۶۰۰ میلیون سال دارد. این خوشه در حالی است که سن خورشید ۴/۵ میلیارد سال است. این خوشه در صورت فلکی خرچنگ واقع شده است. در بهار ۱۴۰۱ این خوشه ستاره‌ای با دو سیاره‌ی زهره و مریخ مقارنه دارد.



تصویر ۶. خوشه ستاره ای ام ۴۴

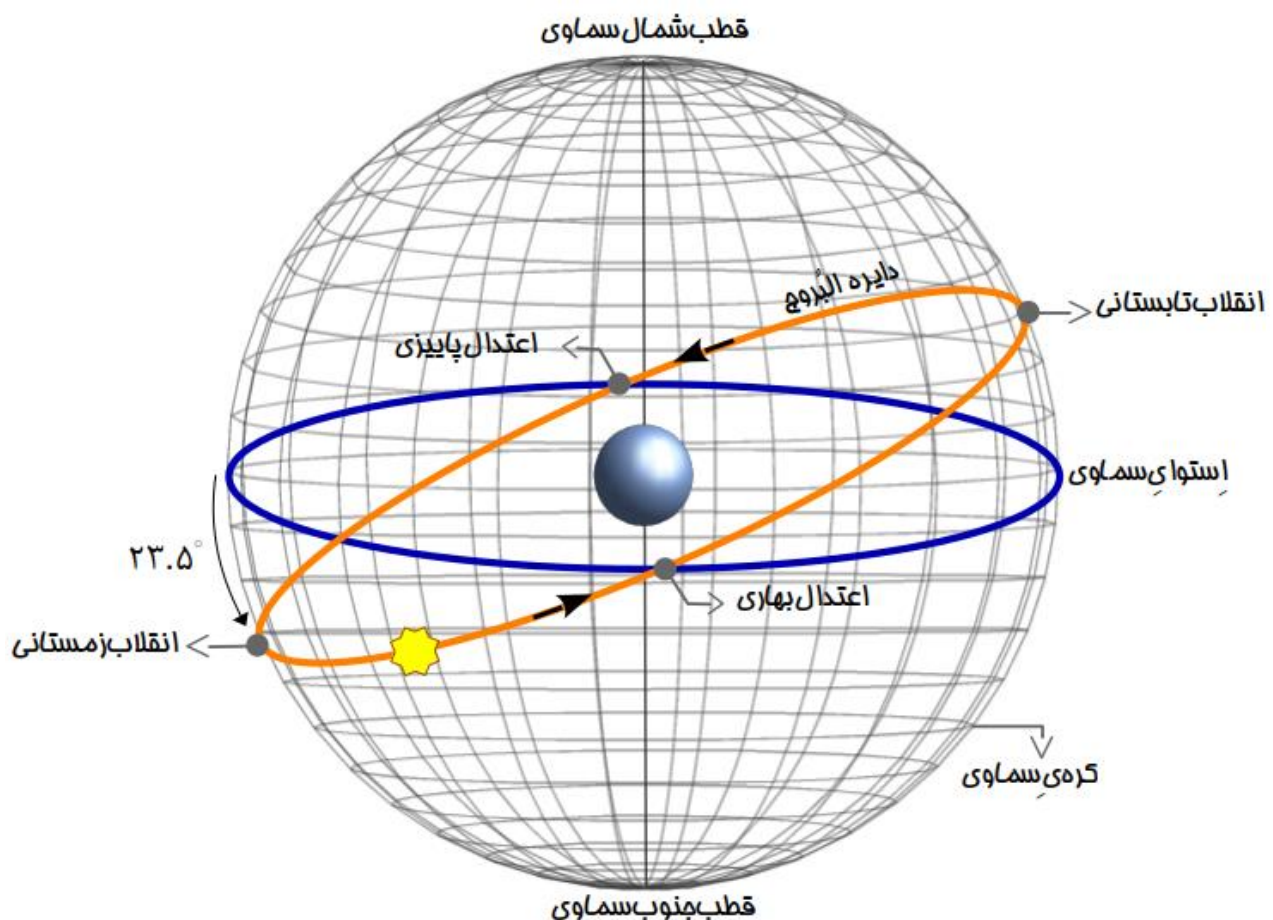
مقارنه‌ی سیاره مریخ و ام ۴۴ در ۱۳ خرداد رخ می‌دهد. هر دو در صورت فلکی سرطان و در فاصله ۱۰/۴ دقیقه قوسی از کنار یکدیگر



عبور می‌کنند. این پدیده در تهران حوالی ساعت ۲۰، ۳۳ درجه بالای افق غربی قابل مشاهده است. آن‌ها به قدری نزدیک هستند که از صفحه‌ی تلسکوپ قابل مشاهده‌اند. مقارنه‌ی سیاره زهره و ام ۴۴ در ۲۴ خرداد رخ می‌دهد. این دو در فاصله ۴۷/۹ دقیقه قوسی از کنار یکدیگر عبور می‌کنند. این پدیده در تهران حوالی ساعت ۱۹:۳۰، ۳۰ درجه بالای افق غربی قابل مشاهده است.

## • کره‌ی سماوی

کره‌ای فرضی و بی‌نهایت بزرگ و بی‌انتها و در برگیرنده‌ی کل کیهان که زمین در مرکز آن قرار دارد و همه‌ی اجرام آسمانی به آن چسبیده‌اند.

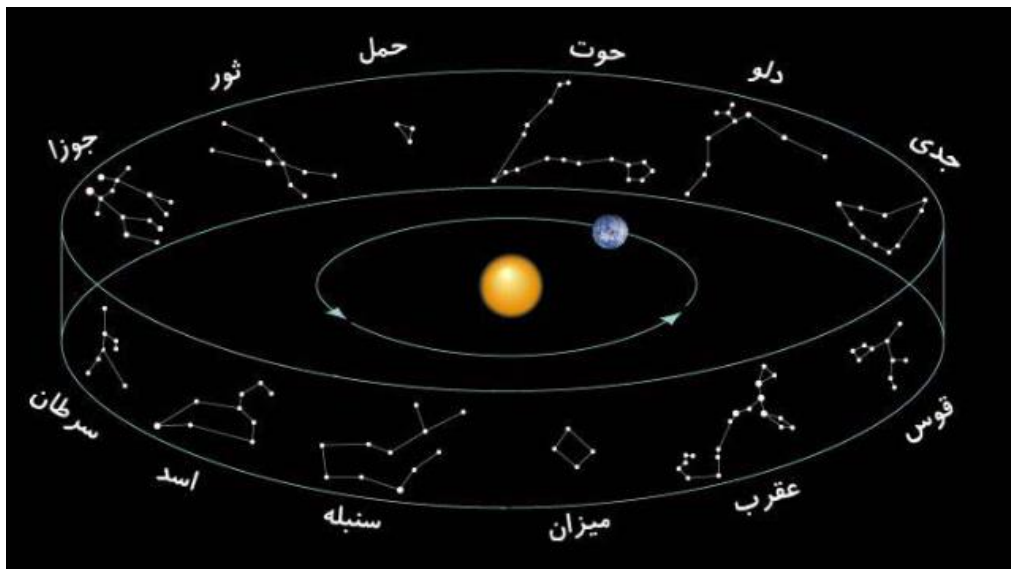


شکل ۱: موقعیت استوای سماوی و قطبین بر روی کره‌ی سماوی

**استوای سماوی** : دایره‌ی عظیم است که در واقع امتداد استوای زمین می‌باشد و مانند کمربندی به دور کره‌ی سماوی کشیده شده و آن را به دو نیمکره‌ی سماوی شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند.



- **قطب شمال سماوی** : تصویر و امتداد قطب شمال کره‌ی زمین بر روی کره‌ی سماوی.
  - **قطب جنوب سماوی** : تصویر و امتداد قطب جنوب کره‌ی زمین بر روی کره‌ی سماوی.
  - **نصف النهار سماوی** : خطی فرضی از قطب شمال سماوی به قطب جنوب سماوی که از استوای سماوی نیز عبور می‌کند.
  - **صفحه‌ی افق** : مرزی بین گنبد آسمان و زمین است .
  - **دایره البروج** : دایره‌ای فرضی که مسیر حرکت ظاهری خورشید به دور زمین در طول یک سال بر روی کره‌ی سماوی را نشان می‌دهد.
- مسیر حرکت فرضی خورشید بر روی دایره البروج در طی یک سال یا ۱۲ ماه است که در زمان پیمودن قسمتی از کمان دایره در واقع از صورت فلکی خاصی عبور می‌کند که همان برج‌های دوازده‌گانه سال هستند .



- **صورت فلکی** : اشکال خاصی که ستارگان در آسمان از دید ناظر زمینی کنار هم می‌سازند که توسط پیشینیان نام‌گذاری شده‌اند. نام‌گذاری ستارگان در یک صورت فلکی به ترتیب پرنورترین آن‌ها بر اساس حروف الفبای یونانی است. برای مثال پرنورترین ستاره‌ی صورت فلکی اژدها، ستاره‌ی آلفای اژدها نام دارد.

## صورت های فلکی فصل بهار

### ۱. فروردین : صورت فلکی بزّه یا حَمَل ( Aries ) نماد ♈

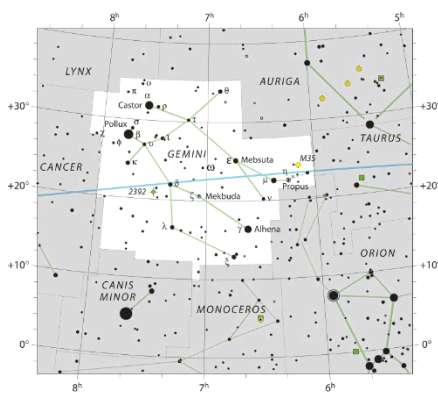
حمل دومین صورت فلکی از نظر کوچکی در دایرة البروج است که فقط دارای ۳ ستاره اصلی می باشد.

### ۲. اردیبهشت : صورت فلکی گاو یا ثور (Taurus) نماد ♉

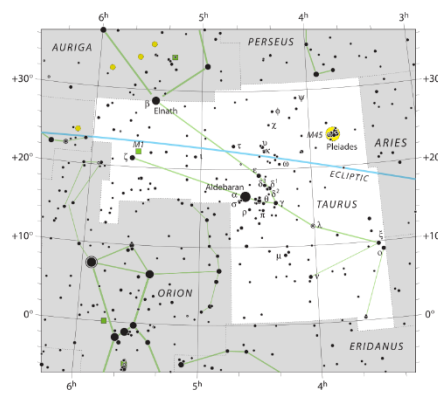
آلفای ثور، یعنی دبران که در عربی به مفهوم تعقیب کننده است، چشم گاو را نشان می دهد. این ستاره در فاصله ۶۰ سال نوری از زمین است. ستاره دبران به اندازه ی کافی روشن است که بتواند رنگ نارنجی-قرمز خود را به ما نشان دهد.

### ۳. خرداد : صورت فلکی دو پیکر یا جوزا (Gemini) نماد ♊

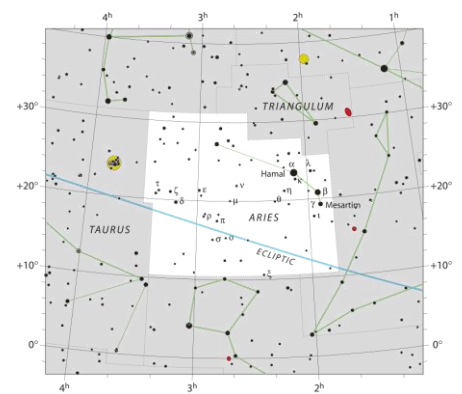
در ماه های سرد زمستانی صورت فلکی دو پیکر را که ستارگان پرنورش، کاستور (آلفا جوزا) و پولوکس (بتا جوزا) حتی در آسمان شب شهرهای بزرگ نیز جلب توجه می کنند به راحتی می توان یافت.



خرداد



اردیبهشت



فروردین

## منابع:

۱. <http://www.seasky.org/astronomy/astronomy-calendar-current.html>

۲. <https://www.nasa.gov/>

۳. <https://in-the-sky.org//newsindex.php?feed=thesky>

۴. کتاب راهنمای ماهانه آسمان شب، نویسنده: یان ردپت - ویل ترین، مترجم: مهندس احمد دالکی

۵. [rasekhoon.net](http://rasekhoon.net)

۶. [www.iau.org](http://www.iau.org)

# سفری به قلب راکتورهای هسته‌ای

## بانگ‌های به کاربرد حیاتی کروماتوگرافی در حفظ و بهبود عملکرد آنها

فاطمه مطلبی (کارشناسی شیمی محض دانشگاه الزهراء (س)) Fatemeh.motallebi139@gmail.com

رودینا دیسه (کارشناسی شیمی محض دانشگاه الزهراء (س)) Rodina.diseh@gmail.com

ویراستاران: فاطمه سادات صوف باف، نرگس رستمی

انرژی هسته‌ای به عنوان یک انرژی پاک شناخته شده است و حدود ۱۰ درصد از نیروگاه‌های سراسر جهان از این انرژی برای تولید برق استفاده می‌کنند. [۱] راکتورهای هسته‌ای با شرایط سختی فرایندهای مورد نیاز را انجام می‌دهند. فشار و دمای بالا، قرار گرفتن در معرض انواع تابش‌های هسته‌ای و خوردگی، از جمله این شرایط هستند. بنابراین موادی که در ساخت و فرایند راکتورهای هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند باید عملکرد بالایی داشته باشند، که این عملکرد در گرو خلوص مواد استفاده شده است، بررسی خلوص مواد و سنجش کمی و کیفی آنها با روش‌های مختلفی انجام می‌شود، از جمله این روش‌ها که کارایی زیادی دارد؛ استفاده از انواع شیوه‌های کروماتوگرافی<sup>۳۲</sup>، به‌ویژه کروماتوگرافی یونی<sup>۳۳</sup> است. [۱]

### کروماتوگرافی چیست؟ [۵]

کروماتوگرافی، یک روش جداسازی توانمند است که در تمام شاخه‌های علوم کاربرد دارد. کمی بعد از شروع قرن بیستم میلادی، کروماتوگرافی توسط گیاه‌شناس روسی، میخائیل تسوت<sup>۳۴</sup>، ابداع و نام‌گذاری شد. او این فن را برای جدا کردن رنگدانه‌های گیاهی مختلف از قبیل کلروفیل<sup>۳۵</sup> و زانتوفیل<sup>۳۶</sup>، با عبور دادن محلول‌هایی از این ترکیبات از داخل یک ستون شیشه‌ای، که با گرد نرم کلسیم کربنات ( $\text{CaCO}_3$ ) انباشته

<sup>۳۲</sup> Chromatography

<sup>۳۳</sup> Ion Chromatography

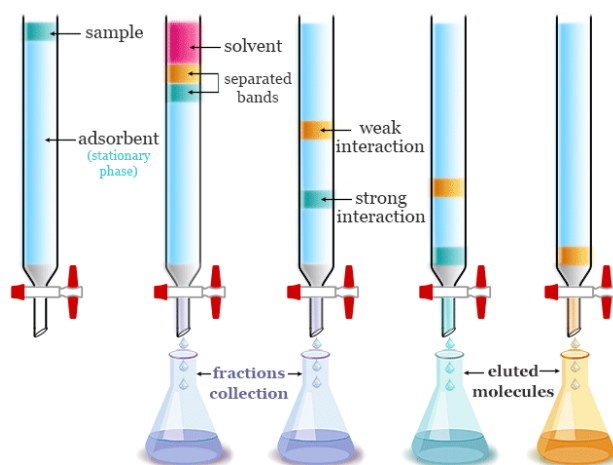
<sup>۳۴</sup> Mikhail Tswett

<sup>۳۵</sup> Chlorophyll

<sup>۳۶</sup> Xantophyll

شده بود، به کاربرد. از آن جا که طی این آزمایش، گونه‌ها به صورت نوارهای رنگی در ستون ظاهر شده و از یکدیگر جدا شدند، وی نام کروماتوگرافی را برای این روش انتخاب کرد. (در زبان یونانی "کروما" یعنی رنگ و "گرافی" یعنی نوشتن).

کاربرد کروماتوگرافی به دلیل افزایش نیاز دانشمندان به شناسایی و به کارگیری روش‌های بهتر برای تشخیص اجزای مخلوط‌های پیچیده، من جمله، ترکیبات فلزات سنگین و ناخالصی‌های آن‌ها که در این مقاله با آن سر و کار داریم، به طور حیرت‌آوری گسترش یافته است. تاثیر شگفت‌آور این روش‌ها بر علم را می‌توان با اهدای دوازده جایزه نوبل بین سال‌های ۱۹۳۷ تا ۱۹۷۲ به پاس تلاش‌هایی که کروماتوگرافی در آن‌ها نقش حیاتی داشته است، دریافت کرد.



تصویر ۱. یک شکل ساده از آزمایش تسوت و کروماتوگرافی ستونی.[۷]

#### • توصیف کلی کروماتوگرافی[۵]

کروماتوگرافی در برگیرنده‌ی گروهی از روش‌های مهم و گوناگون است که به دانشمندان اجازه می‌دهد تا اجزایی که در یک مخلوط پیچیده، از لحاظ فیزیکی و شیمیایی خواص نزدیک به هم دارند را از یکدیگر جدا کنند. در تمام جداسازی‌های کروماتوگرافیک، نمونه‌ی مورد آنالیز در یک فاز متحرک<sup>۳۷</sup> (گاز، مایع یا سیال ابربحرانی<sup>۳۸</sup>) حل می‌گردد. سپس این فاز متحرک از درون یک فاز ساکن<sup>۳۹</sup> (جامد) که درون ستونی تثبیت شده است، با فشار عبور داده می‌شود. نوع دو فاز، به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اجزای نمونه با درجات مختلفی میان فاز ساکن و متحرک توزیع شوند. آن اجزایی که با فاز ساکن به شدت ننگه داشته می‌شوند، با جریان فاز متحرک به سختی حرکت می‌کنند و در نتیجه، جداسازی آن‌ها نیز سخت‌تر و دیرتر صورت می‌گیرد. در مقابل، اجزایی که به طور ضعیف به وسیله‌ی فاز ساکن ننگه داشته می‌شوند، به سرعت حرکت می‌کنند. در نتیجه‌ی این اختلافات در حرکت، اجزای نمونه به نوارهای مجزا از هم جدا

<sup>۳۷</sup> Mobile Phase

<sup>۳۸</sup> Hyper-Critical Fluid

<sup>۳۹</sup> Stationary Phase



می‌شوند. در انتهای ستون کروماتوگرافی نیز، آشکارساز<sup>۴۰</sup> قرار گرفته که سیگنال و نتایج را از آنالیز انجام گرفته به ما می‌دهد.

کروماتوگرافی به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد اما در بحث کنترل شرایط نگهداری راکتورهای هسته‌ای، کروماتوگرافی یونی، حرف اول را می‌زند.

**کروماتوگرافی یونی**، یکی از روش‌های کارآمد جداسازی یون‌ها و ذرات باردار است. بر این اساس اگر هدف، جداسازی و اندازه‌گیری کاتیون‌ها باشد باید از رزین‌های کاتیونی استفاده کرد که آنیون‌ها را به علت داشتن بار الکتریکی مخالف جذب خود کنند، و کاتیون‌ها شارش پیدا کرده و خارج شوند. برعکس، اگر هدف، اندازه‌گیری آنیون‌ها بود می‌بایستی که از رزین‌های آنیونی استفاده می‌شد تا کاتیون‌ها جذب شده و آنیون‌ها خارج شوند. آشکارسازهای این نوع از کروماتوگرافی نیز به دلیل خواص الکتریکی ذرات هدف، با اندازه‌گیری میزان رسانایی نمونه‌ها کار می‌کنند. علاوه بر آن از آشکارسازهای UV-Vis، فلورسانس و آمپرومتریک بسته به هدف آنالیز، نیز استفاده می‌شود.

کروماتوگرافی یونی برای نخستین بار در طی پروژه‌ی منهن<sup>۴۱</sup> برای جداسازی کاتیون‌ها در خاک‌های کمیاب با استفاده از رزین‌های کاتیونی، ابداع و به کار گرفته شد.

#### • بررسی جزئیات به کارگیری کروماتوگرافی یونی در راکتورهای هسته‌ای [۱]

استفاده از کروماتوگرافی یونی باعث کاهش حد تشخیص<sup>۴۲</sup> و افزایش حساسیت<sup>۴۳</sup> می‌شود، همچنین این روش محدوده‌ی خطی<sup>۴۴</sup> بالا (از مزایای شکل نمودارهای رسم شده طی آنالیز)، گزینش‌پذیری<sup>۴۵</sup> زیاد و توانایی تخمین ظرفیت فلزات را دارد، علاوه بر این‌ها می‌تواند کاتیون و آنیون‌ها به طور همزمان آنالیز کند. کروماتوگرافی یونی یکی از انواع کروماتوگرافی مایع<sup>۴۶</sup> است و در آن از ستون‌های بسیار کوچک‌تری نسبت به روش‌های دیگر استفاده می‌شود. اجزای این سیستم، شامل یک پمپ با فشار زیاد، محل تزریق نمونه، ستون محافظ، ستون اصلی، سرکوبگر<sup>۴۷</sup> و آشکارساز می‌باشد.

<sup>۴۰</sup> Detector

<sup>۴۱</sup> پروژه‌ای که در دوران جنگ جهانی دوم با محوریت کشورهای کانادا، آمریکا و بریتانیا تحت سرپرستی و طراحی رابرت اپنهایمر به ساخت نخستین بمب اتم انجامید.

<sup>۴۲</sup> Limit of Detection : پایین‌ترین غلظتی از یک نمونه که یک روش جداسازی مانند کروماتوگرافی با درجه اطمینان مشخصی بتواند آنرا تشخیص دهد.

<sup>۴۳</sup> Sensitivity

<sup>۴۴</sup> Limit of Linearity

<sup>۴۵</sup> Selectivity

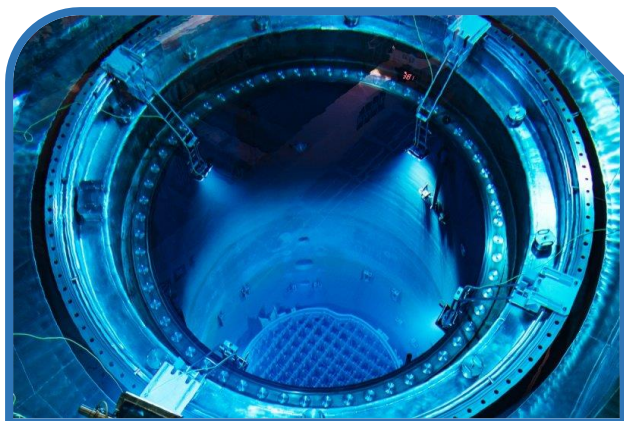
<sup>۴۶</sup> Liquid Chromatography (LC): نوعی از کروماتوگرافی که فاز متحرک در آن مایع است.

<sup>۴۷</sup> Suppressor

## کروماتوگرافی یونی در چه بخش‌هایی از راکتور هسته‌ای کاربرد دارد؟ [۲]

### • سوخت و قلب راکتور

در یک راکتور هسته‌ای، بخش‌هایی به نام مجاری فشار<sup>۴۸</sup> قلب راکتور را تشکیل می‌دهند. در این مجاری سوخت و خنک‌کننده‌ی اولیه راکتور، یعنی آب، قرار دارد. [۳] سوخت استفاده شده در اکثر راکتورها متشکل از اورانیوم و اکسید اورانیوم است. انتظار می‌رود که این سوخت به درستی عمل کند، اما وجود ناخالصی‌هایی که هنگام غنی‌سازی، و استخراج آن به وجود آمده و در فرایندهای سنتزی سوخت از بین نرفته‌اند، می‌تواند مشکل‌ساز باشد. بنابراین باید از تکنیکی حساس استفاده شود که همان کروماتوگرافی یونی است. یکی از مواردی که باید در مورد سوخت بررسی شود، میزان نیتروژن در آلیاژ اورانیوم و اورانیوم اکسید به کار گرفته شده است که تاثیر بسیار زیادی روی عملکرد سوخت می‌گذارد، و همچنین وجود آن به شکل یونی باعث آسیب رساندن به روکش‌های استفاده شده در مجاری فشار می‌شود.



تصویر ۲. نمایی از داخل قلب راکتور بدون

نیتروژن به صورت آنیونی ( $N^{-2}$ ) وجود دارد. در نتیجه سیستم استفاده شده برای بررسی آن کروماتوگرافی کاتیونی است.

کربنات لیتیم ( $Li_2CO_3$ ) در واکنش همجوشی هسته، به عنوان ماده‌ی پیش‌ساز سنتز سوخت استفاده می‌شود. این ماده خواص ویژه‌ای مانند چگالی بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی دارد، بررسی خلوص آن قبل از استفاده بسیار مهم است تا ناخودآگاه در خلوص سوخت تغییری ایجاد نشود.

### • سیستم گردش<sup>۴۹</sup> آب و بخار

خلوص یونی آب مورد استفاده در دیگ‌های بخار، منبع، مجاری فشار و دیگر بخش‌ها، ایمنی و بازدهی نیروگاه‌های هسته‌ای را تضمین می‌کند. خرابی در دیگ بخار، توربین، سیستم گرم‌کننده و خنک‌کننده نیروگاه‌ها می‌تواند به طور مستقیم با خلوص یونی آب و بخار مرتبط باشد. با درک سطوح آلودگی یونی و برطرف کردن آن، می‌توان تاسیسات و اپراتورها را از آسیب‌های ناشی از خوردگی، پوسته پوسته شدن و رسوب گرفتگی حفظ کرد و یا این چنین آسیب‌ها را به حداقل رساند. [۶]

<sup>۴۸</sup> Pressure Tubes

<sup>۴۹</sup> Circulator

### • میله‌های کنترل<sup>۵۰</sup>

در راکتورهای هسته‌ای، از میله‌ی کنترل برای خاموش کردن راکتور و یا کنترل عمل شکافت هسته‌ای سوخت استفاده می‌شود. جنس این میله از جنس کاربید بور ( $B_2C$ ) است و از آنجا که این میله‌ها وظیفه مهار آهنگ تولید نوترون در فرایندهای مربوط به شکافت سوخت برعهده دارند، بسیار حائز اهمیت می‌باشند. در نتیجه کوچک‌ترین ناخالصی و تخلخل در میله‌های کنترل، با تغییر ظرفیت اندازه‌گیری و مهار نوترون‌های آزاد، برای آن‌ها همراه است و خسارات زیان‌باری را به دنبال خواهد داشت. کروماتوگرافی یونی بهترین روش برای آنالیز و سنجش خلوص بور در میله‌های کنترل می‌باشد.



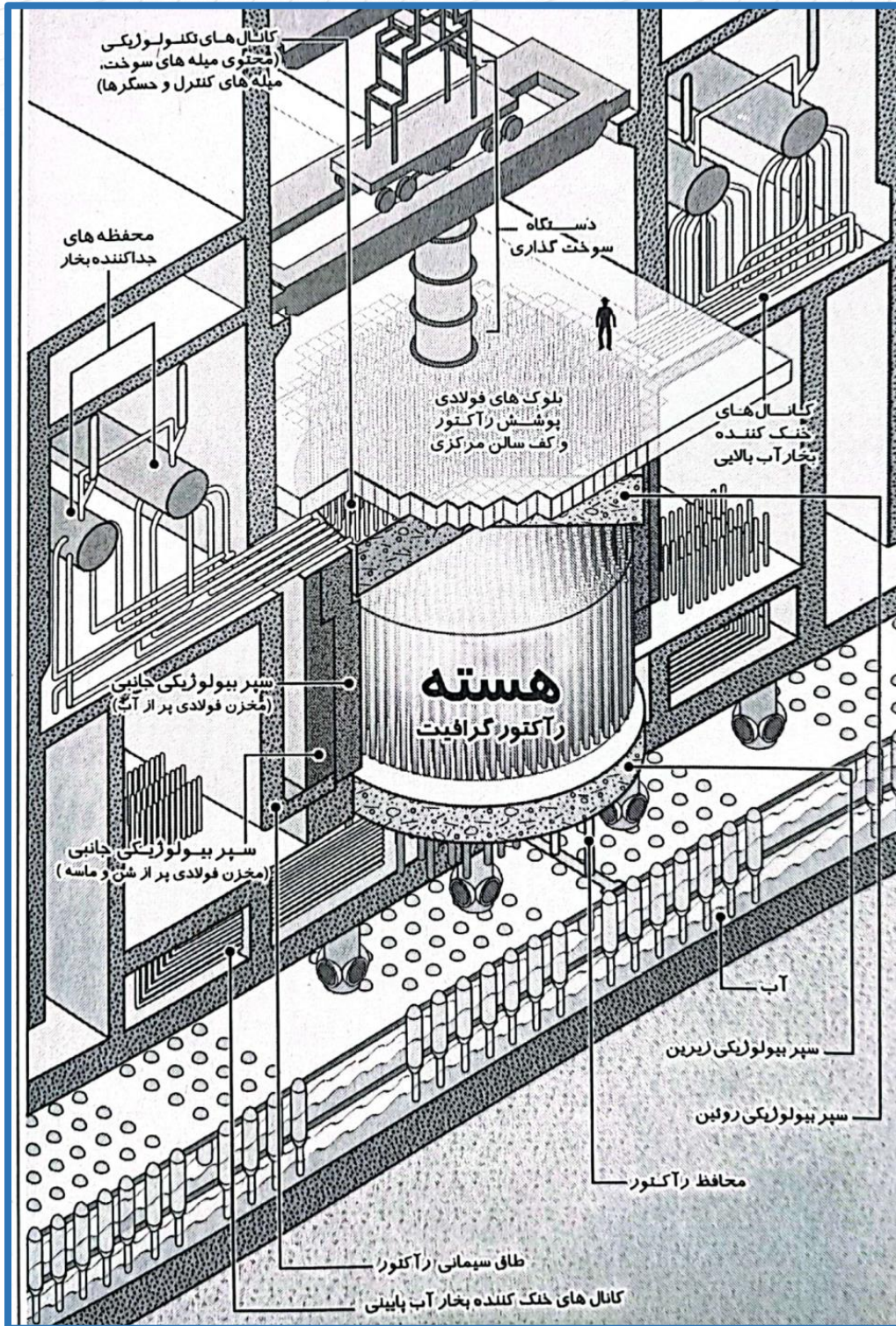
**تصویر ۴.** مهندسان در حال نصب میله‌های کنترل در یک نیروگاه هسته‌ای. [۱۰]

**تصویر ۳.** یک میله کنترل مخصوص راکتور هسته‌ای. [۹]

برای درک بیش‌تر از آنچه از بخش‌های راکتور گفته شد شکل ۵ را ببینید. این شکل، نقشه‌ی یک واحد راکتور در یک نیروگاه هسته‌ای را نشان می‌دهد. [۴] در این نقشه منظور از هسته همان قلب راکتور است که سوخت از یک کانال اصلی به آن وارد شده و سپس وارد میله‌های سوخت در مجاری فشار می‌گردد. در مجاورت میله‌های سوخت همزمان چندین لوله‌ی دیگر نیز وجود دارد که بسته به طراحی مهندس راکتور، هر کدام می‌تواند مربوط به میله‌های کنترل (کاربید بور یا گرافیت)، میله‌های بخار، سنسورهای ظرفیت راکتور (دما، فشار و تابش هسته‌ای) و... باشد

<sup>۵۰</sup> Control





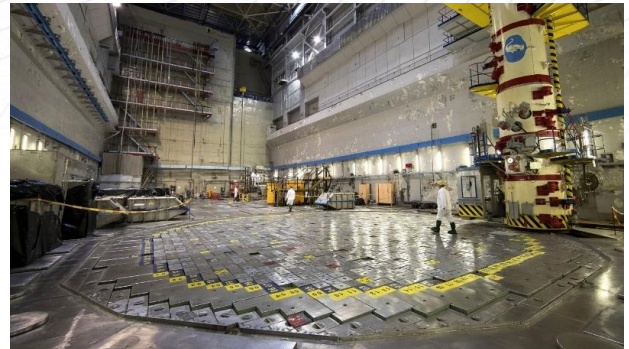
تصویر ۵. سالن راکتور یک واحد نیروگاه هسته‌ای. [۱۱]



فعالیت و عملکرد هر یک از اپراتورها، میله‌ها و سنسورها از سیستم‌ها و کامپیوترهای واقع در اتاق کنترل هر واحد راکتور قابل مهار است. [۴]



**تصویر ۶.** پوشش بیرون راکتور. در این تصویر هر یک از میله‌های کنترل، سوخت، بخار و بسیاری از مجاری فشار به وضوح قابل رویت هستند. هر کد روی میله‌ها نشان‌دهنده یک عملکرد است [۳] که مهندسان از اتاق کنترل می‌توانند فعالیت راکتور را با توجه به این کدها بررسی کنند. [۱۲]

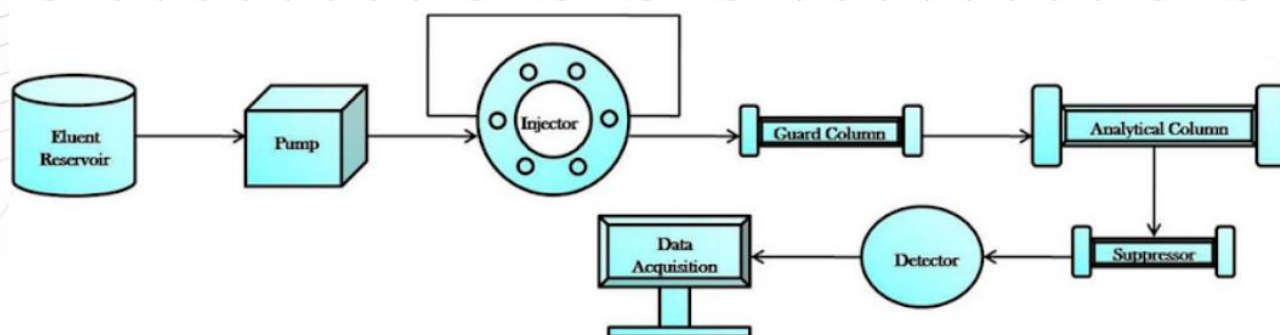


**تصویر ۷ و ۸.** اتاق کنترل دو واحد هسته‌ای. [۱۳]

#### • عملکرد کروماتوگرافی یونی در آنالیزهای هسته‌ای [۱]:

ابتدا فاز متحرک از طریق مخزن وارد ستون می‌شود، سپس نمونه از محل تزریق (خودکار یا دستی) به ستون اضافه می‌شود. به کمک پمپ، فاز متحرک در طول ستون حرکت می‌کند و روی فاز ساکن یون‌های مخالف را به خود جذب می‌کند؛ این امر، وابسته به اندازه و بار یون‌ها است. یون‌های باقی‌مانده به همراه فاز متحرک به سمت "سرکوبگر" حرکت می‌کنند. در این بخش، هدایت الکتریکی و رسانایی فاز متحرک کاهش پیدا کرده و اجزای نمونه رسانایی بالایی پیدا می‌کنند. این مسئله باعث می‌شود که سیگنال مرتبط به فاز متحرک کاهش پیدا کند و سیگنال مربوط به نمونه تقویت شود. این مسئله نسبت سیگنال به نویز<sup>۱۰</sup> را کاهش می‌دهد (هرچه این نسبت کمتر باشد، نتایج حاصل شده‌از آشکارساز قابلیت اتکای بیشتری دارد). در نتیجه، تشخیص و تمیز نتایج آسان‌تر می‌شود. به این روش، روش کروماتوگرافی دو ستونی نیز گفته می‌شود. شکل صفحه‌ی بعد شمای کلی این فرایند را نشان می‌دهد.

<sup>۱۰</sup> Signal/Noise



### • جمع بندی:

در نیروگاه‌های هسته‌ای که وجود مقدار کمی ناخالصی و خطا می‌تواند فاجعه بار باشد، این مسئله باید به‌طور دقیق و با حساسیت بالا مورد بررسی قرار بگیرد. کروماتوگرافی یونی توانایی تشخیص و جداسازی یون‌هایی را دارد که در هر بخش از راکتورها می‌توانند مشکل‌ساز باشند و غلظت‌های بسیار پایینی در حد میکروگرم بر لیتر ( $\mu g/L$ ) دارند. طبق تحقیقات انجام شده این روش بالاترین کارایی را در حفظ کیفیت راکتورهای هسته‌ای دارد.

با تشکر از سرکار خانم دکتر زهرا طالب پور که ما را در تهیه‌ی این تحقیق یاری نمودند.

### منابع:

۱. Overview of ion chromatographic applications for the analysis of nuclear materials, HarshalaParab, JayshreeRamkumar, AyushiDudwadkar, and Sangita D. Kumar, ۲۰۲۱
۲. IonChromatographyPower Plant Water Applications Summary Notebook, P. Water ۲۰۱۸
۳. Nuclear Physics and Nuclear Reactors, V.E. Levin, Translated from Russian by L. N. Bell, MIR Publishers, Moscow, ۱۹۸۱.
۴. Midnight in Chernobyl; The untold story of the world's greatest nuclear disaster, Adam Higginbotham, Simon & Schuster publisher.
۵. اصول تجزیه دستگاهی، جلد دوم، داگلاس ای. اسکوگ، اف. جیمز هالر، تیموتی ای. نیمن، ترجمه عبدالرضا سلاجقه، مرکز نشر دانشگاهی.
۶. آلفا اسپکتروسکوپی ایزوتوپ‌های U,Th، کانسنگ آنومالی ۲ و بخش سطحی آنومالی ۱، ساغند.

### منابع عکس‌ها:

۷. Photo: Column Chromatography – an overview, sciencedirect.com
۸. Photo: a filter inside the Olikiluoto ۲ reactor vessel. PHOTO VIA TVO
۹. Photo: Product spotlight: Control rod blades, Westinghouse Electric Co.
۱۰. Photo: Nuclear Power is a dead end, Thenation.com
۱۱. Photo: RBMK Reactor central hall, ۱۲۳RF.com
۱۲. Photo: Upper biological shield of the reactor hall, Reddit.com
- ۱۳, ۱۴. Photos: ۲ soviet control rooms, science photo library & IAEA.org

## گفت‌وگو با جناب آقای دکتر امیرحسین فتح‌الهی

عضو هیئت علمی دانشکده فیزیک دانشگاه الزهرا(س)

با همفکری تعدادی از اعضای نشریه، سعی کردیم دغدغه‌های امروزه دانشجویان را در قالب سوال مطرح کنیم و آن‌ها را برای جناب آقای دکتر فتح‌الهی ارسال کردیم. طبق روال نشریه‌ی سای، گفت‌وگو به صورت کتبی انجام، و نگارش آن بدون تغییر منتشر شده‌است.

تنظیم کنندگان: زهرا بختیاری دانشجوی ارشد ماده چگال دانشگاه الزهرا(س)، ریحانه طرقي دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۸، نرگس رستمی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹، فاطمه سادات صوف باف دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۸، هانیه افشاری پور دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹

### بخش اول: زندگی حرفه‌ای

۱. لطفاً شرح حالی کوتاه، از زندگی خود برایمان بدهید.

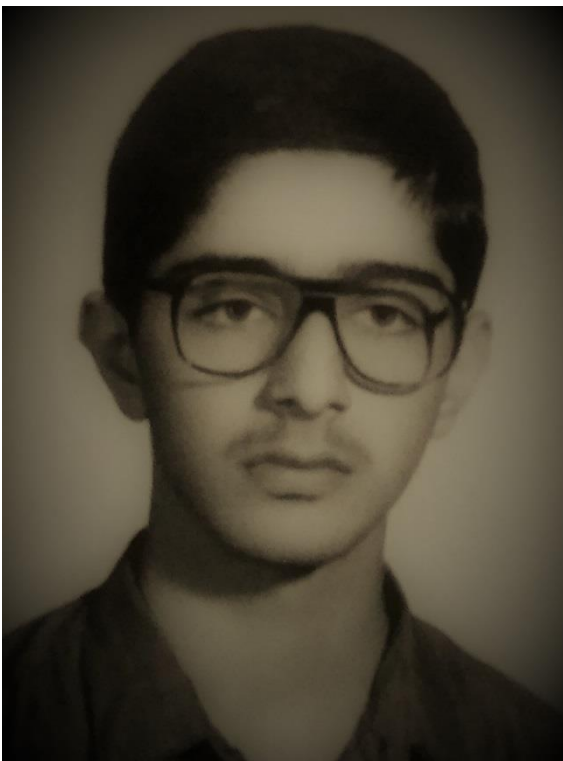
متولد ۴۹ هستم تهران، خیابان شکوفه (نزدیک میدان شهدا فعلی و ژاله سابق). ابتدایی و راهنمای (مجموعاً ۸ سال) به مدرسه شهابی رفتم (که تغییر نام داد شد مدرسه امت و بعد از رفتن عاشوری و بعدتر ادیبی). نزدیک خونه بود و راحت. بعدش چهارسال رفتم دبیرستان مدرس (خیابان ژاله سابق و مجاهدین اسلام فعلی). سال ۶۷ کنکور دادم و رتبه ۱۱۰ آوردم. با توجه به علاقه‌هایی که در خودم میدیدم انتخابم مکانیک شریف بود که قبول شدم. در ابتدای قبولی اردوی یکی دو روزه داخل دانشگاه گذاشتن. در اردو به واسطه‌ی یکی از هم دوره‌ایهای مکانیک‌ام با یک نفر از رشته الکترونیک آشنا شدم که رتبه ۶ کنکور بود و به واسطه‌ی او هم با ۳ نفر دیگه از رشته‌های قدرت، سخت‌افزار و نرم‌افزار. ما ۵ نفر به سرعت فهمیدیم علائق مشترکی داریم. البته شخص تاثیرگذار بین ما دوست الکترونیکی بود. صحبتها و روابط باعث شد ما ۵ نفر تغییر رشته بدیم و برای ترم چهارم رشته فیزیک رفتیم. به قول معروف گفتیم «یه بار که بیشتر زندگی نمیکنیم پس چیزی که واقعا دوست داریم بخونیم». در این اتفاقات صحبت‌های دکتر کریمی‌پور (که آن موقع دانشجوی دکتری بود) با دوست الکترونیکی‌مون خیلی تاثیرگذار بود. خود ایشون لیسانس برق خونده بود و بعدش به فیزیک آمده بود. توصیه‌اش این بود که اگر واقعا فیزیک دوست دارید از همین لیسانس بیائید. دوران واقعا خوشی پیدا کردم و مثل یه ماهی بودم که در آب زلال و تازه رها شده و صفا میکنه. قبل از تغییر رشته سه-چهار درس از رشته مکانیک پاس کرده بودم (استاتیک، دینامیک، مقاومت مصالح، نقشه‌کشی صنعتی، ...). اینکه بخوای قوانین فیزیک (در واقع



مکانیک) رو برای کاربردهای صنعتی استفاده کنی با روحیاتم زیاد سازگاری نداشت. اینکه ضخامت ورقه فلزی برای مخزن آب حداقل چقدر باشه تا نترکه! یا اینکه تعداد پرچها چند تا باشن که هم صفحه دو تکه نشه (تعداد پرچ زیاد) و هم به پرچها زور نیاد (تعداد پرچ کم)! یا اینکه نیروی وارد بر فلان میله در سازه (بهش میگن خرپا) چه قدره! خلاصه این کاره نمیشدم. از استادهای اون موقعم، فیزیک ۲ رو با دکتر کاویانی خودمون گذروندم (البته ترم دوم بودم و هنوز تغییر رشته نداده بودم و ایشون هم دانشجوی دکترا بودند). بعد از تغییر رشته، تحلیلی ۱ و ۲ رو با دکتر آقامحمدی، ریاضی فیزیک ۱ با دکتر خرمی، فیزیک جدید و ترمودینامیک با دکتر کریمی پور. سال ۷۱ ارشد و سال ۷۳ دکترا قبول شدم و در شریف ادامه دادم. بهمن ۷۷ فارغ التحصیل شدم. گرایش تحصیلی ام بنا به علاقه شد فیزیک ذرات بنیادی یا به تعبیری فیزیک انرژیهای بالا. البته بعدش وارد کارهای دیگه هم شدم. خلاصه باید نون در بیاریم. پس از فارغ التحصیلی یک سال از مهر ۷۸ تا شهریور ۷۹ در تحصیلات تکمیلی زنجان شاغل بودم. بعدش برای یک سال پسادکترا رفتم ایتالیا. برای سال دوم میشد ولی نمودم و دوباره برای دو سال و نیم (از مهر ۸۰ تا اسفند ۸۲) تحصیلات تکمیلی زنجان کار کردم. از ابتدای ۸۳ هم که در الزهرا هستم. از ۷۵ تا ۷۹ هم در بخش فیزیک مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات (IPM) محقق پاره وقت بودم.

## ۲. چرا فیزیک را انتخاب کردید؟ اگر به گذشته برگردید باز هم فیزیک را انتخاب می‌کنید؟ چرا؟

دلیل انتخاب فیزیک رو تا حدی در سوال قبل گفتم. واقعا اگر دوباره برمگشتم فیزیک رو انتخاب میکردم. چراش اینکه فیزیک صرفا برام یک رشته تحصیلی یا یک زمینه کاری یا پژوهشی نیست. پس از مدتی بخشی از زندگی و عمیقترین لایه‌های ذهنیم شد. تا حدی خودم رو با فیزیک بیان میکنم. وقتی مشغول فیزیک هستم از دنیای بیرون تا حد زیادی قطع میشم. البته در جوانی مشغولیت‌های ذهنی کم‌تره و بیشتر اینطوری بودم. الان تمرکز کم شده!





### ۳. اولین بار کی و کجاست توجه شدید به فیزیک علاقه مند هستید؟

از کودکی و نوجوانی همیشه مقداری سیم و باتری و لامپ و عدسی و ظرف دارو و کبریت و بعدها خازن و مقاومت و کویل ماشین و ... خرت و پرت داشتم و سرم باهاشون گرم بود. مقداری زیادی اسباب بازی و وسایل خونه رو که خراب میشد یا خودم خراب میکردم باز میکردم و دل و روده شون رو بیرون میکشیدم تا ببینم توشون چه خبره و چطوری کار میکنند. از همون موقع هم فیلمها و مسابقه های علمی رادیو و تلویزیون رو دوست داشتم. فکر میکنم اینها نشانه بوده. اما به شکل مشخص احتمالا در دبیرستان باید بوده باشه. دبیرستان ما زمینه برای رشته ی ریاضی خیلی خوب بود. یکی دو تا دفتر به نسبت بزرگ داشتیم که اسم دقیقش الان یادم نیست (احتمالا انجمن) و جایی بود برای جمع شدن و به فیزیک و ریاضی (جبر و هندسه و ...) پرداختن. از خود دانش آموزان سال بالایی مسئول دفترها بودن و بچه هایی که دوست داشتن به این چیزها بپردازن میتونستن در این دفترها جمع بشن و وقت بگذرونن. مثلا یکی می اومد میگفت: این مسئله رو میتونین حل کنین! یا این مسئله کمک میخوام. بچه های سال بالایی دلسوزانه کمک میکردن و اگر لازم میشد با حوصله برای یک دانشجوی ضعیف یک مسئله رو توضیح میدادن. در همین دفترها نشریات و جزوه های ریاضی و فیزیک داخلی دبیرستان چاپ میشد و در قفسه ها در دسترس بود. مجموعه مسئله های مکانیک، گرما، نور، الکتروسیته، ... و در ریاضی جبر، هندسه، مثلثات، ... کیفیت چاپ بالا نبود اما پر از مسئله بود برای حل و فکر کردن. هنوز هم تعدادی از این نشریه ها رو باید داشته باشم (امیدوارم گم نشده باشن). در همینجاها بود که فهمیدم به حل مسائل ریاضی و فیزیک علاقه دارم. کامل منو مشغول میکرد. خوشبختانه معلم های خیلی خوبی هم داشتیم. اغلب بسیار بسیار فراتر از وظایف یک معلم برای بچه ها زحمت میکشیدن. مایلم در اینجا از آقای صالحی یاد کنم و به احترامشون کلاه از سر برمیدارم.

قبلا گفتم چرا رشته ی مهندسی بهم نمیساخت. احتمالا فقط مونده بگم که چرا رشته ریاضی نرفتم. واقعش اینه که ریاضی به عنوان حل مسئله رو دوست داشته و دارم. اما وقتی به دقتها و ظرایف مورد نظر ریاضی دونه ها میرسه کم میارم. مثلا در حالی که جواب رو میدونی باید دقیق بگی منظورت از این گزاره چیه! نمیگم اینها ضروری یا مهم نیستن. از حوصله من خارجن. بنابراین نه مهندسی با اون شلوغیش و نه ریاضی با دقت و سواس گونه اش با روحیات و حوصله من میخورن. بخشهایی از فیزیک چیزی بین این دو تاست. نه شلوغی مهندسی رو داره و نه دقت های وسواسی ریاضی رو. با مقدار مناسب از ریاضی و شهود میتونم با مسئله های نه چندان شلوغ خودت رو مشغول کنم.

### ۴. کدام مبحث (های) فیزیک برای شما جذاب تر هست؟ چرا؟

جذاب ترین بخش فیزیک برام جایی هست که بتونم از خودم چیزی بگم. گاهی حل یک مسئله س که خب حس خوبی میده. از اون بهتر این که بتونم یک بینش یا نقطه نظر رو معرفی کنم. دلیلش هم کمی خودخواهانه س و اینه که «خب مال و در واقع جزئی از خودمه».

از این قسمتهای خودخواهانه که بگذریم، جاهایی از فیزیک که با قوانین عمومی و بنیادی حاکم بر طبیعت سروکار دارن برام جذابن. مثل نیروهای بنیادی طبیعت و نظریه نسبیت خاص و عام. پدیده هایی

که قوانین متعدد فیزیک درش حضور دارند و اونقدر شلوغن که نمی‌تونم سروته‌ش رو در ذهنم با هم داشته باشم کمتر جذبم میکنن. شاید چون مغزم حافظه کم میاره.

۵. آیا فیزیکدان بودن (یا فیزیک خواندن) تاثیری در بهبود وضعیت زندگی شخصی شما نسبت به دیگران داشته است؟

قاعدتا سروکار داشتن با فیزیک رد پاش رو در شخصیت و سبک زندگی گذاشته. مقداریش خودآگاه و مقداریش ناخودآگاه. اینکه این تاثیرات لزوماً مزیت به حساب بیان بستگی داره به نظام ارزش‌گذاری که انتخاب میشه. مثلاً معمولاً افرادی که ریاضی و فیزیک میخوانن مقداری در تفکر منطقی بهتر هستن. خب آیا این خوبه یا نه؟ شخصاً فکر میکنم تفکر منطقی خوب و بلکه ضروریه، اگرچه در سطحی کارائیش رو از دست میده و اصول دیگری کار میکنن و حیاتین. مثلاً هیچ تفکر منطقی به اینجا ختم نمیشه که موجود جاندار حدود ۳ کیلویی که میگن نوزاد شماسه رو دوست داشته باشید. اگر دکتر یا پرستار اشتباهی نوزاد دیگه‌ای هم آورده باشن باز آدم دوستش داره و ازش نگهداری میکنه تا زنده بمونه و بزرگ بشه.

۶. اگر فیزیکدان نبودید، علاقه داشتید در چه زمینه‌ای فعالیت کنید؟ و در چه رشته‌ای تحصیل کنید؟

اگر منظورتون شغل هست، بدم نمیومد یک غذافروشی داشته باشم (نه لزوماً رستوران!) یک جای خاص که چند غذا با طرز تهیه‌ی خودم رو بفروشم و مشتری‌های عمدتاً ثابت داشته باشم. اما اگر منظورتون خوندن علوم دیگه هست. در حدود یکی دو دهه‌ی اخیر فهمیدم چقدر علوم انسانی مهمن. دوست دارم از حرفه‌ای حساب و نظریه‌ها در این علوم مطلع بشم. منظورم از حرفه‌ای حساب اونهایی هست که با معیارهای آکادمیک جهانی اینطورین و توسط جامعه‌ی جهانی مربوط به این علوم رسمیت یافتن. بحثهای فلسفی (غربی و شرقی) و اخلاقی هم برام جذابیت دارن. البته فکر میکنم هیچکدام طوری نیستن که به عنوان رشته تخصصی بتونم مداوم ادامه بدهم. از نظر ذهنی و روحیات فکر میکنم برای کار حرفه‌ای در این رشته‌ها مناسب نیستم. اگر مجبور بودم رشته تحصیلی غیر از فیزیک بخونم، احتمالاً یکی دیگه از رشته‌های علوم پایه رو انتخاب میکردم (زیست، شیمی یا ریاضی).

۷. مهم‌ترین درسی که از فیزیک گرفتید چه بوده است؟

اینکه قوانین جهان برای همه یکسانه!

## بخش دوم: دانشکده

۸. نظر شما درباره‌ی گروه فیزیک دانشگاه الزهراء (س) چیست؟ آیا در سطح قابل قبولی هست؟ (از نظر فعالیت اساتید و فعالیت دانشجویان در مقاطع مختلف)

البته الان دیگه باید گفت «دانشکده فیزیک» الزهراء. به نظرم در بخش آموزش وضع‌مان بد نیست. اگر از جایی داخل ایران باخبر بشم که «خیلی» از ما بهتره تعجب میکنم. در مقیاس جهانی هم، اگر آنچه که سر

کلاس اتفاق میفته ملاک بگیریم، فکر میکنم نمره خوبی بیاریم. البته طبیعتا امکانات کلاسی و تجهیزاتی ضعیفی داریم (حتا محل کلاس درست و حسابی نداریم).

در بخش پژوهش اگر تجهیزاتی که در اختیار داریم و اینکه در یک دانشگاه جامع هستیم (که رشته‌های غیرعلوم پایه و غیرمهندسی اکثریت هستن) به حساب بیاریم فکر میکنم وضعیت مان قابل دفاع هست. اکثریت اعضا هیات علمی سعی میکنن با کمک دانشجویان بانگیزه و باتلاش با چنگ و دندون پژوهش رو زنده نگه دارن و کارهای باکیفیت ارائه بدن.

در مقایسه مقاطع، به نظرم بهترین مقطع الزهرا با فاصله لیسانس هست. این فقط حرف من نیست و اکثر همکارا همین نظر رو دارن. بعدش به نظرم مقطع دکترا و احتمالا از همه ضعیف تر مقطع ارشد. البته این که میگم در مورد برآیند مقطع هست و منظورم همه دانشجویهای یک مقطع نیست. در همین مقطع ارشد دانشجویانی که با جدیت کار میکنن نتایج بسیار خوبی میگیرن و بعد هم موفق هستن.

۹. با استناد به سطح درسی دانشجویان و مقاله‌های منتشرشده توسط آن‌ها، از نظر شما دانشکده‌ی فیزیک الزهرا (س) رو به پیشرفت هست؟ آیا تدابیر خاصی برای بالاتررفتن سطح دانشکده صورت گرفته (یا خواهد گرفت)؟

در چهار پنج سال به دلایل مختلف عضو از دست دادیم و به نظرم مقداری افت داشتیم. از دلایل دیگه افت باید به مسئله میانگین سن اشاره کنم و همچنین کاهش انگیزه به دلایل مختلف. با جذب اعضا جدید و جوان و همچنین به سامان شدن امور و افزایش انگیزه‌ها امیدوارم روزهای بهتری داشته باشیم.

۱۰. به نظر شما چه تدابیری باید صورت گیرد تا دانشکده از آموزش محوری به سمت پژوهش محوری برود؟ علت اینکه دانشکده بیش تر آموزش محور هست، چیست؟

سوال سخت و البته تا حدی مبهم هست. برای من آموزش و پژوهش دو روی یک سکه هستن. من حتا وقتی برای ارائه‌ی درسی آماده میشم روش ام مثل یک کار پژوهشی هست. سعی میکنم مطالب اون درس رو به تدریج کشف کنم و حتا تا حدی به زبون خودم بگم.

شاید منظورتون از سوال این هست که چرا گاهی به نظر میرسه تاکید اصلی بر انتقال خشک و در مواردی به یاد سپردن مطالب است، و کمتر به کاربردها و جذابیت‌های فیزیک پرداخته میشه. اگر این باشه چیزهایی به ذهنم میرسه. این موضوع چند وجه دارد. دانشجو، استاد، نظام آموزشی، دانشگاه و ... از اینها فقط اولی دست شماست، اگرچه تاثیر بقیه واقعا مهمه. مثلا اگر نظام آموزشی به خصوص قبل از دانشگاه نوجوانان رو طور خاصی بار بیاره، بعدها تغییرش خیلی سخته. به هر حال دست شما به بقیه نمیرسه پس به اولی بپردازید. چون جوابم به سوال ۱۶ ربط داره اون رو ببینید.



## بخش سوم : دغدغه‌های دانشجویان

۱۱. باتوجه به اینکه بیش از ۲۰ سال سابقه تدریس دارید، از نظر شما دانشجویان فیزیک الان با دانشجویان ۱۰ سال قبل در چه مواردی تفاوت دارند؟ علت این تفاوت‌ها در چیست؟

بی رودربایستی، وضع خیلی خیلی خرابه! من الان حسرت دانشجویهای پانزده، ده و حتی پنج سال پیش رو میخورم. فکر میکنم نظام آموزشی ما نقش اصلی رو داره. وگرنه نمیتونم قبول کنم بچه‌های این مملکت به یکباره خنگ یا بی‌انگیزه شدن، یا قبلیها خودبخودی خیلی باهوش و بانگیزه بودن. این فرضیه‌ها قابل قبول نیست. باید ببینیم به بچه‌هامون چی دادیم که اینطوری شدن.

۱۲. آیا دانشجویان به مرور زمان افت تحصیلی داشته‌اند؟ به نظر شما علت این اتفاق چیست؟

هم افت تحصیلی، هم افت انگیزه، هم افت صبر و حوصله! علتش امور عمومی ساری و جاری و حاکم هست. من بچه‌ها رو چندان مقصر نمیبینم، اگرچه فکر میکنم خودشون میتونن مقداری اوضاعی که مقصرش نیستن رو بهتر کنن (دستکم برای حال خودشون).

۱۳. از نظر شما کرونا و دو سال دور بودن دانشجویان از فضای درس و دانشگاه، چه تاثیری در روند یادگیری آن‌ها داشته است؟

شخصا کرونا رو مقصر نمیدونم! اگر شوق یادگیری باشه آموزش مجازی به خصوص در دروس نظری چیزی کمتر از آموزش حضوری نداره، تازه شاید بیشتر هم داشته باشه. مثلا دانشجو لازم نیست وقتش در رفت و آمد تلف بشه. یا حتما شرایط خاص (کلاس گرم و سرد و شلوغ و صندلی ناراحت و لباس رسمی و ...) رو تحمل کنه و میتونه راحت‌تر در خونه بشینه و درس رو بگیره! الان در تمام دنیا آموزش مجازی اوج گرفته و حتی مردم در یوتیوب و یا با فیلمهای ضبط‌شده‌ی درسهای دانشگاههای خارج دارن درس میخونن و یاد میگیرن و بعضا حتی در امتحان شرکت میکنن و گواهی میگیرن. البته در ابتدای ارائه مجازی هم استادها و هم دانشجوها کم‌تجربه بودن ولی بعد از یکی دو ترم تقریبا یاد گرفتیم چکار باید بکنیم. دلایل و اشکالات اصلی چیزهای دیگری هستن که کرونا فرصت بروز اونها رو داد. وقتی حضوری بود، دانشجو به هر حال مجبور بود کلاس رو تحمل کنه و ناخودآگاه و حتی ناخواسته و شاید توی رودربایستی چیزهایی بره توی گوش و مغزش! کرونا این اجبار رو برداشت. همین! اشکال اصلی کم‌رنگ شدن پاسخ این سوال‌ها است: چرا درس بخونم؟ چرا خوب بخونم؟

۱۴. اکثر دانشجویان درس‌هایی را که به صورت مجازی گذرانده‌اند (که اغلب دروس پایه بودند)، یاد نگرفته‌اند و الان با مشکلات زیادی مواجه‌اند. چگونه می‌توان این افت تحصیلی را جبران کرد؟

دلیلش هر چه بوده علاجش خوندنه. منتها قبلش تصحیح کنم، ما کمتر «فیزیک خوندن» داریم. درستتر اینه که بگیم «فیزیک خوندن و نوشتن». منظورم از نوشتن هم عمدتا محاسبه‌س. تا وقتی محاسبات درس، مثال و تمرین‌هاش رو خودمون تکرار نکنیم یاد نمیگیریم. یادگیری فیزیک یعنی بشه محاسبه رو شروع کرد

و به اتمام رسوند. این «اتمام» خیلی مهمه، یعنی نگیم اینطوری میشه بعد حل میشه. تا قدم آخر رو بریم. تا وقتی این کار رو تکرار نکنیم فیزیک برامون عادی و خودی نمیشه. حالا برگردم به سوال. اگر وقت باشه کتاب رو شروع کنن و دو سه ماهه بخونن با مثال‌ها و تمرین‌ها. چون بالاخره درس رو پاس کردن و یه چیزهایی میدونن و حالا در زمان کمتری ولی با دقت و جزئیات برگردن و بخونن و بنویسن. ممکنه در درسی که الان دارن نیاز به اطلاعات درسی که قبلا به خوبی یاد نگرفتن باشه. در این صورت وقت کمتر هست و روش موثر «ساندویچ در تاکسی» هست. مثل فردی که هنوز ناهار نخورده و سریع باید به محل کارش برسه و سر راه ساندویچ میگیره و توی تاکسی میخوره. در اینجا اینطوری میشه که از درس‌های قبلی هر قسمتی که نیاز میشه رو «لقمه» بگیره و درحالی که درسهای فعلیش رو هم داره اون قبلیها رو سریع بخونه (بخوره).

۱۵. چیزی که امروز در کلاس‌های درس شاهد آن هستیم، بی‌علاقگی و بی‌انگیزگی دانشجویان (کارشناسی) فیزیک هست، علت این امر چیست؟

بله درسته. به وجود آمدن انگیزه دلایل متفاوت داره. میتونه پول، تعهد، مدرک، اعتبار، احترام، یا علاقه باشه. از اینها غیر از آخری زیاد دست ما نیست! ایجاد و افزایش علاقه میشه سوال بعدی.

۱۶. دانشجویان چگونه به فیزیک علاقه‌مند بشوند و با آن ارتباط بگیرند؟

اغلب افراد وقتی کاری رو یاد بگیرن و تسلط هم پیدا کنن علاقه‌مند هم میشن. البته استثنا هم هست، ولی اغلب اینطورین. بنابراین قدم اول این هست که بیشتر خودمون رو صرف یادگیری فیزیک کنیم. میتونیم از یک مبحث که بیشتر دوست داریم شروع کنیم. لازم نیست یهو مکانیک و الکتریسته و کوانتوم و اپتیک و ترمو و سیالات ... رو با هم شروع کنیم. با یکی که برامون باحالت‌تره (و احتمالا درش مقداری هم مهارت پیدا کردیم) شروع کنیم و حسابی بخونیمش.

یک کار خیلی مفید دیگه اینه که سعی کنیم برای خودمون «مشغولیت» فیزیکی پیدا کنیم. پدیده‌های ساده‌ی فیزیکی که جذمون میکنن دنبال و حتا تجربه کنیم. برای خودمون پروژه باهاشون تعریف کنیم. خیلی پدیده‌ها هست که میتونیم خودمون تجربه‌شون کنیم و بعدش مشاهدات خودمون رو گزارش کنیم و حتا برای دانشجویهای دیگه ارائه بدیم. حتا ممکنه اگر به فکر خودمون نرسه برای پیدا کردن ایده یا پدیده‌ی جالب سراغ استادها بریم. وقتی هم مقداری در مورد اون موضوع اطلاعات جمع کردیم بهتره با یک استاد یا دانشجوی سال بالائی یا ارشد و دکترا مشورت کنیم تا بیراهه نریم و مطمئن بشیم فیزیک مسئله رو خوب فهمیدیم. بعدش وارد تجربه کردن بشیم و انجامش بدیم. پس از اینکه کار به جایی رسید سعی کنیم بنویسیم (مثل یک مقاله دانشجویی) و در جایی مثلا همین مجله سای چاپش کنیم. همچنین یک سمینار دانشجویی نیم تا یک ساعت بذاریم و برای بقیه توضیح و ارائه بدیم. اینها واقعا میتونن حال آدم رو خوب کنن و علاقه و شوق و انگیزه رو زیاد کنن.

۱۷. کلاس‌های درس گاه‌ها خسته‌کننده است و خیلی سریع مطالب گفته می‌شود، چه راهکارهایی برای اینکه بتوانیم با کلاس‌ها همراه بشویم و مطالب را بفهمیم پیشنهاد می‌کنید؟

از بعضی اثرات که بگذریم (حال موضعی خود آدم یا استاد یا روزگار و ...) به نظرم کلید اصلی در ایجاد علاقه و انگیزه‌س. اینکه سرکلاس یادداشت برداریم (مختصر یا مفصل) میتونه مفید باشه. حتا مقداری در بحث و سوال کلاس شرکت کنیم یا اگر نیست با سوال حتا به وجودش بیاریم و بعد توش شرکت کنیم! نوشتن یادداشت و جزوه باعث میشه آدم در جریان کلاس بمونه و سوال و بحث کلاس رو زنده نگه میداره.

۱۸. چرا امروزه دانشجویان نمی‌توانند در کلاس‌های درس و برای درس خواندن تمرکز کنند؟ (دانشجوها پس از چند دقیقه کوتاه در کلاس‌های درس، تمرکز خودشان را از دست می‌دهند و با تلفن همراهشان مشغول می‌شوند)

تمرکز هم به علاقه مربوطه! شما وقتی فیلم یا کارتون رو دوست داری از تمام محیط اطرافت جدا میشی. البته همونطور که گفتم یادداشت برداری و شرکت در بحث و ... میتونن آدم رو در جریان کلاس نگه دارن. برای تمرکز موقع درس خوندن این میتونه مفید باشه که با یک عامل کمکی ابتدا از محیط اطرافتون جدا بشین. مثلا در حالی که دفتر و کتاب و البته مداتون آماده‌ن در کنار یا در گوشتون یک کانال رادیویی باز کنید. نباید چیزی باشه که خیلی دوستش دارید، وگرنه خودش مشغولتون میکنه! باید چیزی باشه که تا حدی گوشتون رو پر کنه و باعث بشه از بقیه محیط جدا بشید. بعد از مدتی اگر واقعا مشغول درستون بشید، رادیو هم دیگه نمیشنوید! اگر ازتون بپرسن در نیم ساعت گذشته بحث در رادیو چی بود جواب و درست و حسابی ندارید چون اصلا به اون گوش نمیدادید. اینها به تمرکز موقع درس خوندن کمک میکنه.

۱۹. فیزیک را چگونه باید بخوانیم تا آن را یاد بگیریم و بفهمیم؟ چه راهکارهایی برای درک عمیق‌تر و راحت‌تر درس‌ها پیشنهاد می‌دهید؟

فکر کنم تا حدی قبلا جواب دادم. خواندن و نوشتن و پیدا کردن موضوعات و فعالیت‌هایی که علاقه و انگیزه رو زیاد میکنن.

۲۰. پس از گذراندن درس‌ها و با تمام شدن ترم، اکثر مطلب‌هایی که یادگرفته شده فراموش می‌شوند، چه راهکاری برای فراموش نکردن درس‌ها پیشنهاد می‌دهید؟

تا حد زیادی طبیعیه. اینها واقعا فراموش نمیشن. معمولا در گوشه و کنار مغز هستن و اگر لازم بشه با یک دوره برمیگردن. مطالبی که یادگرفته میشه فقط وقتی حاضر و آماده در ذهن باقی میمونن که مرتب استفاده بشن یا چندین و چند بار دوره شده باشن.



۲۱. شیوهی نمره‌دهی شما به گونه‌ای است که مثلاً نمره‌ی ۱۶/۱ و ۱۶/۹، هر دو را روبه بالا گرد می‌کنید و ۱۷ می‌دهید. از نظر دانشجویان، این شیوه منصفانه نیست. لطفاً در این باره توضیح دهید.

واقع اینه که اگر از بعضی جنبه‌های حاشیه‌ای انسانی و احساسی قضیه بگذریم، نمره نتیجه‌ی یک اندازه‌گیری و سنجش هست. در واقع با امتحان و تصحیح روی مطالب یادگرفته‌شده و کیفیت ارائه اونها اندازه‌گیری میشه و به طور کمی یک عدد (که بهش میگیم نمره) اعلام میشه. اگر اینطوری به قضیه نگاه کنیم، این سنجش (مثل هر سنجش کمی دیگه‌ای) خطا و دقت داره و از قواعد محاسبه‌ی اونها پیروی میکنه. با این توضیح، سعی میکنم نمره‌ای که میدم دقت معنادار داشته باشه، و عددی ندم که دقت بیمورد توش لحاظ شده باشه.

بذارید یک مثال بزنم. مثلاً اگر دو میان‌ترم و یک پایان‌ترم بگیرم و نمره‌ها بشن ۱۴ و ۱۵ و ۱۷، میانگین اینها میشه  $15/3333$ . خب حالا چند باید بدم؟ ۱۵،  $15/3$ ،  $15/33$ ،  $15/333$  یا عدد دیگه‌ای؟ مبحث محاسبه خطا برای این سوال جواب داره. انحراف معیار این سه نمره هست  $1/53$  و انحراف معیار میانگین هست  $0/88$ . یعنی نتیجه‌ی سنجش باید اینطوری اعلام بشه

$$15/3 \pm 0/9$$

همونطور که میبینید عدم‌دقت حدود یک نمره‌س. تازه در این مثال نمرات نسبتاً نزدیک بودن. اگر مثلاً بودند ۱۱، ۱۴ و ۱۸ اونوقت داشتیم

$$14 \pm 2$$

همونطور که میبینید عدم دقت دو نمره‌س. میشه میانگین عدم‌دقت نمرات دانشجویها رو در یک درس حساب کرد و احتمالاً چیزی حدود ۱ تا ۲ نمره‌س. تازه این مثال با سه امتحان بود. مثلاً با دو نمره‌ی دور یکی ۱۱ و یکی ۱۸ که خطا خیلی زیاد میشه. بر این اساس واقعا دقت نمره‌های شخص من دهم و صدم نیست. اینجا جواب سوال شما معلوم میشه. با امتحانی که من میگیرم بین نمره‌ی ۱۶/۱ و ۱۶/۹ نمیتونم فرق معنادار بذارم. البته برای اینکه ارفاقی هم شده باشه (که همیشه لازمه و میشه) رو به بالا گرد میکنم. گاهی شده که بعد از اعلام نمرات دانشجویی اعتراض داشته و خواسته که ورقه‌اش رو دوباره نگاه کنم. جالب اینجاست که حتی در موارد معدودی که مثلاً یک یا حتی دو نمره در ورقه رو ندیدم (که مربوط به خطای تصحیح هست)، باز نمره نهایی فرق نمیکنه (این هم یک حُسن دیگه‌ی به بالا گرد کردنه که مدیون مردم نشم). دلیلش اینه که نمره‌ای که از ابتدا اعلام شده ارقامش معنادار بودن و تا «حدی» مصون از تغییر و خطا! البته هر کی روش نمره‌دهی خودش رو داره و واقعا هر کی با حجت و دلیل خودش کار میکنه و قانون هم این اجازه رو داده.

۲۲. برای تقویت زمینه‌ی ریاضی، چه پیشنهادهایی دارید؟ تا چه اندازه باید ریاضیات بلد باشیم و به کدام مباحث ریاضی باید تسلط بیشتر داشته باشیم؟

واقعا راهی غیر از خوندن نیست. منتها اگر بخوام چیزی اضافه کنم که شاید مفید باشه اینه که کاری کنیم مغزمون به ریاضی خو بگیره. ساده‌ترین روشش اینه که شروع کنیم چهار عمل اصلی رو به کار گرفتن. مثلاً

وقتی در اتوبوس نشستیم روی کاغذ چند تا عدد بنویسیم (مثلا ده تا عدد ۲ تا ۵ رقمی)، و جمعشون بزیم. همینطور ضرب و تقسیم. اینطوری مغز با حساب و ریاضی اخت میشه. یه خوبی دیگهش اینه که ترافیک و طولانی بودن راه رو کمتر حس میکنیم! البته اینکه خودمون رو با مسئله‌های فیزیک مشغول و درگیر کنیم که چه بهتر. مداد و کاغذ و فکر و نوشتن و حل.

### ۲۳. چه زمانی خواندن و فهمیدن فیزیک راحت‌تر می‌شود؟

اگر علاقه باشه خیلی ساده‌تر میشه! معمولا علاقه هم با آشنایی و همنشینی پیدا میشه (موارد استثنا به کنار).

### ۲۴. توقع می‌رود دانشجوی کارشناسی چه چیزهایی بلد باشد و در انتهای دوره کارشناسی چه توانایی‌های داشته باشد؟ (لطفا همین مورد را برای ارشد و دکترا هم جواب بدید)

دوره کارشناسی برای این هست که اولاً با مبانی آشنا بشن، و ثانياً در دروس اختیاری بعضی کاربردها و گرایشها رو مزه مزه کنن. مبانی منظوم ریاضی، مکانیک، الکترومغناطیس، کوانتوم، ترمودینامیک، اپتیک و ... اینهاست. در دروس اختیاری کاربردهای اونها رو با تمرکز بر پدیده‌های مرتبط اون درس یاد میگیرن. در ارشد هدف اینه که مبانی رو پیشرفته‌تر یاد بگیرن و در یک گرایش خاص عمیق بشن (در لیسانس گرایش خیلی معنی نداره). در دکترا باز هم عمیق‌تر با هدف حل یک مسئله.

چیزی شبیه جوک هست که شاید جاش باشه بگم. می‌گن شخصی که به این نقطه رسید که در رشته‌ی خودش افرادی هستن که همه چیزو میدونن ولی خودش هم خدا رو شکر چیزهای خوب و مناسبی یاد گرفته وقتش هست که بهش لیسانس بدن. وقتی به این مرحله رسید که فکر میکنه افراد دانشمند و باسواد هستن ولی خودش واقعا خیلی کم میدونه وقتش هست که ارشد بگیره. وقتی به این مرحله رسید که فهمید نه تنها خودش واقعا کم میدونه، بلکه بقیه هم هنوز خیلی خیلی چیزها رو نمیدونن وقتش هست دکترا بگیره! اگرچه جوک هست، ولی رگه‌هایی از حقیقت رو داره.

### ۲۵. دغدغه اکثر دانشجویان کارشناسی فیزیک، آینده کاری و شغلی‌شان هست. پس از فارغ‌التحصیلی (در هر سه دوره)، دانشجویان در چه زمینه‌هایی می‌توانند فعالیت کنند؟ توصیه شما برای افرادی که دغدغه شغل و بازار کار پس از فارغ‌التحصیلی دارند چیست؟

شغل و آینده مهمه و واقعا چیز زیادی در موردش ندارم بگم. فقط میتونم بگم فعلا سعی کنین خوب بخونین تا ببینیم چی میشه.

### ۲۶. از نظر شما خواندن فیزیک برای چه افرادی مناسب هست؟ چه کسانی می‌توانند در فیزیک موفق بشوند؟

عمده چیزی که برای فیزیک لازمه پیگیری و مداومت هست. استعداد معمولی واقعا کافیه! پشتکار و حوصله اصل هست.

## تحول حوت به حمل

صبا الهیاری دانشجوی کارشناسی فیزیک ۱۴۰۰ دانشگاه الزهرا(س) sabaally03@gmail.com  
ملیکا شایق دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهرا(س) m.shayeghi0@gmail.com  
آمنه مقدم سلیمی- کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه زنجان ۰۲amiinam@gmail.com

### • تحویل سال نو<sup>۵۲</sup>

همه‌ی ساکنان سیاره‌ی زمین سال نو ایرانی را در یک لحظه و در یک زمان مشترک آغاز می‌کنند و قدم از سال کهنه به سال نو می‌گذارند. به همین دلیل است که نو شدن سال به تجربه‌ای جهانی و میراثی، فارغ از مکان زیستن انسان تبدیل می‌شود. این روند برخلاف تحویل سال در تقویم‌های رایج دیگر است. برای مثال در تقویم میلادی آغاز سال کاملاً وابسته به محل جغرافیایی فرد است. در حالی که افرادی در شرق ژاپن آخرین ساعت اولین روز سال نو را می‌گذرانند، در غرب ایالات متحده، آخرین روز سال قبل آغاز می‌شود. در سال قمری نیز آغاز سال با آغاز ماه قمری جدید و یا به عبارت دیگر در هنگام غروب آفتاب تحویل می‌شود. در نتیجه حلول سال قمری نیز وابسته به مکان شخص است. سال چینی که بر مبنای تقویمی قمری - شمسی است، به همین شیوه تغییر می‌کند. همه‌ی این‌ها دلیلی می‌شود تا تقویم پارسی یکی از معدود تقویم‌های زنده جهان باشد که آغاز سال نو در آن به گونه‌ای جهانی جشن گرفته می‌شود. علت یکسان بودن لحظه‌ی تحویل سال ایرانی در تمام جهان به این نکته‌ی ساده بر می‌گردد، مبنایی که ایرانی‌ها برای آغاز سال انتخاب کرده‌اند رویدادی نجومی است. این رویداد نجومی **اعتدال بهاری** می‌باشد.

### • اعتدالین<sup>۵۳</sup>

برای بررسی اعتدالین ابتدا فرض می‌کنیم کره‌ی زمین در مرکز عالم است و سایر اجسام آسمانی به دلیل فاصله‌ی زیاد، همگی بر روی کره‌ای قرار دارند که به آن کره، کره‌ی سماوی می‌گویند. اگر استوای زمین را ادامه بدهیم تا این کره را قطع کند مداری داریم که به آن استوای سماوی می‌گویند. به مدار چرخش

<sup>۵۲</sup> زمان تحویل سال نوی شمسی ۱۴۰۲ روز سه شنبه مصادف با یکم فروردین ماه در ساعت ۵۴:۱۲ بامداد (۲۱ مارچ ۲۰۲۳) می‌باشد.

<sup>۵۳</sup> Equinox (این واژه از زبان لاتین گرفته شده و به معنای شب های برابر است).

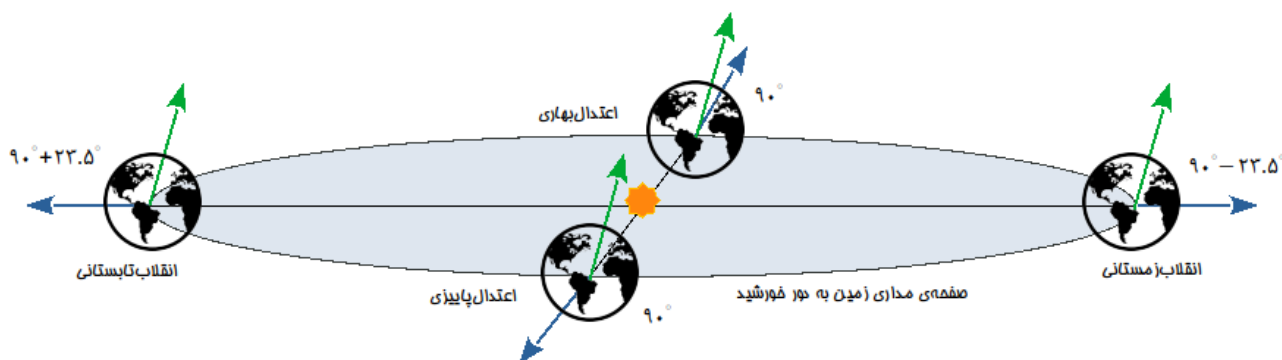


خورشید به دور زمین یا به عبارتی مسیر حرکت ظاهری سالانه‌ی خورشید نسبت به زمین بر روی کره‌ی سماوی، **دایره البروج** می‌گویند. دایره البروج با استوای آسمانی زاویه  $۵.۲۳$  می‌سازد. (به شکل کره‌ی سماوی در **فراسوی آسمان** مراجعه شود)

به هر یک از دو لحظه در سال که خورشید دقیقاً بالای خط استوا است و طول شب و روز برابر است، و هر یک از دو نقطه‌ی آسمان که دایره البروج و خط استوای سماوی با هم برخورد می‌کنند، **اعتدالین** گفته می‌شود. در این میان چهار نقطه از مدار فرضی گردش خورشید به دور زمین بسیار مهم می‌شود، دو اعتدال بهاری و پاییزی، که محل تلاقی دو مدار دایره البروج و دایره‌ی استوای سماوی است، و دو انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی، که به نظر می‌رسد خورشید در بیش‌ترین فاصله‌ی زاویه‌ای نسبت به استوای سماوی قرار گرفته‌است.

اعتدالین بسته به نیمکره، آغاز نجومی بهار یا پاییز را مشخص می‌کند. فصل بهار با اعتدال بهاری شروع می‌شود. هنگامی که در نیمکره‌ی شمالی در اول فروردین اعتدال بهاری اتفاق می‌افتد؛ در آمریکای شمالی، اروپا، بخش‌های زیادی از آسیا و آفریقای شمالی فصل بهار آغاز می‌شود. همزمان در نیمکره‌ی جنوبی اعتدال پاییزی رخ می‌دهد.

سیاره‌ی زمین در تجربه‌ی اعتدالین و اتفاق آن تنها نیست. در حقیقت هر سیاره‌ای در منظومه‌ی شمسی که دارای مدار و شیب نسبت به خورشید است، اعتدالین را تجربه می‌کند و باعث می‌شود در زمان اعتدالین هر دو نیمکره مقدار تقریبی یکسانی از نور را دریافت کنند.



شکل ۱. وضعیت زمین نسبت به خورشید در هنگام شروع هر فصل. بردار سبز نمایش دهنده‌ی محور زمین و زاویه‌ی آن نسبت به صفحه‌ی مداری زمین به دور خورشید، هست.

## • اعتدال بهاری

اعتدال بهاری<sup>۵۴</sup> (در نیمکره‌ی شمالی) در ستاره‌شناسی به لحظه‌ای گفته می‌شود که خورشید از دید ناظر زمینی از صفحه‌ی استوای سماوی می‌گذرد و حرکت خود را در مدار دایره البروج به سمت شمال آسمان در پیش می‌گیرد. در روز اول فروردین (۲۰ یا ۲۱ مارس) تقریباً طول روز و شب در نقاط مختلف دنیا برابر می‌شود و مرکز خورشید دقیقاً ۱۲ ساعت بالای افق قرار دارد و قابل رؤیت است. دلیل تقریبی بودن طول روز و شب این است که خورشید از روی زمین قطر زاویه‌ای قابل توجهی دارد (حدود ۰/۵ درجه) و در

<sup>۵۴</sup>vernal equinox

هنگام طلوع، مرکز خورشید هنوز زیر خط افق محلی است، ولی پرتوهای نور از قسمت‌های بالایی خورشید به ما می‌رسند. همچنین نور خورشید در جو زمین کمی پراکنده می‌شود و نور آن زودتر از آن که خورشید از افق بالا بیاید به ما می‌رسد. به این دو دلیل، طول روز کمی بیش‌تر از طول شب می‌شود.

### • سال نجومی

زمانی که لازم است تا خورشید دایره البروج را به طور کامل دور بزند، سال نجومی خوانده می‌شود. بدین ترتیب، سال نجومی بازه‌ی زمانی میان عبور خورشید از هر نقطه ثابت روی دایره البروج و عبور بعدی آن از همان نقطه است. سال نجومی ۳۶۵.۲۵۶ روز است.

### • سال اعتدالی

سال اعتدالی<sup>۵۵</sup> (سال خورشیدی اعتدالی) فاصله‌ی زمانی دو عبور متوالی خورشید از نقطه‌ی اعتدال بهاری است که مبنای گاه‌شماری خورشیدی قرار می‌گیرد. سال اعتدالی به دو صورت سال اعتدالی متغیر یا حقیقی، و سال اعتدالی متوسط یا میانگین، می‌باشد.

### • سال اعتدالی متغیر

زمان سال اعتدالی به علت برخی تاثیرات نجومی از جمله جاذبه‌ی ماه، تغییر سرعت دورانی زمین، تقویم اعتدالین و حرکت حضیض دوران زمین، در هر سال متغیر است و سال اعتدالی متغیر یا حقیقی نام دارد. سال اعتدالی متغیر با محاسبه‌ی نسبتاً پیچیده‌تری بدست می‌آید و مبنای آغاز هر سال در گاه‌شماری هجری خورشیدی است؛ در درازمدت میانگین آن (یعنی سال اعتدالی متوسط یا میانگین)، مبنای واحد سال تقویمی در همه گاه‌شماری‌های خورشیدی است. حداکثر اختلاف سال اعتدالی متغیر با متوسط آن حدود ۲۰ دقیقه می‌باشد.

### • سال اعتدالی متوسط

سال اعتدالی متوسط که میانگین زمانی سال اعتدالی متغیر و مبنای واحد سال در گاه‌شماری‌های خورشیدی است براساس مقیاس بین‌المللی صفر ژانویه ۱۹۰۰ میلادی، ۳۶۵.۲۴۲۱۹۸۷۹ روز (۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۹۷۵۴۵۶.۴۵ ثانیه) است. متوسط سال اعتدالی هر قرن ۵۳۰۴۹۶.۰ ثانیه کاهش می‌یابد. باتوجه به این کاهش در دهه‌ی اخیر سال اعتدالی متوسط حدود ۳۶۵.۲۴۲۱۹.۳۶۵ روز (۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۲.۴۵ ثانیه) می‌باشد. به طور معمول سال خورشیدی تقویمی یا قراردادی، به صورت ۳۶۵ روز در قالب ۱۲ ماه تشکیل شده است که برای تعدیل کسر روز آن معمولاً هر چهار و به ندرت پنج سال یکبار بصورت ۳۶۶ روز کیسه در نظر گرفته می‌شود. محاسبه با دقت بالای سال خورشیدی اعتدالی، اولین بار توسط گروهی ریاضیدان و اخترشناس که نامدارترین‌شان حکیم عمر خیام نیشابوری، ریاضیدان و شاعر ایرانی، در طراحی و اصلاح تقویم ایرانی مرسوم به جلالی به سفارش ملک‌شاه سلجوقی برای تعیین اعتدال بهاری جهت محاسبه‌ی نوروز در گاه‌شماری جلالی، دقیق‌ترین گاه‌شماری جهان و در پی آن توسط دانشمندان بعدی از جمله خواجه نصیرالدین طوسی انجام شد.

<sup>۵۵</sup> Equinox year

## • پیشروی اعتدال بهاری

تفاضل ۲۰ دقیقه ای سال نجومی و سال اعتدالی، پیشروی اعتدال بهاری نام دارد. زمین علاوه بر چرخش به دور خودش و خورشید، به علت گشتاوری که از سوی ماه و خورشید به آن وارد می‌شود، دچار حرکت تقدیمی<sup>۵۱</sup> شده و هر ۲۶۰۰۰ سال یک‌بار محور چرخش زمین می‌چرخد. پس به علت حرکت تقدیمی نقطه‌ی اعتدال بهاری هر سال ثابت نیست و سال به سال تغییر می‌کند. برای محاسبه این ختلاف:

$$\frac{۱ \text{ سال}}{۲۶۰۰۰ \text{ سال}} = \frac{۳۶۵ \text{ d} \times ۶۰ \text{ h} \times ۶۰ \text{ min}}{۲۶۰۰۰} = ۲۰ \text{ min}$$

پس اعتدال بهاری در هر سال ۲۰ دقیقه زودتر رخ می‌دهد و ۲۶۰۰۰ سال بعد دوباره در همین نقطه رخ می‌دهد.

## • تحول حوت به حمل

منجمان باستان برای آنکه راهنمایی برای پیدا کردن ستاره‌ها در آسمان شب داشته باشند، گروهی از ستاره‌های روشن را به شکل مجموعه‌ای در آسمان تصویر کرده‌اند. آن‌ها ستاره‌های روشن را چون نقاطی به هم وصل کرده و تصویری به آن نسبت داده و نام آن‌ها را صورت‌های فلکی نهاده‌اند. اگرچه این صورت‌های فلکی در حوزه‌های مختلف تمدنی به شکل‌های گوناگون تصویر شده‌اند، اما برخی از آن‌ها نیز بین فرهنگ‌های مختلف منتقل شده و به طور مشترک اساس نجوم امروز را شکل داده‌اند. از مهم‌ترین صورت‌های فلکی در طول تاریخ آن‌هایی بودند که دایره البروج از میان آنها عبور می‌کرده‌است. این صور فلکی عبارت از حَمَل، ثور، جوزا، سرطان، اسد، سنبله، میزان، عقرب، قوس، جدّی، دلو، حوت هستند. مرزهای این صورت‌های فلکی با یکدیگر در طول تاریخ جابه‌جا شده است. براساس تقسیم‌بندی جدید چیزی حدود ۲۰۰۰ سال پیش نقطه‌ی اعتدال بهاری دقیقاً در مرز دو صورت فلکی حوت و حمل قرار داشت و خورشید با عبور از نقطه اعتدال بهاری عملاً از این دو صورت فلکی نیز گذر می‌کرد. اما اکنون به دلیل حرکت و جابه‌جای محور زمین که به حرکت تقدیمی معروف است، دیگر این نقطه در مرز این دو صورت فلکی قرار ندارد و جایی درون صورت فلکی حوت واقع شده و هر سال نیز در درون آن جابه‌جا می‌شود. بنابراین تحویل حوت به حمل این روزها انطباق نجومی خود را از دست داده اما به عنوان اصطلاحی که به اعتدال بهاری اشاره دارد هنوز به کار می‌آید. حتی جامعه‌ی جهانی نجوم نیز این اصطلاح را به کار می‌برد و به نقطه‌ی اعتدال بهاری نقطه‌ی اول حمل نیز می‌گویند.

## منابع:

۱. پوریا ناظمی، سال نو به روایت یک منجم، منتشر شده آنلاین ۲۴ می ۲۰۱۳.
۲. دیورا برد، همه آنچه درباره اعتدال بهاری باید بدانید، منتشر شده آنلاین ۱ ژانویه ۲۰۲۳.
۳. گاه‌شماری ایرانی، موسی اکرمی، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، چاپ اول (۱۳۸۰).
۴. و.م اسمارت، نجوم کروی.

<sup>۵۱</sup> حرکت تقدیمی عبارت است از تغییر تدریجی در جهت محور یک جسم در حال چرخش. حرکت تقدیمی محوری، یکی از حرکات ویژه‌ی محور چرخش زمین است که به موجب خم بودن محور زمین نسبت به مدار خود ایجاد می‌شود و در نتیجه‌ی کشش گرانشی خورشید، ماه و سیاره‌ها بر برآمدگی استوای زمین به وجود می‌آید.



# نگاهی بر تقویم‌های رایج

سیده سولماز صدرالدینی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه تهران solmaz.sadraddini۲۰۱۶@gmail.com  
ویراستار: نرگس رستمی

## تقویم چیست؟ (تعریف کلی از تقویم)

گاهنامه، سالنامه، سالنامه یا تقویم<sup>۵۷</sup> به محاسبه و نمایش یک دوره یا یک سال گفته می‌شود. لغت نامه‌ی دهخدا تقویم را محاسبه کردن وقت‌ها تعریف کرده است. در قرآن کریم نیز در جز سی‌ام، به واژه‌ی تقویم اشاره شده است: « **لقد خلقنا الانسان فی احسن تقویم (۱)** ». به تفاسیر مختلف، این کلمه در قرآن به معنی اندازه، تناسب، تعدیل و ترکیب است. تقویم در اصطلاح نجومی، مجموعه‌ای از اصول و قوانین است که برای تنظیم زمان و تطبیق سال حقیقی (مدت زمان یک دور کامل زمین به دور خورشید) با سال مجازی (مدت زمانی که انسان‌ها در محاسبه‌ی سال و تقسیمات آن در تقویم به کار می‌برند) و چگونگی تقسیم آن به بخش‌های کوچک‌تر، جهت انجام امور، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### • برخی از مشهورترین و پرکاربردترین تقویم‌های جهان و تعاریف کلی آن‌ها:

- **تقویم میلادی:** یک گاه‌شماری با ریشه‌ی مسیحی است که هم‌اکنون در بیش‌تر از ۹۵ درصد کشورهای جهان استفاده می‌شود و یک تقویم بین‌المللی است. این تقویم برگرفته از گاه‌شماری ژولینی با مبدأ میلاد حضرت عیسی(ع) است و ابتدا از سوی آلویسیوس لیلیوس که پزشکی از اهالی کالابریا بود، پیشنهاد شد. تعدیل کیسه‌گیری این گاه‌شماری در ۲۴ فوریه ۱۵۸۲ از سوی پاپ گریگوری سیزدهم پذیرفته شد و از آن پس به **گاه‌شماری گریگوری (گریگوری)** مشهور شد؛ ولی در ایران و کشورهای عربی به آن **تقویم میلادی** می‌گویند.
- **کاستی‌ها:** این نوع تقویم با وضعیت فصل‌ها و موقعیت خاص زمین مانند اعتدالین و... هم‌خوانی ندارد و شمار روزهای هر ماه نیز نامنظم است. سرآغاز سال و سرآغاز ماه‌ها در تقویم مسیحی کلاً قراردادی هستند و به مسائل نجومی یا حرکت انتقالی زمین مربوط نیستند و با بروج سروکاری ندارند. برای بهره‌گیری از این روش هیچ دلیل منطقی وجود ندارد، از سوی دیگر در طول تاریخ بسیاری به دلخواه دخل و تصرفی در این تقویم کرده‌اند. همچنین این گاه‌شماری پایه‌ی دقیق مذهبی ندارد و مشکلات مذهبی مسیحیان را برطرف

<sup>۵۷</sup> به انگلیسی: Calendar

نکرده است و ایام مذهبی را به طور دقیق مشخص نمی‌کند و برای تعیین این ایام باید از تقویم قمری کمک گرفت. منجمین ناچارند هر سال با کمک گرفتن از روش اپاکت (Epacte) محل آن را در ماه‌های قمری پیدا کنند؛ در نتیجه عید پاک در فاصله‌ی ۲۲ مارس تا ۲۵ آوریل دائماً در تغییر است، مانند سایر اعیاد و روزهای مذهبی مسیحیان و مسلمانان. (۲)

▪ **تقویم هجری یا اسلامی:** تقویمی است که مسلمانان برای ذکر تاریخ از آن استفاده می‌کنند که بر دو نوع است: هجری قمری و هجری خورشیدی.

مبدأ این تقویم هم سال هجرت پیامبر اسلام، حضرت محمد(ص) از مکه به مدینه می‌باشد که در زمان خلافت عمر بن الخطاب خلیفه دوم مسلمانان وضع گردید است. البته لازم به ذکر است که گاه‌شماری هجری قمری از همان ابتدای مهاجرت مسلمانان از مکه به مدینه معمول نشده است بلکه ۱۵ سال بعد از تاریخ هجرت حضرت محمد(ص) و در زمان خلافت عمر بن خطاب، خلیفه‌ی دوم به رسمیت شناخته شد. در کتب تاریخی آمده است که مسلمانان صدر اسلام بنا بر پیشنهاد حضرت علی بن ابی طالب(ع) و تصویب خلیفه‌ی وقت، هجرت سرنوشت ساز پیامبر اسلام(ص) از مکه به مدینه را مبدأ سال قمری قرار داده‌اند. بدین جهت، تاریخ قمری را تاریخ هجری قمری نامیده‌اند. (۳)

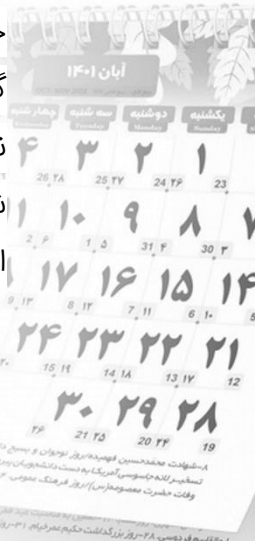
• گاه‌شماری هجری قمری: براساس اندازه‌گیری حرکت **ماه** به دور **زمین** تنظیم می‌گردد. (شروع سال روز اول محرم)

• گاه‌شماری هجری خورشیدی: براساس اندازه‌گیری حرکت **زمین** به دور **خورشید** تنظیم می‌شود. (شروع سال ۱ فروردین یا همان ۲۹ شعبان یک سال پیش از هجرت)

▪ **تقویم هجری خورشیدی** در اصطلاح نجوم همان سال خورشیدی<sup>۵۸</sup> است، بر پایه‌ی گاه‌شماری جلالی با مبدأ هجری است. آغاز سال خورشیدی برابر است با نخستین روز بهار. گاه‌شماری هجری خورشیدی، اکنون در کشورهای ایران و افغانستان گاه‌شمار رسمی است. این نوع تقویم در ایران با تصویب مجلس شورای ملی در ۱۱ فروردین ۱۳۰۴، تقویم رسمی ایران اعلام شد. نام دوازده ماه تقویم خورشیدی در ایران، نام‌های باستانی ساسانی امشاسپندان و دیگر ایزدان کیش زرتشتی است که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

▪ **تقویم چینی:** تقویمی است شمسی قمری که به آن تقویم روستایی نیز گفته می‌شود. این تقویم بر پایه پدیده‌های نجومی شکل گرفته و دوره‌ی اوج آن به عصر سلسله سونگ بازمی‌گردد و امروزه نیز در کنار تقویم میلادی در جشن‌های آیینی چینیان کاربرد دارد.

▪ **تقویم هندی:** اصطلاحی است که به سامانه‌های گاه‌شماری رایج در هند گفته می‌شود که دیرینگی آن‌ها به هزار سال پیش از میلاد می‌رسد. این تقویم‌ها قمری بوده و سال را



به ۱۲ چرخه‌ی کامل ماه تقسیم می‌کند. این تقویم‌ها همگی از یک مفهوم مشترک برای شمارش زمان استفاده می‌کنند اما تفاوت‌شان از نظر تأکید بر روی ماه یا خورشید و نام ماه‌ها است و اینکه سال با چه ماهی آغاز شد. (۴)

از دیگر تقویم‌های مشهور و پرکاربرد جهان می‌توان تقویم‌های کره‌ای، بودایی، حیوانی، قطبی، بربری، ارمنی، کردی نیز نام برد. البته امروزه تقویم میلادی رایج‌ترین است اگرچه گاهی در بعضی از کشورها تقویم‌های باستانی آن مناطق هم بین مردم کوچه و بازار وجود دارند اما رسمی نیستند.

## تقویم ایرانی

- **مقدمه:** استفاده از تقویم در ایران پیشینه‌ای بسیار کهن دارد. در گذر زمان تقویم‌های ایرانی دگرگونی‌های زیادی کرده‌است. در ایران از روش‌های گاه‌شماری متفاوت مانند گاه‌شماری خورشیدی و گاه‌شماری قمری، با مبدهای متفاوت مانند تاج‌گذاری یزدگرد سوم یا هجرت حضرت محمد(ص) استفاده شده و می‌شود. امروزه نیز این گاه‌شماری همچنان دقیق‌ترین گاه‌شماری تاریخ بشر شناخته می‌شود. گمان نمی‌رود که هیچ مردم و تمدنی به اندازه ایرانیان تا این اندازه به بررسی و پژوهش در گاه‌شماری پرداخته باشند.

- **تاریخچه:** فهرست نسخه‌های خطی احمد منزوی، خود به تنهایی نشان‌دهنده‌ی بیش از دو هزار نسخه سالنامه خطی منتشر نشده به زبان فارسی است. بیش‌ترین کتیبه‌های باستانی در زمینه اخترشناسی و گاه‌شماری که در بین‌النهرین به‌دست آمده‌اند، به دوران فرمانروایی کاسیان و هخامنشیان منسوب هستند. کوشش و پیگیری دانشمندان ایرانی، منجر به پیدایی دقیق‌ترین گاه‌شماری جهان در ایران شده‌است. (۵)

تقویم ایرانی تقویم خورشیدی برگرفته از تقویم بابلی بوده که خود متأثر از تقویم مصری بوده‌است. این تقویم در زمان هخامنشیان بومی شده و در زمان ساسانیان متأثر از تقویم ژولینی بود. از زمان ورود اسلام به ایران تقویم هجری قمری تا زمان مشروطیت، تقویم رسمی گردید و تقویم خورشیدی (از جمله خراجی و یزدگردی) نیز برای امور زراعی-مالی کاربرد داشت. در سال ۴۷۱ قمری، تقویم خورشیدی جلالی تدوین گردید اما چندان رواج نیافت. لازم به ذکر است که غیاث‌الدین ابوالفتح عمر بن ابراهیم خیام نیشابوری معروف به خیام، خالق تقویم خورشیدی است. او در سال‌های ۴۲۷ تا ۵۱۰ هجری شمسی زندگی می‌کرده است. خیام، فیلسوف، ریاضی‌دان، ستاره‌شناس و رباعی‌سرای ایرانی در دوره‌ی سلجوقی است. گرچه پایگاه علمی خیام برتر از جایگاه ادبی اوست، ولی آوازه وی بیش‌تر به خاطر رباعیاتش است که شهرت جهانی دارد. یکی از برجسته‌ترین کارهای وی را می‌توان سر و سامان دادن و سرپرستی محاسبات گاه‌شماری ایران در زمان وزارت خواجه نظام‌الملک، که در دوره پادشاهی ملک‌شاه سلجوقی بود، دانست؛ محاسبات منسوب به خیام در این زمینه، هنوز معتبر است و دقتی به مراتب بالاتر از گاه‌شماری میلادی دارد. تقویم جلالی در سال ۱۲۶۴ خورشیدی با تغییراتی در قالب گاه‌شماری هجری خورشیدی برجی مجدداً رایج شد و در سال ۱۲۸۹ خورشیدی در زمان مشروطیت تقویم ملی ایران شد. بر



همین اساس در آغاز سال ۱۳۰۴ خورشیدی با تغییراتی در محاسبات و عناوین ماه‌ها، به عنوان تقویم رسمی ایران درآمد که تاکنون رایج است.

در این گاه‌شماری معیار شروع سال، ۱ فروردین و معیار **لحظه‌ی تحویل سال** اعتدال بهاری است، ولی مکانی که باید مبدأ محاسبه‌ی تقویم قرار گیرد مشخص نشده است. بعضی (از جمله ایرج ملکپور) نصف‌النهار ۵۲/۵ درجه شرقی را مرجع محاسبات این تقویم گرفته‌اند و برخی دیگر (از جمله راین‌گولد و درشوویتز در Calendrical Calculations) شهر تهران را. این دو مبدأ تا حدود سال ۱۴۶۹ هجری شمسی اختلافی در گاه‌شماری ایجاد نمی‌کنند ولی برای تعیین کیسه بودن یا نبودن سال ۱۴۶۹، لازم است مبدأ این گاه‌شماری مشخص شود. پس از اصلاح و تعیین نام ماه‌های سال و تصویب دقیق زمان ابتدا و انتهای هر ماه و فصل‌های سال، مجلس شورای ملی تقسیم‌بندی سالیانه را به این صورت ابلاغ کرد: یک سال رسمی ایران، یک سال خورشیدی است که تشکیل شده است از ۱۲ ماه، که شش ماه اول ۳۱ روز، پنج ماه دوم ۳۰ روز و ماه آخر ۲۹ روز می‌باشد. هر ۴ یا به ندرت ۵ سال یکبار طول ماه آخر ۳۰ روز است که آن سال به **سال کیسه** معروف است. طول سال و فصل‌ها در ایران و افغانستان و کردستان یکسان هستند ولی ماه‌ها در هر زبان و گویشی نام خاصی دارند.

#### • مرکز تقویم : موسسه ژئوفیزیک

بر اساس مصوبه‌ی هیأت محترم وزیران در جلسه مورخ ۲۲ تیر ۱۳۷۹ و به استناد اصل یکصد و سی و هشتم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران موظف است تا پایان تیر ماه هر سال نسبت به استخراج و تنظیم تقویم کشور برای سال بعد اقدام نماید. در تهیه‌ی تقویم کشور بر اساس اعلام شورای فرهنگ عمومی، مناسبت‌های ایرانی بر مبنای تقویم ایران و مناسبت‌های خارجی بر مبنای تقویم‌های معتبر خارجی تعیین و تنظیم می‌شود. این مصوبه به امضای **آقای دکتر حسن حبیبی**، معاون اول محترم رئیس‌جمهور، با شماره‌ی ۱۷۶۰۳/ت ۲۲۲۳۷ ه مورخ ۳ مرداد ۱۳۷۹ به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ابلاغ شده است.

بر اساس مصوبه‌ی مذکور، جهت بهره‌گیری از کلیه‌ی ظرفیت‌های موجود در استخراج و تنظیم تقویم کشور و انجام پژوهش در زمینه‌های تقویم و اوقات شرعی، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک طی نامه‌ی شماره‌ی ۲۲۹۸/۹۳ مورخ ۱۳ مرداد ۱۳۸۱ به معاون پژوهشی دانشگاه تهران پیشنهاد داد تا استخراج تقویم رسمی کشور شورایی صورت گیرد. معاون پژوهشی دانشگاه تهران در تاریخ ۱۷ مرداد ۱۳۸۱ با پیشنهاد تشکیل مرکز تقویم دانشگاه تهران و معرفی اعضای شورای مرکز تقویم موافقت کرد.

سایت مرکز تقویم موسسه ژئوفیزیک : [calendar.ut.ac.ir](http://calendar.ut.ac.ir)

منابع:

۱. سوره تین- آیه ۴

۲. گاه‌شماری در تاریخ، ابوالفضل نبئی، انتشارات سمت، ۱۳۸۱، صص ۲-۲۶۱

۳. کتاب: «روز شمار تاریخ اسلام (ماه محرم)»، نوشته: سید تقی واردی، انتشارات: دارالثقلین

۴. B. Richmond (۱۹۵۶). *Time Measurement and Calendar Construction*. Brill Archive. pp. ۸۰-۸۲. Retrieved ۲۰۱۱-۰۹-۱۸.

۵. گاه‌شماری ایرانی، موسی اکرمی، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، چاپ اول (۱۳۸۰).

# بوزون‌ها، فرمیون‌ها و حالا اینیون‌ها

## به دنیای شگفت‌انگیز اینیون‌ها خوش آمدید! (۱)

نویسنده: نفیسه معصومیان فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد فیزیک ذرات بنیادی nafy.masumian@gmail.com  
 ویراستاران: نرگس رستمی، فاطمه سادات صوفی‌باف

### بخش نخست

ذاتی، مانند جرم و بار الکتریکی هست. این تعریف در فیزیک کلاسیک رایج است. همچنین اطلاعات درباره‌ی مکان یک ذره را در طی زمان با قطعیت می‌دانیم و می‌توانیم تحول و رفتار آن را در بازه‌ی زمانی مشخص با دقت پیش‌بینی کنیم.

### ۲. تابع موج فروپاشیده

وقتی درک ما از طبیعت با توسعه‌ی مکانیک کوانتومی دچار تحولات بس عظیمی شد؛ به نوعی یک طوفان بزرگ ذهن ما را درنوردید، واضح است که تعاریف ما نیز دچار تغییرات گسترده‌ای شد. در نتیجه تعریف ذره نیز کاملاً دگرگون شد.

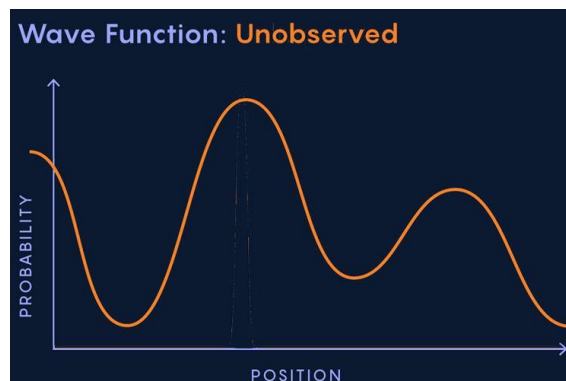
با ظهور مفهوم تابع موج در مکانیک کوانتومی، دیگر جایی برای قطعیتی که در فیزیک کلاسیک داشتیم باقی نماند و احتمالات جایگزین قطعیت محض شد. یافتن مکان دقیق یک ذره در یک لحظه یا یک بازه‌ی زمانی، با احتمال حضور هر ذره در هر نقطه از فضا، جایگزین شد. این احتمال، توسط مجذور دامنه‌ی تابع موج ذره حاصل می‌شود. یکی از اصول مهم در مکانیک کوانتومی مفهوم اندازه‌گیری است که طبق آن، تا پیش از اندازه‌گیری احتمال حضور ذره در همه‌ی نقاط فضا وجود دارد اما بعد از اندازه‌گیری، اصطلاحاً گفته

با وجود این که قرن‌ها از کاوش و جست‌وجوی بشر در طبیعت سپری شده است؛ اما هنوز پرسش‌های بی‌پاسخ زیادی وجود دارد که پاسخ دقیقی برای آن‌ها در دست نداریم و به نظر می‌رسد طبیعت پر رمز و راز، بخشی از خود را با ترفند پنهان کرده است و ما به دنبال کنار زدن این پرده‌ها همچنان به کنجکاوای خویش ادامه می‌دهیم. یکی از مفاهیم بنیادی فیزیک که همواره ذهن ما را درگیر خود کرده است؛ تعریف مفهوم ذره است. اصلاً ذره چیست؟ همان‌طور که هنگام مشاهده کردن یک شیء یا رخدادی، افراد مختلف به جوانب متفاوت آن نگاه می‌کنند و تمام آن نگرش‌ها صحیح است، درباره‌ی برخی مفاهیم نیز این موضوع صدق می‌کند. تعاریف متعددی برای یک ذره وجود دارد که برخی از آن‌ها کاملاً انتزاعی و ریاضی وار هستند و در این‌جا به طور خلاصه به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

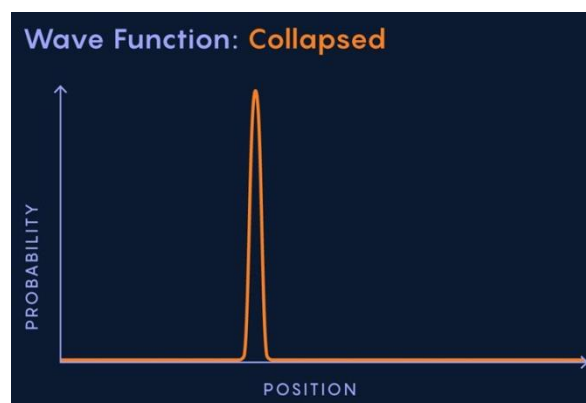
### ۱. جسم نقطه‌ای

ساده‌ترین پاسخ، همانی است که از دوران ابتدایی تحصیل با آن روبه‌رو شدیم و آن این است که ذره، یک جسم نقطه‌ای است و دارای تعدادی خواص

می‌شود: «تابع موج دچار زُنبش می‌شود»<sup>۵۹</sup> و در نتیجه، ذره در آشکارساز مشخص خواهد شد. به همین دلیل، گاهی ذره یک **تابع موج فروپاشیده شده** نیز نامیده می‌شود که در شکل‌های زیر دیده می‌شود:



شکل ۱-۱: تابع موج ذره قبل اندازه‌گیری



شکل ۱-۲: تابع موج ذره پس از اندازه‌گیری

**۳. ذره‌ی حالت برانگیخته‌ی کوانتومی یک میدان است!**

نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی در اوایل دهه ۱۹۳۰ به منظور ایجاد یک ارتباط بین نسبیت خاص و مکانیک کوانتوم، که دو طیف متفاوت از پدیده‌های فیزیکی را شامل می‌شدند، توسعه یافت و کارهای اولیه‌ی آن توسط پائول دیراک فیزیک‌پیشه‌ی مشهور انگلیسی پایه گذاری شد.

ابتدا باید تعریفی از میدان ارائه دهیم، منظور از میدان چیست؟

برای میدان، هم یک تعریف ساختارمند ریاضی و هم یک تعریف فیزیکی وجود دارد، برای هدف ما تعریف فیزیکی نیاز است. از فیزیک مقدماتی، ما با میدان‌های مختلفی از جمله میدان گرانشی، میدان الکتریکی و مغناطیسی آشنا هستیم و مشاهده کردیم برای توصیف مفهوم نیروی بین ذرات و اثرگذاری آن نیاز به تعریف میدان داریم. در نتیجه، میدان را به عنوان ناحیه‌ای از فضا که به هر نقطه‌ی آن یک مقدار نسبت می‌دهیم تعریف کردیم؛ این مقدار لزوماً فقط یک اسکالر نیست و می‌تواند بردار یا تانسور نیز باشد.

نکته‌ی مهم این است که در فیزیک کلاسیک در هر لحظه، به هر نقطه، فقط یک مقدار نسبت می‌دهیم؛ اما در نظریه‌ی میدان کوانتومی این مفهوم کمی متفاوت است. میدان را موجودی در نظر می‌گیریم که تمام فضا را پر کرده است حتی اگر ذره‌ای وجود نداشته باشد!

در این جا به نقطه‌ای می‌رسیم که می‌خواهیم ببینیم چگونه یک ذره از دل مفهوم میدان بیرون می‌آید، برای این کار کمکی از فیزیک ماده چگال که برای ما ملموس‌تر است می‌گیریم.

ابتدا یک شبکه‌ی بلوری مانند شکل ۱-۳ را در نظر بگیرید. می‌دانیم یک ساختار بلوری از تکرار یک سلول پایه به دست می‌آید، و اتم‌ها در نقاط شبکه قرار می‌گیرند. حال اگر یکی از این اتم‌ها را کمی جابه‌جا کنیم باعث می‌شود که اتم مجاور آن و سایر اتم‌ها نیز جابه‌جا شوند و در قیاس با ساختار اولیه، یک ارتعاش یا یک برانگیختگی ایجاد



این صفر بودن یا نبودن مقدار چشم‌داشتی خلاء منجر به ظهور نتایجی شگفت‌انگیز می‌شود که بحث درباره‌ی آن را به بعد موكول می‌کنیم. در نتیجه، حالت کم‌ترین انرژی یا خلاء یک میدان را می‌توانیم به صورت زیر نمایش بدهیم:



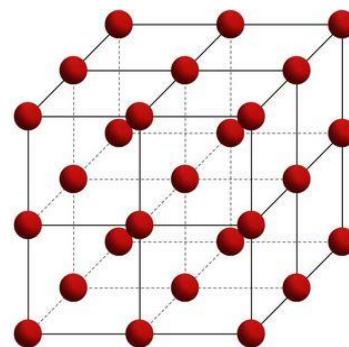
**شکل ۱-۴:** میدان کوانتومی بدون حضور حالت برانگیخته یا ذره

حالا اگر مانند مثال ساختار بلور، یک برانگیختگی در این میدان ایجاد شود، که منظور از برانگیختگی افزایش انرژی است، این افزایش انرژی و برانگیختگی در حالت خلاء سبب ظهور و پیدایش ذرات مختلف می‌شود. (شکل ۱-۵)



**شکل ۱-۵:** برانگیختگی حالت خلاء و ظهور ذرات معمولاً برای ایجاد این کار از وجود یک میدان دیگر استفاده می‌شود؛ یعنی یک ذره را وارد فضا می‌کنیم. این کار باعث به وجود آمدن اختلال در فضا و در نتیجه‌ی آن، ظهور ذرات می‌شود. این کاری است که ما در مکانیزم هیگز برای توصیف چگونگی جرم‌دار شدن ذرات انجام می‌دهیم؛ یعنی با ورود یک میدان جدید به فضا به نام میدان هیگز<sup>۲۳</sup> و اندرکنش آن با میدان‌های دیگر، ذرات دارای جرم می‌شوند!

شود. در نتیجه یک سری مدهای نوسانی به وجود آمده است. این مدهای نوسانی ایجاد شده فونون<sup>۲۶</sup> نامیده می‌شوند که مانند فوتون‌های کوانتوم انرژی، اما در یک شبکه‌ی بلوری هستند. البته این گونه از ذرات را شبه‌ذره<sup>۲۷</sup> می‌نامیم و در ادامه توضیحات بیشتر می‌دهیم. اما به طور کلی، این ذرات با ذرات بنیادی متفاوت هستند؛ زیرا ناشی از یک رفتار جمعی است، در حالی که یک الکترون به تنهایی وجود دارد و در ضمن دارای ساختار داخلی هم نیست.



**شکل ۱-۳:** ساختار بلوری مکعبی

درباره‌ی میدان نیز می‌توانیم از این استدلال کمک بگیریم. یک نکته شایان ذکر است، از مکانیک کوانتومی می‌دانیم که حالت دارای کم‌ترین انرژی را حالت پایه می‌نامیم، سپس با اثر دادن عملگرهای خلق و فنا، روی این حالت می‌توانیم حالت‌های برانگیخته را به نوعی خلق، و فنای ذرات را شاهد باشیم. درباره میدان نیز ما یک حالت با کم‌ترین انرژی داریم که آن را **خلاء**<sup>۲۸</sup> می‌نامیم و مقدار آن لزوماً صفر نیست!

<sup>۲۱</sup> Quasiparticle

<sup>۲۲</sup> Vacuum

<sup>۲۳</sup> Higgs Field

<sup>۲۶</sup> Phonon: فونون یک کوانتوم انرژی است. نوسان‌های هماهنگ همگی اتم‌ها در یک ساختار بلوری را فونون می‌گویند.

برای اطلاعات بیشتر و بررسی اطلاعات هر ذره به مرجع ۴ مراجعه شود.

اکنون تمرکز خود را بر فرمیون و بوزون بودن قرار می‌دهیم. در بخش قبل، به تفاوت‌های ذره‌ی کلاسیکی و کوانتومی اشاره کردیم، حالا باید کمی بیشتر به آن بپردازیم و برای این کار به سراغ مفهوم **تمیز ناپذیری**<sup>۶۷</sup> ذرات می‌رویم.

در فیزیک کلاسیک وقتی یک سیستمی از ذرات داشته باشیم هر ذره را می‌توانیم با قطعیت از دیگری تشخیص دهیم و به آن‌ها یک برچسب، که می‌تواند هر چیزی از جمله رنگ باشد، بزنیم و آن را در طی زمان دنبال کنیم و مکان هر کدام از ذرات به طور دقیق مشخص کنیم، اما در مکانیک کوانتومی داستان کاملاً متفاوت است!

در مکانیک کوانتوم، برای ذرات یکسان با انجام کاری مشابه آنچه که گفته شد، غیرممکن است بتوانیم آن‌ها را از همدیگر تشخیص دهیم؛ مثلاً الکترون‌ها که برچسب‌هایی مانند جرم و بار الکتریکی یکسانی دارند، همچنین به علت اصل عدم قطعیت<sup>۶۸</sup> ردیابی و تشخیص ذرات یکسان از یکدیگر عملاً وجود ندارد.

اگر یک سیستم  $N$  ذره‌ای داشته باشیم می‌دانیم تابع حالت آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\psi(r_1, \dots, r_N) \quad (1)$$

اگر آن‌ها را ذرات یکسان در نظر بگیریم تحت جابه‌جایی دو ذره، تابع حالت به اندازه‌ی یک فاکتور  $C$  تغییر می‌کند:

$$\psi(\dots r_j, \dots r_i, \dots) = C\psi(\dots r_i, \dots r_j, \dots) \quad (2)$$

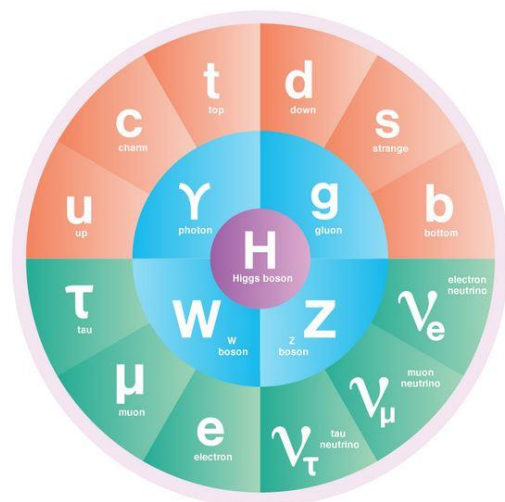
حال توجه خود را به دسته‌بندی ذرات معطوف خواهیم کرد.

### بلوک‌های سازنده‌ی طبیعت<sup>۶۹</sup>

تمام طبیعت یا کیهان قابل رویت، همانند یک ساختمان که در پایین‌ترین حد خود از تعدادی بلوک‌های سیمانی تشکیل شده است، دارای بلوک‌های بنیادی (ذرات) هستند که براساس یک سری ویژگی‌ها به دو قلمروی کاملاً مجزا از هم تقسیم می‌شوند.

از زمان کشف الکترون در سال ۱۸۹۷ تا کشف بوزون هیگز در سال ۲۰۱۲ مدت زمان زیادی طول کشید تا جدولی مشابه با جدول تناوبی مندلیف برای این بلوک‌های پایه یا ذرات بنیادی شکل بگیرد که در آخر، تحت عنوان مدل استاندارد فیزیک ذرات<sup>۷۰</sup> شناخته شد.

ذرات سازنده‌ی این طبیعت به لپتون‌ها، کوارک‌ها، بوزون‌های پیمانه‌ای<sup>۷۱</sup> یا حامل‌های نیرو و بوزون هیگز تقسیم می‌شوند.



شکل ۱-۶: مدل استاندارد فیزیک ذرات [۴]

<sup>۶۷</sup> Indistinguishability

<sup>۶۸</sup> Uncertainty principle

<sup>۶۹</sup> Nature Building Blocks

<sup>۷۰</sup> Standard Model Of Particle Physics

<sup>۷۱</sup> Gauge Bosons

به گفته‌ی فرانک ویلچک<sup>۷۰</sup> فیزیکدان برنده‌ی جایزه نوبل سال ۲۰۰۴: «آمار کوانتومی یک موضوع

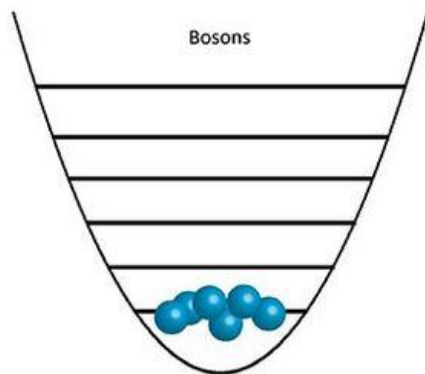
اساسی در درک طبیعت برای ماست.»

در بخش‌های بعدی خواهیم دید، چگونه این موضوع منجر به ظهور ذرات جدید و جالبی می‌شوند که بحث اصلی این گزارش است.

نکات دیگری درباره بوزون‌ها و فرمیون‌ها شایان ذکر است.

بوزون‌ها را به اصطلاح ذراتی اجتماعی و سازش‌پذیر می‌نامند و تمایل به ارتباطشان با دیگر ذرات بالاست و به زبان دقیق‌تر احتمال بیشتری برای اشغال یک حالت کوانتومی توسط بوزون‌ها وجود دارد.

در شکل ۸-۱ مشاهده می‌کنید تعداد زیادی بوزون می‌توانند یک تراز انرژی را اشغال کنند.



**شکل ۸-۱:** رفتار بوزون‌ها در اشغال یک حالت کوانتومی

یکی از معروف‌ترین بوزون‌ها، فوتون است. برای درک آن باید به نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی برگردیم که در آن مفهوم نیرو دچار تغییرات اساسی می‌شود و نیرو بین دو ذره، به صورت تبادل یک ذره بین آن دو تفسیر می‌شود.

و اگر یک جابه‌جایی دیگر داشته باشیم خواهیم داشت:

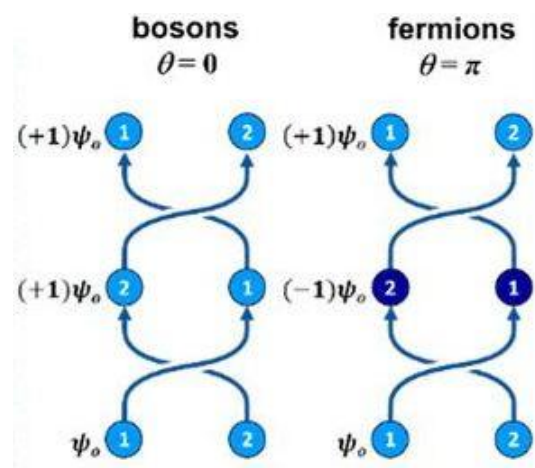
$$C^2 = 1 \Rightarrow C = \pm 1 \quad (3)$$

که علامت این فاکتور با اسپین ذرات ارتباط پیدا می‌کند. در حالت مثبت که تابع حالت دچار تغییری نمی‌شود، ذرات بوزون هستند و اسپین آن‌ها مقدار صحیحی را می‌گیرد. در حالت منفی، تابع حالت منفی می‌شود و فرمیون‌ها را خواهیم داشت که اسپین نیم صحیح را می‌گیرند.

در حالت کلی این فاکتور را با نماد  $e^{i\theta}$  نشان می‌دهیم و برای دو حالت بالا داریم:

$$C = \pm 1 \rightarrow \theta = 0, C = -1 \rightarrow \theta = \pi \quad (4)$$

شکل ۷-۱ توضیحات بالا را به خوبی نشان می‌دهد.



**شکل ۷-۱:** رفتار بوزون‌ها و فرمیون‌ها تحت جابه‌جایی

با اینکه این تفاوت ناشی از یک محاسبه‌ی ریاضی است، اما مفاهیم عمیقی را در دل خود دارد. می‌دانیم که این دو گونه ذرات از آمار مخصوص خود تبعیت می‌کنند. به طور کلی این مفهوم، **آمار کوانتومی**<sup>۷۹</sup> نامیده می‌شود.

<sup>۷۰</sup> Franck Wilczek

<sup>۷۹</sup> Quantum Statistical



همچنین آن‌ها از **آمار فرمی-دیراک**<sup>۷۴</sup> تبعیت می‌کنند که در آن نشان داده می‌شود ذرات نمی‌توانند حالت کوانتومی یکسانی داشته باشند. تا به حال با این دو دسته از ذرات آشنایی پیدا کردیم و برخی ویژگی‌های آن‌ها را به طور خلاصه مطرح کردیم؛ اما تمام این مطالب مقدماتی، برای درک بهتر ظهور شبه ذرات جدید لازم است اما هنوز هم برای ورود به بحث اینیون‌ها به پیش زمینه‌هایی نیاز است. پیش‌نیازهایی جدید و جذاب! توپولوژی یا دانش شکل‌شناسی از جذاب‌ترین موضوعات ریاضیات است که کاربردهای فراوانی در فیزیک دارد.

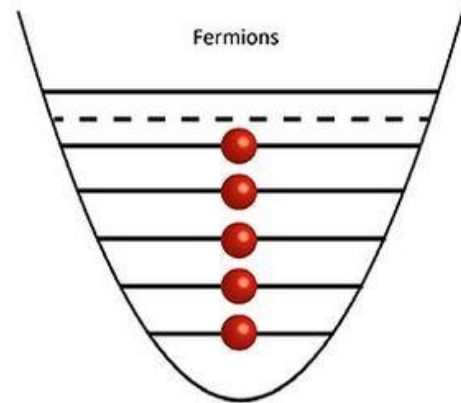
مطلب بعدی که باید به سراغ آن برویم توپولوژی است اما برای آشنایی با این موضوع جالب لازم است تا بخش بعدی صبر کنیم!

منابع:

۱. Natalie Wolchover, What is a particle?, Quantamagazine, November ۲۰۲۰
۲. Dana Najjar, 'Milestone' Evidence for Anyons, a Third Kingdom of Particles, Quantamagazine, May ۲۰۲۰
۳. Franck Wilczek, Inside the Knotty World of 'Anyon' Particles, Quantamagazine, February ۲۰۱۷
۴. The Standard Model of Particle Physics, Symmetrymagazine

آمار کوانتومی‌ای که این ذرات از آن‌ها تبعیت می‌کنند را به پاس کارهای ساتیندرا بوز<sup>۷۱</sup> و آلبرت انیشتین<sup>۷۲</sup> آمار بوز-انیشتین نامیده شد، که در آن نشان داده می‌شود، تعداد ذراتی که می‌توانند یک تراز انرژی را اشغال کنند بی‌نهایت است! در یک باریکه‌ی لیزر تعداد بسیاری از این ذرات بدون برخورد با یکدیگر در حال انتشار هستند. برخلاف این ذرات اجتماع دوست، فرمیون‌ها ذراتی اهل گریز، تکرر و فردگرا هستند که علاقه‌ای به تجمع با یکدیگر ندارند و یک حالت کوانتومی یکسان را اشغال نمی‌کنند. این بیان‌کننده‌ی اصل مهم حاکم بر این ذرات یعنی اصل **طرد پائولی**<sup>۷۳</sup> است.

شکل ۹-۱ نمایش‌دهنده‌ی رفتار الکترون‌هاست.



شکل ۹-۱: اصل طرد پائولی و رفتار الکترون‌ها

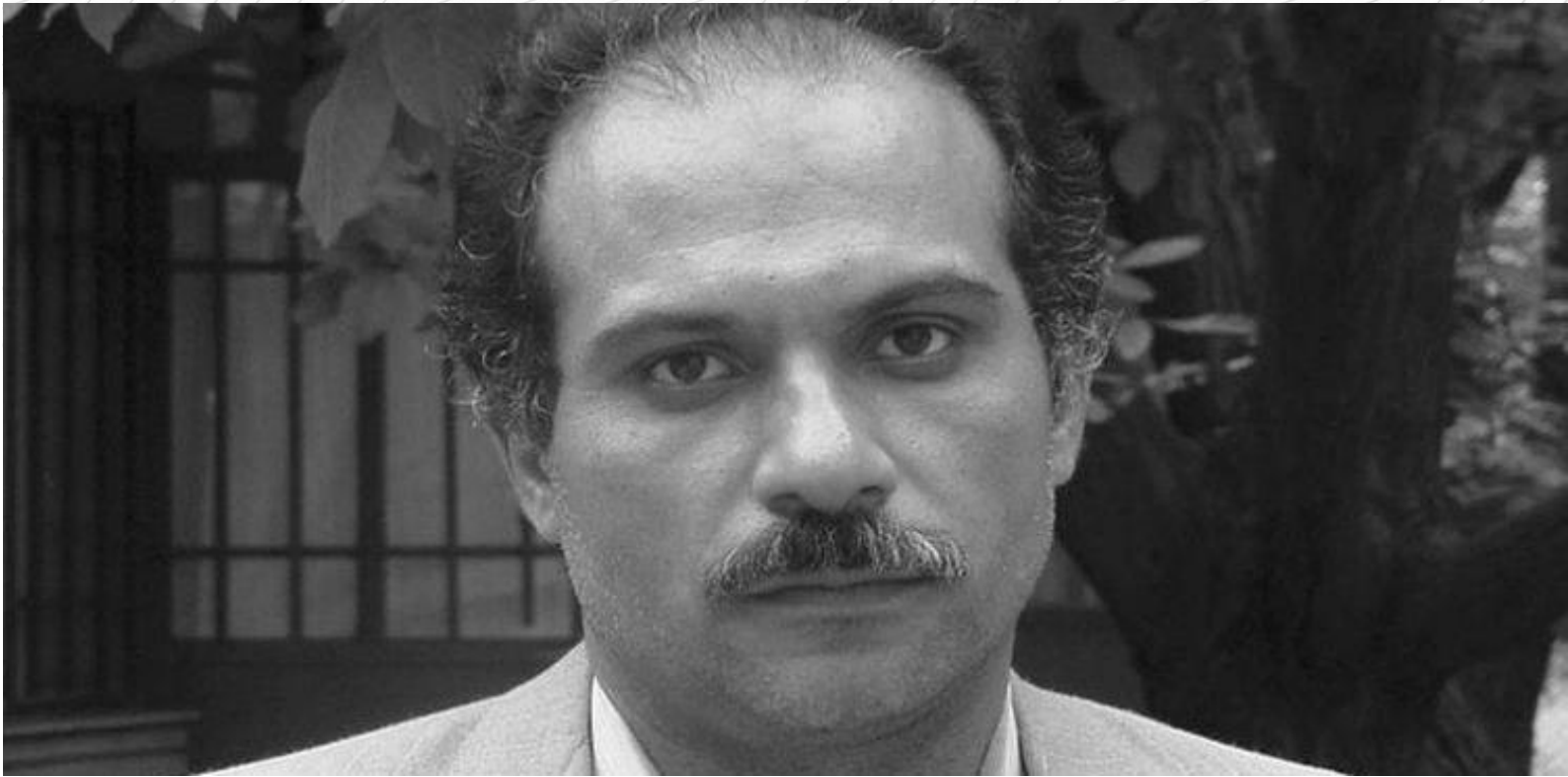
در نتیجه الکترون‌ها که خود فرمیون هستند، ترازهای اتمی متفاوتی را اشغال می‌کنند. همین موضوع سبب پدیدار شدن تمام عناصر متفاوت موجود در جدول تناوبی می‌شود و شکل گرفتن شیمی را نتیجه می‌دهد.

<sup>۷۳</sup> Pauli exclusion principle

<sup>۷۴</sup> Fermi-Dirac Statistics

<sup>۷۱</sup> Satyendra Bose

<sup>۷۲</sup> Albert Einstein



## به یاد دکتر مسعود علی محمدی

### استاد فیزیک دانشگاه تهران

صهبا خان احمدی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهراء(س)

Sahbakhanahmadi2002@gmail.com

ویراستار: فاطمه سادات صوفباف

شهید مسعود علی محمدی، فروردین ۱۳۴۰ خورشیدی در خانواده‌ای مذهبی در یکی از روستاهای شهرستان ایذه، چشم به جهان گشود. او تحصیلات ابتدایی و متوسطه را در همان شهر گذراند. مسعود از هوش و استعداد قابل توجهی برخوردار بود. وجود روحیه حساس، گشاده‌رویی و خوش‌خلقی، از او شخصیتی دوست داشتنی ساخته بود و همین امر سبب جذب دوستان زیادی شد.

شهید علی محمدی، مدرک کارشناسی را از دانشگاه شیراز در ۱۳۶۴ خورشیدی و کارشناسی ارشد را در ۱۳۶۷ و دکتری فیزیک با گرایش ذرات بنیادی را از دانشگاه صنعتی شریف در ۱۳۷۱ خورشیدی، کسب کرد. او از دانشجویان نخستین دوره دکتری فیزیک در داخل ایران بود و نخستین شخصی است که در ایران دکتری خود را در فیزیک دریافت کرده و همچنین نخستین دانشجوی پسادکتر در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی بود. تخصص اصلی او ذرات بنیادی، انرژی‌های بالا و کیهان‌شناسی بوده‌است. با پژوهشگاه دانش‌های بنیادی یا مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات نیز طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۰ خورشیدی همکاری داشت.

مسعود علی محمدی از زبان دوست و همشاگردی:

اولین باری که من او را دیدم تابستان سال ۱۳۵۶ بود. کت و شلوار کرم رنگی پوشیده بود و یک کیف سامسونت هم دستش بود. دوستی ما از همان جا شروع شد. همه دوران تحصیل، یعنی ۸ سال دوره لیسانس در دانشگاه شیراز، ۳ سال فوق لیسانس و ۴ سال دکتری در دانشگاه صنعتی شریف را باهم بودیم. مسعود از همان اول فیزیک را دوست داشت و با علاقه این رشته را انتخاب کرده بود. البته تصویری هم که از فیزیک داشت بیش تر مکانیکی بود. بحث مکانیک دوران دبیرستان او را به فیزیک علاقه مند کرده بود.

قبل از انقلاب، دانشجویهای درس خوانی نبودیم، البته محیط اطراف ما محیط درس خواندن نبود. اما اوایل انقلاب و به خصوص بعد از بازگشایی دانشگاه‌ها، پس از تعطیلات دوران انقلاب فرهنگی شروع کردیم به درس خواندن. ما خیلی درس‌ها را باهم می‌خواندیم، فکر می‌کنم این تیمی خواندن یکی از ویژگی‌های دوران ما بود. بعد از دکتری، هرکدام به دانشگاه‌های مختلف رفتیم، اما همه ما کارهای پژوهشی‌مان را در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی که آن موقع اسمش مرکز تحقیقات فیزیک نظری بود، دنبال می‌کردیم. شهید علی محمدی، من و استاد خرمی هم در زمینه یانگ-میلز دو بعدی مقاله مشترک داریم، هم در زمینه فرایندهای کنش-پخش و هم نظریه میدان‌های هم دیس. شهید علی محمدی با استاد شریعتی در زمینه نوسان نوترینوو ارتباط آن با پیچش فضا هم مقاله داشت.

مسعود ۵۵ مقاله پژوهشی که حاصل فعالیت‌های پژوهشی متنوعش در زمینه فیزیک نظری بود را در مجلات معتبر بین المللی فیزیک به چاپ رساند. او مدتی رئیس گروه فیزیک دانشگاه تهران، معاون پژوهشی دانشکده علوم و در سال‌های اخیر عضو هیئت ممیزه دانشگاه تهران بود. علاوه بر این‌ها مدتی هم نماینده ایران در شورای سزای، شتابگر منطقه خاورمیانه تحت نظر یونسکو بود. سال ۱۳۸۶ هم برنده جایزه خوارزمی شد.

همه کسانی که مسعود را می‌شناختند، چه آن‌هایی که دوستش بودند و چه دیگران، بر نقش او در دوره‌ای از فیزیک ایران اتفاق نظر دارند.

اون انسانی آرمان‌گرا بود. اگر کاری را شروع می‌کرد در حد بضاعت خود تلاش می‌کرد تا آن را به بهترین نحو به سرانجام برساند. سرانجام شهید علی محمدی در ۲۲ دی ۱۳۸۸ خورشیدی در حالی که قصد خروج از منزلش را داشت بر اثر انفجار یک بمب کنترل از راه دور ترور شد. در ۲۰ آذر ۱۳۸۹ خورشیدی، وزارت اطلاعات در اطلاعیه‌ای اعلام کرد که موفق به دستگیری عامل این اقدام شده و در همین ارتباط اعترافات تلویزیونی فردی به نام مجید جمالی فشی از تلویزیون پخش شد که فرد یاد شده در آن، به نقش خود در ترور شهید علی محمدی اعتراف کرد و گفت که آموزش‌های مورد نیاز برای این ترور را در سفری به سرزمین‌های اشغالی دیده و دوره‌هایی را زیر نظر مأموران موساد گذرانده است.

## روحش شاد و راهش پر رهرو باد.

برگرفته از مجله‌ی آموزشی فیزیک گاما، شماره‌ی ۲۳، تابستان ۱۳۸۹- به یاد مسعود علی محمدی، نوشته‌ی جناب آقای دکتر امیر آقامحمدی



# فیزیک و جهان شگفت انگیز بلورهای برف

معصومه محمدی، دانشجو کارشناسی فیزیک ورودی ۱۴۰۰ دانشگاه الزهراء (س) [m.mohammadi@student.alzahra.ac.ir](mailto:m.mohammadi@student.alzahra.ac.ir)  
 فاطمه صادقی، دانشجو کارشناسی فیزیک ورودی ۱۴۰۰ دانشگاه الزهراء (س) [F81.sadeghi1987@gmail.com](mailto:F81.sadeghi1987@gmail.com)  
 ویراستاران: فاطمه سادات صوف باف، نرگس رستمی



شکل (۱) چند نمونه از انواع مختلف بلورهای برف. [۱]

آب، چه در ظرف سینی فریزر باشد چه در سطح دریاچه در زمستان، هنگام انجماد شکل ظرف را به خود می‌گیرد؛ اما زمانی که پای دانه‌های برف به میان می‌آید همان عمل ساده‌ی انجماد آب نتیجه‌ی کاملاً متفاوتی دارد و تنوع خیره‌کننده‌ای از اشکال متقارن پیچیده ایجاد می‌کند. تنوع این شکل‌ها به قدری هست که به راحتی این ضرب‌المثل قدیمی که می‌گوید: «هیچ دو دانه‌ی برف، دقیقاً شبیه هم نیست» را تایید می‌کند.

در واقع حتی توضیح کیفی، درمورد رشد این شاهکارهای یخی کوچک بسیار دشوار است. چرا که رشد دانه‌های برف پدیده‌ای غیرخطی و غیرتعادلی است. فرآیندهای ظریف، در مقیاس نانو می‌توانند تاثیر عمیقی بر گسترش الگوهای پیچیده در تمام مقیاس‌ها بگذارد. درک ساختار آن‌ها نیازمند تلفیق غنی دینامیک مولکولی، فیزیک سطح، ناپایداری‌های رشد، شکل‌گیری الگو و مکانیک آماری است.

اگرچه تعداد دانه‌های برفی که از ابرهای زمستانی می‌بارند بسیار زیاد است؛ اما ما اکنون می‌توانیم درک کنیم که چرا آن‌ها اشکال منحصر به فرد خود را می‌سازند. [۲]

## • تفاوت بلور برف و دانه‌ی برف

بلور (کریستال) برف<sup>۷۵</sup>، بلور منفردی از یخ است که در آن تمام مولکول‌های آب در یک آرایش شش ضلعی ضلعی دقیق قرار گرفته‌اند.

در حالی که دانه‌ی برف<sup>۷۶</sup> یک اصطلاح هواشناسی کلی است که برای توصیف انواع بارش‌های زمستانی به کار می‌رود: از بلورهای برف منفرد گرفته تا خوشه‌ای از بلورها که با هم تشکیل می‌شوند، یا حتی توده‌های بزرگ‌تری از بلورها که هنگام پایین افتادن با هم برخورد می‌کنند و به هم می‌چسبند. معمولاً تک بلورهای برف را همان **دانه‌های برف** می‌نامند.[۲]

## • بلورهای برف چگونه تشکیل می‌شوند؟

تشکیل بلورهای برف، معمولاً زمانی آغاز می‌شود که به وسیله‌ی باد، توده‌ای از هوای گرم و مرطوب با توده‌ی متفاوتی از هوا برخورد کند و در سطح مشترک آن‌ها یک جبهه‌ی هوا<sup>۷۷</sup> تشکیل شود. اگر این برخورد، توده‌ی هوای گرم را به سمت بالا هل دهد، بعد از بالا رفتن سرد می‌شود.

هنگامی که هوا به اندازه‌ی کافی سرد شد، مقداری از بخار آب موجود در آن متراکم شده و به بی‌شمار قطره‌ی کوچک آب تبدیل می‌شود. برای اینکه یک بلور بتواند تشکیل گردد باید در وهله‌ی اول هسته‌ی آن بسته شود، بنابراین هر یک از این قطرات نیاز به هسته‌ای دارند که بر روی آن متراکم شوند؛ این هسته‌ها توسط ذرات گرد و غبار موجود در هوا تامین می‌شوند.

تراکم تعداد زیادی از این قطره‌های کوچک (اغلب در اندازه‌های میکرون)، منجر به تشکیل ابر می‌شود. (یک ابر ممکن است حاوی یک میلیون تن آب باشد که همگی به شکل قطرات معلق هستند.)

زمانی که دما به زیر صفر درجه سلسیوس می‌رسد قطرات آب بلافاصله یخ نمی‌زنند، بلکه طی فرآیند **فراسرمایش**<sup>۷۸</sup>، در حالتی که **فوق سرد**<sup>۷۹</sup> نامیده می‌شود، در حالت مایع باقی می‌مانند. بنابراین وقتی ابرهای تازه تشکیل شده به سرد شدن ادامه می‌دهند گرد و غبار، یک سطح جامد را برای شروع فرآیند انجماد فراهم می‌کند و قطرات مملو از گرد و غبار، در حدود ۶- درجه شروع به یخ زدن می‌کنند. از آنجایی که همه‌ی ذرات گرد و غبار متفاوت هستند، قطرات ابر همگی در یک دمای یکسان منجمد نمی‌شوند، پس طی این فرآیند یک گذار تدریجی وجود دارد.

وقتی قطره‌ای منجمد شود به ذره‌ی کوچکی از یخ تبدیل می‌شود که توسط قطرات آب، که به صورت مایع در ابر باقی مانده‌اند، احاطه شده است. با متراکم شدن بخار آب بر روی سطح خود یخ رشد کرده و

<sup>۷۵</sup> Snow Crystal

<sup>۷۶</sup> Snowflake

<sup>۷۷</sup> Weather Front: جبهه‌ی هوا مرزی است که توده‌های هوا را از هم جدا می‌کند و ویژگی‌های مختلفی، مانند تراکم هوا، باد، دما و رطوبت برای آن متفاوت است.

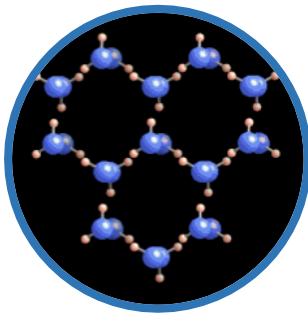
<sup>۷۸</sup> Supercooling: فراسرمایش، فرآیندی است که در آن مایعات طی سرد شدن سریع، بدون هسته‌ی زایی به دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد معمولی خود می‌رسند. به عبارتی، فراسرمایش اختلاف بین دمای شروع انجماد و دمای انجماد تئوریک است. مهم‌ترین مثال فرآیند فراسرمایش آب است. قطرات آب خالص را می‌توان قبل از یخ زدن تا ۴۰- درجه فراسرمایش کرد.

<sup>۷۹</sup> Supercooled State

طی این فرآیند یک دانه برف را تشکیل می‌دهد. با بزرگ‌تر شدن یخ، قطرات آب باقی مانده به آرامی تبخیر می‌شوند و بخار آب بیش‌تری را وارد هوا می‌کنند. توجه داشته باشید که چه اتفاقی برای آب می‌افتد: قطرات آب تبخیر می‌شوند و به هوا می‌روند و با متراکم شدن بر روی بلورهای برف در حال رشد از هوا خارج می‌شوند. بنابراین بلورهای برف، بیش‌تر از بخار آب تشکیل می‌شوند نه آب مایع، و مستقیماً در یک ساختار شبکه‌ی بلوری، متبلور می‌شوند. تقریباً یک میلیون قطره ابر باید تبخیر شود تا بخار آب کافی برای تشکیل یک بلور برف بزرگ فراهم شود. هنگام بارش برف یک جریان خالص آب از حالت مایع (قطرات ابر) به حالت جامد (دانه‌های برف) وجود دارد. این زنجیره نسبتاً پیچیده‌تر از فرآیندهایی است که منجر به انجماد آب مایع در یک ابر می‌شود. ساختارهای پیچیده‌ی شش ضلعی و متقارن که هیچ کدام شبیه یکدیگر نیستند!

### • چرا تقارن شش وجهی؟

بلورهایی که دانه‌های برف را می‌سازند متقارن (یا دارای الگو) هستند؛ زیرا نظم داخلی مولکول‌های آب در بلور یخ را منعکس می‌کنند که طی فرآیند «تبلور»<sup>۸۰</sup> خود را در اطراف ذرات گرد و غبار مرتب می‌کنند تا یک دانه‌ی برف شش وجهی را تشکیل دهند. از این رو تقارن شش وجهی بلورهای برف، از تقارن شش وجهی شبکه‌ی بلور یخ ناشی می‌شود.<sup>[۳]</sup>



شکل (۲). ساختار شبکه شش ضلعی مولکول‌های آب. همانطور که در شکل (۲) می‌بینید؛ کره‌های آبی بزرگ، نشان دهنده‌ی اتم‌های اکسیژن و کره‌های کوچک‌تر نشان دهنده اتم‌های هیدروژن هستند.<sup>[۱]</sup>

**سوال بعدی که مطرح می‌شود این است که نیروهای بین مولکولی که در مقیاس مولکولی شبکه‌ی بلوری یخ را به وجود می‌آورند، چگونه می‌توانند شکل یک بلور برف را که حدود ده میلیون برابر بزرگ‌تر است را کنترل کنند؟**

یک بلور برف ستاره‌ای، با تشکیل یک صفحه شش ضلعی کوچک آغاز می‌شود و هنگامی که بلور بزرگ‌تر می‌شود، شاخه‌ها از شش گوشه شروع به جوانه زدن می‌کنند.

پاسخ به این سوال، به چگونگی شکل‌گیری بلورها مربوط می‌شود. شکل هر بلور برف، با فرآیندهای مختلفی که رفتار رشد آن را کنترل می‌کنند، مشخص می‌شود؛ از جمله فرآیند «تشکیل وجوه»<sup>۸۱</sup> و فرآیند «انشعاب»<sup>۸۲</sup>.

<sup>۸۰</sup> Crystallization: بلورش یا بلوری شدن یا تبلور، فرآیندی است که طی آن، یک بلور جامد از یک محلول، بخار یا مذاب ماده‌ای ایجاد می‌شود.

<sup>۸۱</sup> Faceting

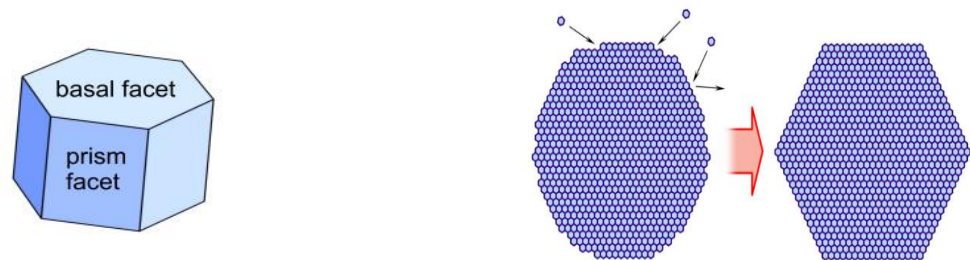
<sup>۸۲</sup> Branching



## • فرآیند تشکیل وجوه

بلورهای برف، سطوح صاف و وجه‌دار را نشان می‌دهند؛ مانند آنچه که در سنگ‌های قیمتی و یا وسایل شیشه‌ای بلوری دیده می‌شود. درخششی که هنگام تابش خورشید بر یک ساحل برفی دیده می‌شود انعکاسی از وجه‌های کوچک بی‌شمار در بلورهای یخ است. وجه‌ها هنگام رشد بر روی بلورهای برف ظاهر می‌شوند.

مولکول‌های آب در هوا به سطح بلور برخورد می‌کنند و به آن می‌چسبند. آن‌ها به نقاط زبر و ناهموار روی سطح، جایی که پیوندهای شیمیایی زیادی وجود دارد، بیش‌تر و راحت‌تر از مناطق صاف (با پیوندهای کمتر) می‌چسبند. در نتیجه، سطوح صاف آهسته‌تر از سطوح ناهموار رشد می‌کنند. بخش‌های ناهموار خیلی زود پر شده و رشد می‌کنند و در نهایت آنچه باقی می‌ماند فقط سطوح صاف و وجه‌دار است. در نتیجه شکل اولیه‌ی هر بلور یک منشور شش ضلعی است.



شکل (۳). برخورد و چسبیدن مولکول‌های آب به نقاط ناهموار روی سطح بلور [۱] شکل (۴). منشورهای شش ضلعی، ساده‌ترین شکل بلورهای برف هستند که دارای دو وجه پایه (قاعده) و شش وجه منشوری هستند. [۱]

بنابراین، فرآیند تشکیل وجوه، باعث می‌شود سطوح صاف روی بلورها ظاهر شوند؛ سطوحی که تقارن مولکولی زیربنایی بلور را منعکس می‌کنند.

نکته‌ای که در مورد بلورهای برف وجود دارد این است که آن‌ها اغلب اشکال بسیار پیچیده‌ای را می‌سازند. این پیچیدگی از کجا ناشی می‌شود؟ به هر حال بلورهای برف چیزی بیش از یخ که از بخار آب متراکم شده باشد نیستند. پس چگونه عمل ساده‌ی انجماد بخار آب در یخ چنین طرح‌های پیچیده‌ای را ایجاد می‌کند؟

## • فرآیند انشعاب

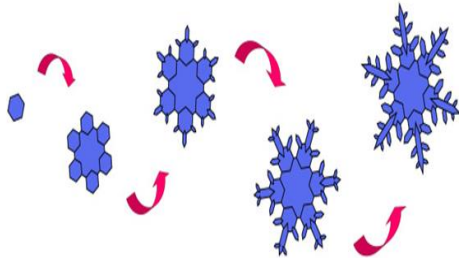
این فرآیند باعث می‌شود ساختارهای پیچیده‌ای از یخ رشد کنند.

تغییر شکلی که یک منشور یخی وجه‌دار را به یک **دندریت**<sup>۸۳</sup> ستاره‌ای با شاخه‌های پیچیده تبدیل می‌کند، نمونه‌ای بارز از **ریخت زایی**<sup>۸۴</sup> فیزیکی است.

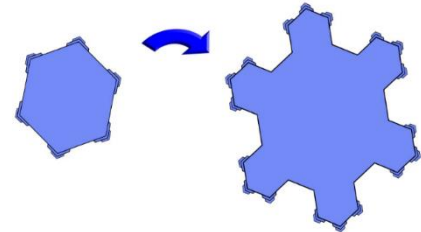
<sup>۸۳</sup> Dendrite: بلور شاخه‌ای

<sup>۸۴</sup> Morphogenesis: در یک تعریف کلی، ریخت زایی یا مورفوژنز به معنای قابلیت زیست شناختی یک موجود زنده در پروراندن شکل ظاهری خود است. در معنای فیزیکی، ریخت زایی عبارت است از ایجاد خود به خودی الگو و شکل توسط مواد بی‌جان، فرآیندی که طی آن نظم از آشوب به وجود می‌آید. جلوه‌های بسیاری از ریخت زایی فیزیکی وجود دارد که می‌توانید در اطراف خود پیدا کنید، مانند موج بر روی دریاچه‌ها یا الگوهای نواری بر روی دانه‌های برف و تپه‌های شنی و...

هنگامی که بلور برف (منشور شش وجهی) رشد می‌کند، سرعت رشد گوشه‌های آن کمی بیشتر است، زیرا آن‌ها بیشتر به هوای مرطوب می‌چسبند و باعث جوانه زدن شاخه‌ها می‌شوند. با بزرگ‌تر شدن بلور، همین اثر باعث می‌شود از گوشه‌های هر شاخه، شاخه‌های جانبی جوانه بزنند. این فرآیند مسئول اشکال پیچیده‌ی بلورهای برف است.



شکل (۶). مراحل تشکیل یک بلور برف [۱]



شکل (۵). انشعاب یک بلور برف [۱]

انشعاب، نمونه‌ای از ناپایداری رشد<sup>۸۵</sup> است. اتفاقی که می‌افتد این است: گوشه‌های یک صفحه‌ی شش ضلعی کمی بیرون می‌زنند، بنابراین کمی سریع‌تر رشد می‌کنند و دوباره همین اثر باعث بیرون زدگی بیشتر آن‌ها و رشد سریع‌ترشان می‌شود.

**به عنوان یک قاعده‌ی کلی، زمانی که بلورهای برف کوچک هستند یا زمانی که به آرامی رشد می‌کنند، «تشکیل وجوه» غالب می‌شود و بلورهای بزرگ‌تر با رشد سریع‌تر، «منشعب» می‌شوند.**

بلور با عبور از میان ابرها تغییر دما و رطوبت را تجربه می‌کند و هر تغییر باعث می‌شود که بازوهای آن کمی متفاوت رشد کنند.

شکل دقیق نهایی بلور برف با مسیر دقیقی که از میان ابرها طی کرده است تعیین می‌شود. اما شش بازوی آن همگی مسیر یکسانی را طی کرده‌اند، پس هر یک از آن‌ها تغییرات یکسانی را تجربه کرده‌اند. بنابراین این شش بازو، هم‌زمان رشد می‌کنند و شکل پیچیده و در عین حال متقارنی به خود می‌گیرند. [۱]

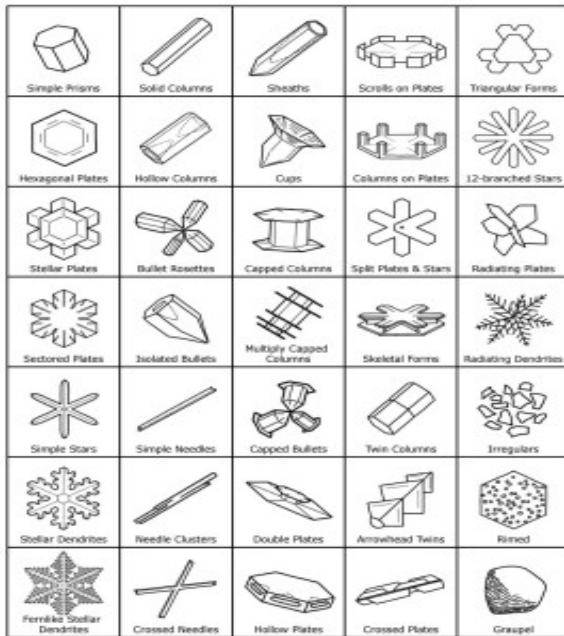
### اما چرا هیچ دو دانه برفی دقیقاً شبیه هم نیستند؟

به دلیل اینکه همه‌ی دانه‌های برف، تا از آسمان به زمین برسند، مسیرهای کمی متفاوت را دنبال می‌کنند و در طول مسیر با شرایط جوی کمی متفاوت روبه‌رو می‌شوند. از این رو، همه‌ی آن‌ها تمایل دارند منحصر به فرد به نظر برسند. بنابراین شبیه همه چیز از منشور و سوزن گرفته تا الگوی های ستاره‌ای معروف هستند. [۴]

<sup>۸۵</sup> growth instability

## • شکل‌های مختلف بلورهای برف

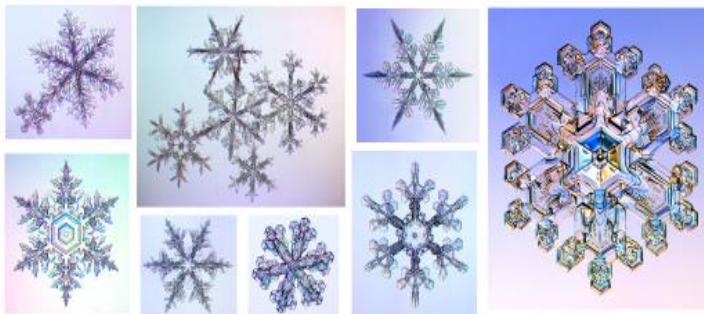
همه‌ی دانه‌های برف، شبیه ستاره‌های شش پَر نیستند. البته، خیلی از آن‌ها از این نوع هستند، اما بلورهای عجیب و غریبی نیز وجود دارند که از ابرهای زمستانی می‌بارند. اینکه چند نوع دانه‌ی برف وجود دارد تعداد دقیق و مشخصی ندارد؛ بستگی به این دارد که چند نوع برای آن تعریف کنیم. در اینجا برخی از انواع رایج آن‌ها را بررسی می‌کنیم:



شکل (۷). ۳۵ نوع از رایج‌ترین دانه‌های برف [۱]

## • دندریتهای ستاره‌ای<sup>۸۶</sup>

همان‌طور که در نمونه‌های شکل ۸ نیز می‌بینید، این‌ها قابل تشخیص‌ترین بلورهای برف هستند. نام آن‌ها از ظاهر ستاره مانند آن‌ها به همراه شاخه‌های اصلی و جانبی‌شان گرفته شده است (dendrite به معنی درخت مانند). آن‌ها رایج و نسبتاً بزرگ هستند؛ معمولاً ۴-۲ میلی‌متر قطر دارند و به راحتی با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند.



شکل (۸). نمونه‌هایی از دندریتهای ستاره‌ای [۱]

شما به راحتی می‌توانید آن‌ها روی لباس خود ببینید، مخصوصاً اگر پارچه‌ی تیره‌تر بپوشید. بهترین نمونه از آن‌ها معمولاً زمانی که هوا کاملاً سرد باشد ظاهر می‌شوند؛ در دمای حدود ۱۵- درجه سانتی‌گراد.

## • ستونی‌ها و سوزنی‌ها<sup>۸۷</sup>

بلورهای ستونی برف، زمانی ظاهر می‌شوند که دما در حدود ۶- درجه سانتیگراد (۲۱ درجه فارنهایت) باشد و می‌توانند بسیار رایج باشند.



ستون‌های شش ضلعی که اغلب با نواحی توخالی مخروطی (و متقارن) در انتهای خود تشکیل می‌شوند ستون‌های توخالی نامیده می‌شوند. گاهی اوقات انتهای آن‌ها رشد کرده و یک جفت حباب را در یخ محصور می‌کند. این بلورها کوچک هستند و برای مشاهده آن‌ها نیاز به یک ذره‌بین خوب هست.

<sup>۸۶</sup> Stellar Dendrites

<sup>۸۷</sup> Columns and Needles



سوزنی‌ها نیز بلورهای ستونی و باریکی هستند که در دمای حدود ۵- درجه سانتیگراد (۲۳ درجه فارنهایت) رشد می‌کنند. این بلورها روی آستین لباس شما شبیه تکه‌های کوچکی از موهای سفید هستند.

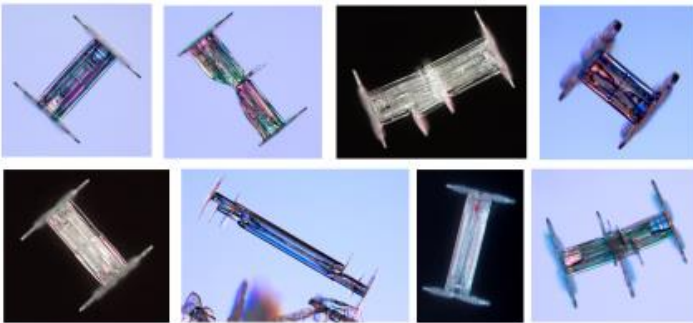
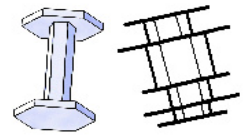


شکل (۹). نمونه‌هایی از دانه‌های برف ستونی و سوزنی [۱]

یکی از نکات جالب در مورد بلورهای برف این است که با تغییر اندک دما، رشد آن‌ها از صفحات نازک و تخت به سوزن‌های بلند و باریک تغییر می‌کند؛ و علت این اتفاق هنوز یک معماست.

### • ستون‌های کلاه‌دار<sup>۸۸</sup>

این نوع از دانه‌های برف زیاد رایج نیستند اما اگر به دنبال آن‌ها بگردید، پیدا کردن آن‌ها، آسان است. این بلورها ابتدا ستونی مانند رشد می‌کنند و سپس، به منطقه‌ای از ابرها وارد می‌شوند که در آن‌جا رشدشان صفحه‌مانند می‌شود. در نتیجه دو بلور نازک و صفحه‌مانند در انتهای یک ستون یخی رشد می‌کنند. ستون‌های کلاه‌دار چندگانه دارای صفحات اضافی بین دو صفحه بیرونی هستند.



شکل (۱۰). نمونه‌هایی از ستون‌های کلاه‌دار [۱]

در واقع یک ستون کلاه‌دار زمانی شکل می‌گیرد که در حین رشد در دماهای مختلف حرکت کند. ابتدا در دمای حدود ۶- درجه سانتیگراد (۲۱ درجه فارنهایت) یک ستون تشکیل می‌شود، سپس در دمای حدود ۱۵- درجه سانتیگراد (یا ۵ درجه فارنهایت) صفحات در انتهای ستون‌ها رشد می‌کنند.

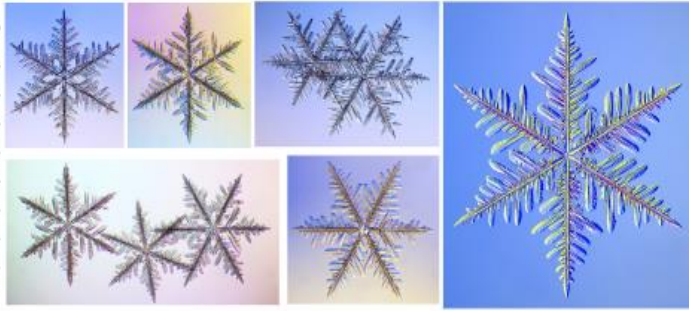
### • دندریت‌های ستاره‌ای سرخس‌مانند<sup>۸۹</sup>

این بلورها مانند دندریت‌های ستاره‌ای هستند، اما بزرگ‌تر و پر برگ‌تر از آن‌ها و دارای شاخه‌های جانبی زیاد، که باعث می‌شود شبیه شاخه‌های یک سرخس به نظر برسند. اگر با دقت نگاه کنید، خواهید دید که شاخه‌های جانبی اغلب موازی با شاخه‌های مجاور خود قرار گرفته‌اند. همچنین مشاهده می‌کنید که این بلورها کاملاً متقارن نیستند و شاخه‌های جانبی یک بازو با دیگر بازوها یکسان نیست.



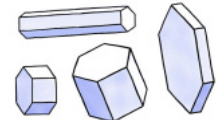
<sup>۸۸</sup> Capped Columns

<sup>۸۹</sup> Fernlike Stellar Dendrites



این‌ها بزرگ‌ترین بلورهای برف هستند که اغلب با قطر ۵ میلیمتر یا بیشتر به زمین می‌ریزند. اما با وجود اندازه‌ی بزرگشان، بلورهای منفرد یخ هستند. آن‌ها می‌توانند بسیار نازک و سبک باشند، بنابراین یک توده‌ی برف با چگالی کم می‌سازند.

### • بلورهای گرد الماس<sup>۹۰</sup>



این بلورهای ریز برف شبیه به جرقه زدن گرد و غبار زیر نور خورشید هستند و نام

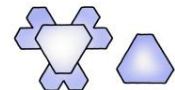


خود را از همین‌جا گرفته‌اند. آن‌ها

کوچک‌ترین بلورهای برف هستند. (بسیاری از آن‌ها بزرگ‌تر از قطر موی انسان نیستند.) و اغلب در هوای بسیار سرد دیده می‌شوند. شکل اصلی بلورهای یخ، یک منشور شش ضلعی است که بسته به رشد وجه‌های مختلف می‌تواند به شکل صفحات شش ضلعی نازک، ستون‌های شش ضلعی باریک (مانند مدادهای چوبی) یا هر چیز دیگری در این بین ظاهر شود.

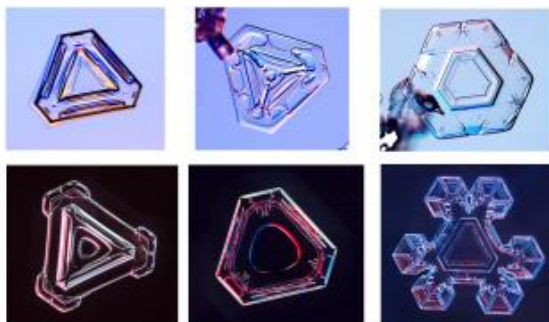
شکل (۱۱). نمونه‌هایی از منشورهای شش وجهی<sup>[۱]</sup>

### • بلورهای مثلثی<sup>۹۱</sup>



گاهی اوقات زمانی که دما نزدیک به ۲- درجه سانتیگراد (۲۸ درجه فارنهایت) باشد، صفحات به صورت مثلث‌های کوتاه رشد می‌کنند. اگر گوشه‌های صفحات جوانه بزند،

نتیجه یک نسخه‌ی عجیب از بلور صفحه ستاره‌ای است. به نظر می‌رسد که اثرات آیرودینامیکی به تولید



این بلورهای برف غیرمعمول کمک می‌کند؛ اما هنوز هیچ کس نمی‌داند که دقیقاً چرا بلورهای برف به این شکل‌های متقارن سه وجهی تبدیل می‌شوند.

توجه داشته باشید که ساختار مولکولی بلورهای مثلثی تفاوتی با کریستال‌های شش وجهی معمولی ندارد و زاویه‌های وجه همه آن‌ها یکسان است!

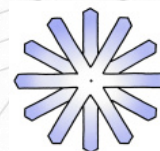
شکل (۱۲). نمونه‌هایی از بلورهای مثلثی<sup>[۱]</sup>

<sup>۹۰</sup> Diamond Dust Crystals

<sup>۹۱</sup> Triangular Crystals

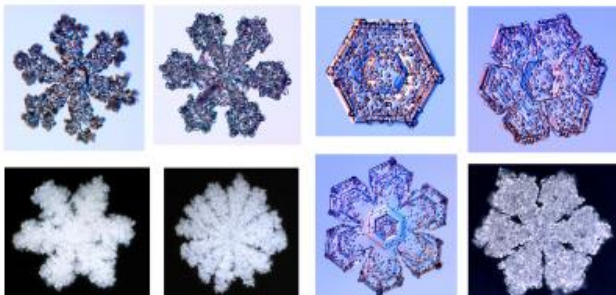


### • دانه‌های برف دوازده شاخه<sup>۹۲</sup>



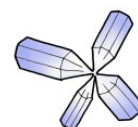
اگر دو بلور برف شش شاخه کوچک در میانه هوا با هم برخورد کنند ممکن است به هم بچسبند و به یک دانه برف دوازده شاخه تبدیل شوند. در حقیقت گاهی اوقات ستون‌های

کلاهدار با یک پیچش شکل می‌گیرند؛ یک پیچش ۳۰ درجه‌ای خاص. صفحات انتهایی هر دو بلور، شش وجهی هستند، اما یکی از آن‌ها نسبت به دیگری ۳۰ درجه چرخانده می‌شود. این نوعی از دوقلوبی شدن بلورها است که در آن دو بلور در جهت خاصی به هم متصل می‌شوند. این بلورها بسیار نادر هستند، اما گاهی بارش برف تعداد کمی از آن‌ها را به همراه خواهد داشت.



شکل (۳۱). نمونه‌هایی از دانه‌های برف دوازده شاخه [۱]

### • گل سرخ گلوله‌ای<sup>۹۳</sup>



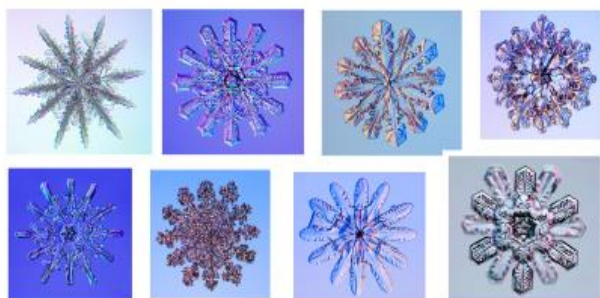
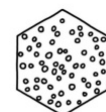
گاهی هسته‌ی یک دانه یخ، بلورهای متعددی تولید می‌کند که همگی در جهت‌های تصادفی با هم رشد می‌کنند. هنگامی که قطعات مختلف به شکل ستونی رشد می‌کنند،



نتیجه، یک گل سرخ گلوله‌ای نامیده می‌شود. این پلی کریستال‌ها اغلب تجزیه می‌شوند تا بلورهای گلوله مانند مجزایی باقی بمانند. گاهی اوقات یک گل گلوله‌ای می‌تواند به یک گل کلاهدار تبدیل شود.

شکل (۱۴). نمونه‌هایی از گل سرخ‌های گلوله‌ای [۱]

### • دانه‌های برف یخ پوشه مات‌دار و تگرگ ریز<sup>۹۴</sup>



بلورهای برف، درون ابرهایی که از قطرات آب ساخته شده‌اند رشد می‌کنند. اغلب یک بلور برف با چند قطره آب که روی یخ منجمد می‌شوند، برخورد می‌کند؛ این قطرات را «یخ پوشه مات»<sup>۹۵</sup> می‌نامند. یک بلور برف ممکن است یخ پوشه مات نداشته باشد یا چند قطره یخ پوشه مات داشته

شکل (۱۵). نمونه‌هایی از دانه‌های برف یخ پوشه مات‌دار و تگرگ ریز [۱]

<sup>۹۲</sup> Twelve-branched Snowflakes

<sup>۹۳</sup> Bullet Rosette

<sup>۹۴</sup> Rimed Snowflakes and Graupel

<sup>۹۵</sup> Rime: یخ پوشه مات وقتی شکل می‌گیرد که اشیایی با دمای زیر نقطه انجماد در داخل مه قرار گیرند. در چنین حالتی ذرات کوچک مه یخ می‌زنند و به سطح سرد جسم می‌چسبند.



باشد و یا گاهی اوقات بلورها کاملاً با یخ پوشه مات پوشانده می‌شوند. حباب‌های یخ پوشه مات را «تگرگ ریز»<sup>۹۶</sup> می‌نامند. [۱][۵]

### • تاریخچه مطالعه بلورهای برف

بر اساس تحقیقات کنت جی لیبرشت<sup>۹۷</sup>، اولین گزارش‌های ثبت شده در مورد این اشکال ظریف به ۱۳۵۰ قبل از میلاد، در چین برمی‌گردد. محقق چینی، هان یین<sup>۹۸</sup> می‌نویسد: «گل‌های گیاهان و درختان عموماً پنج وجهی هستند، اما گل‌های برفی که «یینگ»<sup>۹۹</sup> نامیده می‌شوند، همیشه شش وجهی هستند.» اما اولین دانشمندی که سعی کرد دلیل این اتفاق را بفهمد، احتمالاً یوهانس کپلر<sup>۱۰۰</sup> بود.

در سال ۱۶۱۱، کپلر هدیه‌ای را به حامی خود رودلف دوم<sup>۱۰۱</sup>، امپراتور مقدس روم، تقدیم کرد؛ این هدیه مقاله‌ای به نام «دانه برف شش گوشه» بود. کپلر می‌نویسد که هنگام عبور از پل چارلز پراگ<sup>۱۰۲</sup> متوجه دانه برفی روی یقه‌اش شد و چاره‌ای جز آنکه به هندسه آن بیندیشد نداشت. او می‌نویسد: «باید دلیلی وجود داشته باشد که برف به شکل یک ستاره شش گوشه است. این نمی‌تواند تصادفی باشد.»

او نامه‌ای از توماس هریوت<sup>۱۰۳</sup> را به یاد می‌آورد که به عنوان دریانورد برای سر والتر رالی<sup>۱۰۴</sup> خدمت می‌کرد. در حدود سال ۱۵۸۴، هریوت به دنبال کارآمدترین راه برای انباشتن گلوله‌های توپ بر روی عرشه کشتی رالی بود. هریوت دریافت که برای بسته‌بندی کره‌ها از نزدیک به هم، الگوهای شش ضلعی بهترین راه به نظر می‌رسند. او در مورد آن با کپلر مکاتبه کرد. کپلر به این فکر کرد که آیا چیزی مشابه در دانه‌های برف اتفاق می‌افتد، و آیا می‌توان شش ضلع آن‌ها را به آرایش «کوچک‌ترین واحد طبیعی مایعی مانند آب» مرتبط کرد.

این یک بینش اولیه قابل توجه در فیزیک اتمی بود، بینشی که تا ۳۰۰ سال رسمیت نیافت. مولکول‌های آب تمایل دارند با دو هیدروژن و یک اکسیژن به هم متصل شده و آرایش‌های شش ضلعی را تشکیل دهند. کپلر و معاصرانش نمی‌توانستند بدانند که این موضوع چقدر اهمیت دارد. ناتلسون<sup>۱۰۵</sup> گفت: «به دلیل پیوند هیدروژنی و جزئیات نحوه برهمکنش مولکول‌ها با یکدیگر، شما این ساختار بلوری نسبتاً آزاد را دارید.» این ساختار شش ضلعی علاوه بر کمک به رشد دانه‌های برف، باعث می‌شود یخ چگالی کم‌تری

<sup>۹۶</sup> Graupel: برف دانه یا تگرگ ریز اشاره به بارش اشکالی از قطره‌های آب منجمد شده است که شبیه دانه‌های برف می‌باشد. برف دانه تگرگ محسوب نمی‌شود، هرچند گاهی با نام تگرگ ریز از آن یاد می‌شود. با این حال سازمان جهانی هواشناسی برف دانه را گلوله‌های کوچک برفی پوشیده شده با یخ توصیف نموده است که توصیفی مابین توصیف برف دانه و تگرگ می‌باشد.

<sup>۹۷</sup> KeneetG.Libbrecht

<sup>۹۸</sup> Han Yin

<sup>۹۹</sup> Ying

<sup>۱۰۰</sup> Johannes Kepler: دانشمند آلمانی

<sup>۱۰۱</sup> Rudolf II

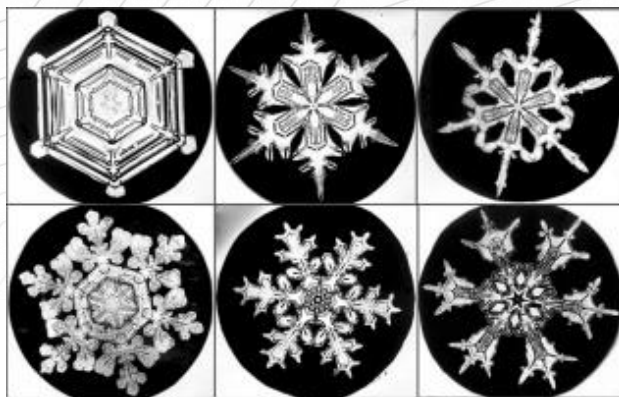
<sup>۱۰۲</sup> Charles Bridge

<sup>۱۰۳</sup> Thomas Harriot: دانشمند و ستاره‌شناس انگلیسی هم عصر کپلر

<sup>۱۰۴</sup> Sir Walter Raleigh: کاشف و جهانگرد انگلیسی

<sup>۱۰۵</sup> Natelson

نسبت به آب مایع داشته باشد که به شدت بر ژئوشیمی، ژئوفیزیک و آب و هوا تأثیر می‌گذارد. به گفته



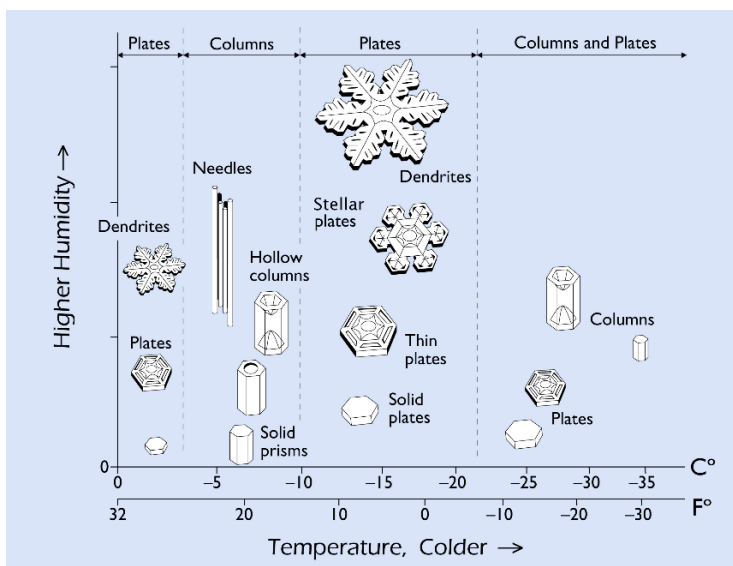
ناتلسون، «اگر یخ روی آب شناور نمی‌شد، زندگی روی زمین امکان پذیر نبود.»

پس از رساله کیلر، مشاهده دانه برف بیش از آنکه یک علم باشد، یک سرگرمی به شمار می‌رفت. در سال ۱۸۸۰ یک کشاورز و عکاس آمریکایی به نام ویلسون بنتلی<sup>۱۶</sup> شروع به ساختن اولین تصاویر بلورهای برف با استفاده از صفحات عکاسی کرد. او بیش از ۵۰۰۰ تصویر تهیه کرد.

شکل (۱۶). چند نمونه از عکس‌های گرفته شده توسط بنتلی<sup>[۱]</sup>

سپس در دهه ۱۹۳۰، اوکیچیرو ناکایا<sup>۱۷</sup>، فیزیکدان ژاپنی، مطالعه سیستماتیک انواع مختلف بلورهای برف را آغاز کرد. در اواسط قرن بیستم، ناکایا دانه‌های برف را در آزمایشگاه تولید می‌کرد و از موهای خرگوش برای معلق کردن بلورهای برفک<sup>۱۸</sup> در هوای یخچال، جایی که آن‌ها می‌توانند به دانه‌های برف کامل تبدیل شوند، استفاده می‌کرد. او با تنظیم رطوبت و دما برای رشد دو نوع بلور اصلی فهرست اصلی اش از اشکال احتمالی را گردآوری کرد. [۶]

### • نمودار ریخت شناسی<sup>۱۹</sup> (مورفولوژی) بلورهای برف



نحوهی رشد بلورهای برف به شدت به دما و رطوبت ابرها بستگی دارد. این موضوع در نمودار ریخت شناسی بلورهای برف که **نمودار ناکایا** نامیده می‌شود، خلاصه شده است. ناکایا این رفتار را با رشد کریستال های برف در آزمایشگاه خود در سال ۱۹۳۰ کشف کرد. این نمودار، در طول سال‌ها توسط محققان دیگر اصلاح و گسترش داده شده است، اما ویژگی‌های اساسی آن بدون تغییر باقی مانده است.

در این نمودار می‌توان دو روند اصلی را

مشاهده کرد: شکل (۱۷). نمودار ناکایا، انواع ریخت شناسی بلورهای برف را که در دماها (محور افقی) و سطوح رطوبت (محور عمودی) مختلف رشد می‌کنند، ترسیم می‌کند. [۱]

<sup>۱۶</sup> Wilson Bentley

<sup>۱۷</sup> Ukichiro Nakaya

<sup>۱۸</sup> Frost Crystals

<sup>۱۹</sup> Morphology Diagram

۱. شکل‌گیری بلور برف با افزایش دما به طور چشمگیری تغییر می‌کند. بلورهای صفحه مانند نازک در دماهای نزدیک به  $-2$  درجه سانتیگراد ( $28$  درجه فارنهایت) ظاهر می‌شوند، ستون‌های باریک نزدیک به  $-6$  درجه سانتیگراد ( $21$  درجه فارنهایت) رشد می‌کنند، صفحات نازک بزرگ نزدیک  $-15$  درجه سانتی‌گراد ( $5$  درجه فارنهایت) رشد می‌کنند، و می‌توان صفحات یا ستون‌ها را در دماهای پایین‌تر پیدا کرد.

۲. زمانی که رطوبت کم و رشد بلورها آهسته است، بلورهای برف به شکل‌های ساده‌تر رشد می‌کنند. وقتی رطوبت بالا باشد و بلورها به سرعت رشد کنند، شکل‌های پیچیده‌تر و منشعب‌تری ظاهر می‌شوند. این‌که چرا بلورهای برف به این شکل رشد می‌کنند هنوز به طور کامل درک نشده است، اگرچه پیشرفت‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. رفتار رشد یخ به ساختار مولکولی و دینامیک در سطح بلور بستگی دارد، و همه این‌ها آنقدر پیچیده است که هیچ کس واقعا همه چیز را در مورد آن درک نمی‌کند.

اگرچه علم پیشرفت‌های زیادی در درک اسرار کیهان داشته‌است، اما هنوز در این ساختارهای یخی شگفت‌انگیز، رازهایی باقی مانده‌است. [۱]

#### • پیشنهادی برای مطالعه بیشتر:

کنت جی لیبرشت، استاد فیزیک موسسه فناوری کالیفرنیا<sup>۱۰</sup> (مشهور به CalTech) است که روی دینامیک مولکولی رشد بلور مطالعه می‌کند؛ که در اصل فیزیک دانه‌های برف است. او علاوه بر این‌که مقالات و کتاب‌های متعددی در این زمینه تالیف کرده است، در وبگاه [www.snowcrystals.com](http://www.snowcrystals.com) خلاصه کتاب‌ها، مطالعات و همچنین تصاویر خارق‌العاده‌ای که از بلورهای برف ثبت کرده است منتشر کرده است. اگر شما به مطالعه بیشتر درباره بلورهای برف و دیدن تصاویر آن‌ها علاقه‌مند هستید، می‌توانید به این وبگاه مراجعه کنید.

از راهنمایی‌های «جناب آقای دکتر حسین حکیمی پژوه» و «جناب آقای دکتر کوروش رحیمی» در ترجمه متن صمیمانه تشکر می‌کنیم.

#### منابع:

۱. [www.snowcrystals.com](http://www.snowcrystals.com)
۲. [www.americanscientist.org/article/the-formation-of-snow-crystals](http://www.americanscientist.org/article/the-formation-of-snow-crystals)
۳. [www.stevespanglerscience.com/۲۰۱۳/۰۱/۲۱/the-science-behind-snowflakes/](http://www.stevespanglerscience.com/۲۰۱۳/۰۱/۲۱/the-science-behind-snowflakes/)
۴. [www.noaa.gov/stories/how-do-snowflakes-form-science-behind-snow](http://www.noaa.gov/stories/how-do-snowflakes-form-science-behind-snow)
۵. [www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals](http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals)
۶. [www.quantamagazine.org](http://www.quantamagazine.org)

<sup>۱۰</sup> California Institute of Technology



# مرگ، پایان ستاره‌ها نیست...

به یاد دکتر «آلنوش طریان<sup>۱</sup>»، مادر نجوم ایران

معصومه محمدی دانشجوی کارشناسی فیزیک ۱۴۰۰ دانشگاه الزهراء(س) m.mohammadi@student.alzahra.ac.ir

ویراستار: فاطمه سادات صوفیاف



در طول تاریخ، اگرچه فرمان علم اغلب در دست مردان بوده است اما کم نبودند زنانی که با وجود تمام موانع و نابرابری‌ها قدم در راه علم گذاشته و در برافروختن چراغ آن تلاش کرده‌اند. آن‌ها برای قدم گذاشتن و پیشرفت در این راه با کلیشه‌های بسیاری که می‌توانست مانع آن‌ها باشد مبارزه کردند.

هر زنی در این راه داستان خودش را دارد، که شنیدن هر کدام می‌تواند الهام بخش زنان امروز و فردا برای قدم نهادن در راه علم باشد.

مانند زنی که داستانش در مسیر علم به ستاره‌ها پیوند می‌خورد و خودش می‌شود ستاره‌ای همواره روشن در آسمان علم ایران. آغاز داستانش را خودش اینگونه تعریف می‌کند: «من به پدرم گفتم می‌خواهم کاری کنم که از عهده

هر کسی بر نیاید. از بچگی دیده و شنیده بودم که چطور مردم مثلاً می‌گویند: دخترها نمی‌توانند ریاضی بخوانند یا فلان کار را انجام دهند و این همیشه باعث آزرده‌گی من می‌شد و می‌خواستم ثابت کنم که دختر یا پسر بودن فرقی ندارد و اگر انسان استعداد و پشتکار کافی داشته باشد، از عهده هر کاری بر می‌آید و ثابت هم کردم.»

به مناسبت ۱۵ اسفند، سالگرد درگذشت دکتر «آلنوش طریان»، از چهره‌های تاثیرگذار فیزیک و به خصوص اختر فیزیک ایران، به مرور زندگی علمی ایشان را می‌پردازیم:

دکتر «آلنوش طریان»، ۱۸ آبان ۱۲۹۹ (۹ نوامبر ۱۹۲۰) در یک خانواده ارمنی در تهران متولد شد. با اینکه خانواده از اهالی هنر و ادبیات بودند اما او راه هنر را پی نگرفت و به گفته خودش به دلیل اینکه معلم فیزیک خیلی خوبی داشته، مجذوب فیزیک شد.

دکتر طریان سال ۱۳۲۶ مدرک لیسانس فیزیک خود را از دانشگاه تهران دریافت کرد و مدتی به عنوان متصدی عملیات آزمایشگاهی دانشکده علوم مشغول به کار شد. سال ۱۳۲۸ پس از آنکه با درخواست

<sup>۱</sup> Alenush Terian انگلیسی، Ալենուշ Երեան արمنی

بورسیه وی موافقت نشد، به تشویق پدرش و با هزینه شخصی راهی فرانسه و وارد بخش فیزیک اتمسفر دانشگاه پاریس شد و در سال ۱۳۳۵ با مدرک دکتریز دانشگاه سوربن فارغ التحصیل شد. با وجود پیشنهاد کرسی استادی دانشگاه سوربن برای خدمت به کشور به ایران بازگشت و بلافاصله از سوی دانشگاه تهران دعوت به همکاری و تدریس شد؛ وی در ابتدا با سمت دانشیار فیزیک، واحد ترمودینامیک را در دانشگاه تهران تدریس کرد.

سال ۱۳۳۸ برای شرکت در بورس مطالعه رصدخانه فیزیک خورشیدی که دولت فدرال آلمان غربی در اختیار دانشگاه تهران گذاشته بود انتخاب شد و بعد از چهار ماه مطالعه به ایران بازگشت. دکتر طریان در سال ۱۳۴۳ به مقام استادی دانشگاه تهران ارتقا پیدا کرد تا نخستین فیزیکدان زنی باشد که در دانشگاه‌های ایران به این مقام می‌رسد.

در سال ۱۳۴۵ به عنوان عضوی از کمیته ژئو فیزیک دانشگاه تهران انتخاب و در سال ۱۳۴۸ رسماً به ریاست موسسه ژئو فیزیک دانشگاه تهران منصوب شد و فعالیت خود را در رصدخانه فیزیک خورشیدی که خود در بنیان‌گذاری آن نقش عمده‌ای داشت، آغاز کرد. وی همچنین برای اولین بار درس فیزیک ستاره‌ها را در دانشگاه تهران تدریس کرد. خودش در این باره می‌گوید: «پیش از آنکه من فیزیک ستارگان را در دانشگاه تدریس کنم این درس وارد دانشگاه‌های ایران نشده بود و تنها علم نجوم تدریس می‌شد، آن هم نه در رشته فیزیک بلکه ریاضی. زمانی که از من برای تدریس در دانشگاه دعوت کردند، از آنجا که دستیار دکتر روشن<sup>۱۳</sup> بودم، در ابتدا ترمودینامیک تدریس می‌کردم، اما پس از مدتی قرار شد برای اولین بار در ایران و به صورت مستقل درس فیزیک ستاره‌ها را برای دانشجویان رشته فیزیک تدریس کنم.»

دکتر طریان، به عنوان اولین استاد زن فیزیک ایران و یکی از پایه‌گذاران اختر فیزیک و نخستین رصدخانه و تلسکوپ خورشیدی در ایران به دلیل نقشی که در پیشبرد اختر فیزیک در ایران داشته به «مادر نجوم نوین و بانوی اختر فیزیک ایران» ملقب گردید. ایشان پس از ۳۲ سال خدمت صادقانه به کشور و تربیت استادانی ارزشمند سال ۱۳۵۸ به درخواست خود بازنشسته شدند. همچنین قبل از مرگ، کتابخانه شخصی خود را به سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران اهدا کردند و وصیت کردند منزل شاندر اختیار دانشجویان آرامنه جلفا و دانشجویانی که اسکان مناسبی ندارند قرار داده شود. زنی که مجذوب فیزیک و عاشق جهان ستاره‌ها شد و عمرش را در این راه وقف کرد، سرانجام در تاریخ ۱۵ اسفند ۱۳۸۹ در ۹۰ سالگی رهسپار آسمان، جایی که به آن تعلق داشت شد و در گورستان آرامنه تهران به خاک سپرده شد. داستان او به پایان رسید، اما مرگ، پایان ستاره‌ها نیست....

## روحش شاد و راهش پر رهرو باد.

منبع: ویکی‌پدیا

<sup>۱۳</sup> دکتر امانت‌اله روشن زائری مشهور به ا. روشن، نویسنده و مترجم و فیزیکدان ایرانی و از مهره‌های اصلی دانشکده علوم دانشگاه تهران بود

# مقدمه‌ای بر فیزیک اعصاب

حدیث سلیمانی، فارغ التحصیل رشته‌ی فیزیک آماری و سیستم‌های پیچیده، دانشگاه الزهرا(س)

h\_soleimani1993@yahoo.com

ویراستاران: الهام خلیلی دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک اپتیک و لیزر دانشگاه یزد ihm.klyyy@gmail.com، نرگس رستمی

## مقدمه

از آن‌جا که بدن و مغز قسمت‌هایی از یک دنیای فیزیکی هستند، باید یک نظریه‌ی کامل وجود داشته باشد که بتواند بدن و مغز را در قالب یک نظریه‌ی فیزیکی توضیح دهد. ساختار این نظریه‌ی فیزیکی به شدت به جنبه‌هایی که به صورت عملکرد عملی و بازخوردهای تجربی توضیح داده می‌شود، بستگی خواهد داشت. (۱) در مورد خصوصیات این نظریه و اصول آن، نظریات بسیار مختلفی وجود دارد. برخی از فیزیکدانان اعصاب<sup>۱۳</sup> ظهور چنین نظریه‌ی ای را در قرن جاری همانند ظهور مکانیک کوانتومی در قرن گذشته می‌دانند، که خود جای بحث دارد. از زمانی که نقش الکتروسیته در اعصاب توسط لوییجی گالوانی<sup>۱۴</sup> در نیمه‌ی دوم قرن ۱۸ هنگام مطالعه‌ی بدن قورباغه‌ی تشریح شده مشخص شد، عملاً فیزیک وارد تحقیقات علوم اعصاب شد. (۲) بعد از اختراع میکروسکوپ، علوم اعصاب وارد فاز جدیدی شد. در ۶۰ سال اخیر و به خصوص بعد از شکل‌گیری نظریه‌ی نورون، به عنوان واحد بنیادی عملگر مغز و تأیید آزمایشگاهی آن و همچنین گزارش تحریک پذیری الکتریکی نورون‌ها و تأثیر آن بر حالت

در سال‌های اخیر فیزیک از یک علم محض به یک علم کاربردی تبدیل شده است و دیگر در کم‌تر جایی فیزیک صرفاً به عنوان رشته‌ای بدون کاربرد مشخص، در مقاطع کارشناسی و بالاتر تدریس می‌شود. این امر به دلیل راهکارهایی است که فیزیک برای پژوهشگران رشته‌های مختلف به ارمغان آورده است، که علت آن هم به واسطه مهارت‌های تحلیلی فیزیک پیشگان است. از اولین معادله‌ی دیفرانسیل ارائه شده برای پتانسیل عمل نورون‌های مغز و اعصاب توسط هاجکین و هاکسلی گرفته تا پیشنهاد نانوفناورانه توسط فاینمن، همه راهکارهایی است که علوم پایه و به خصوص فیزیک به جامعه‌ی پزشکی، صنعت و پژوهشگران رشته‌های مختلف ارائه داده است. در این مقاله سعی می‌شود جایگاه فیزیک اعصاب به عنوان زیرشاخه‌ای از بیوفیزیک به دانشجویان و پژوهشگران فیزیک معرفی شود تا اهمیت همراه شدن با جامعه‌ی جهانی و آموزش دانشجویان فیزیک مطابق کاربردهای روز روشن‌تر گردد. ما ابتدا با معرفی دستگاه اعصاب مرکزی از دیدگاه فیزیک شروع کرده و سپس به معرفی قوانین بنیادی فیزیک اعصاب می‌پردازیم.

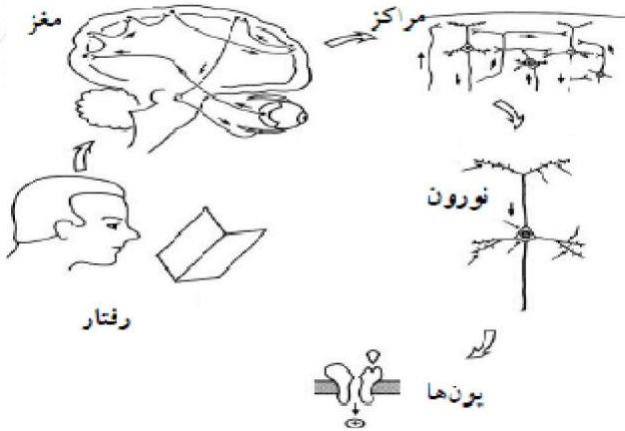
**واژه‌های کلیدی:** فیزیک اعصاب، علوم اعصاب، نورون، سیناپس، حافظه

<sup>۱۴</sup> Luigi Galvani

<sup>۱۳</sup> Neurophysicists



توصیف ساده‌ی ساختار فیزیکی مغز و اعصاب، به معرفی قوانین فیزیکی حاکم بر آن می‌پردازیم. به دنبال آن با معرفی انواع سیناپس‌ها، مبنای شکل‌گیری حافظه را مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل ۱. طرح نمادین مغز همراه با یک مرکز نورونی، یک نورون و یک کانال یونی.

### ۱- دستگاه مغز و اعصاب از دیدگاه فیزیک

کار اصلی دستگاه اعصاب، برقراری ارتباط و تحلیل اطلاعات است. (۳) به عنوان مثال وقتی کتابی را مطالعه می‌کنیم اطلاعات بینایی از طریق چشم و یاخته‌های دریافت کننده نور در شبکه، به صورت پیام‌های الکتریکی، رمزگذاری شده و به قسمت‌های خاصی در مغز منتقل می‌شود. این اطلاعات در مرکزهای نورونی مربوطه، تحلیل شده و در نهایت منجر به تفسیر خاصی از آن جسم می‌شود، که ما آن را "دیدن" می‌گوییم. (۱۸) مغز با توجه به آن تفسیر، دستورات لازم را به قسمت‌های حرکتی داده و به این ترتیب با محیط اطراف خود ارتباط برقرار می‌کند. دقت در دریافت، ارسال و تجزیه و تحلیل این پیام‌ها جهت بقا و تامین مایحتاج روزانه بسیار مهم و حیاتی

نورون‌های مجاور، فیزیکی‌دانان زیادی به این سیستم علاقه‌مند شدند. (۴۹۳) بعد از ورود بیوفیزیکی‌دانانی چون هاکین و هاکسلی<sup>۱۱۵</sup> به این تحقیقات، علوم اعصاب که تا آن زمان بیش‌تر به صورت شاخه‌ای از روانشناسی بحث می‌شد، شکلی بنیادی همراه با اندازه‌گیری و محاسبات به خود گرفت. به عنوان مثال قوانین گذرده‌ی یون‌ها و باز و بسته شدن دروازه‌ی کانال‌های یونی که حدود ۵۰ سال موضوع تحقیق فیزیولوژی اعصاب بود، توسط این دو نفر به صورت آزمایشگاهی همراه با معادلات دیفرانسیل محاسباتی مربوطه، ارائه شد. (۹۰۵)

بعد از مدل فیزیکی-ریاضی هاکین-هاکسلی، علوم اعصاب با شتاب بسیار زیادی رشد کرده و به صورت یکی از وسیع‌ترین رشته‌های بین‌رشته‌ای درآمده است. در این بین فیزیک اعصاب خود به گرایش‌های مختلفی اعم از فیزیک اعصاب تجربی، محاسباتی، آماری و فلسفی تقسیم شده است. (۱۱۰۱) با ابداع یک روش فیزیکی برای ثبت جریان گذرنده از یک کانال یونی توسط بیوفیزیکی‌دانی بنام نههر<sup>۱۱۶</sup> و یک فیزیولوژیست به نام سکمن<sup>۱۱۷</sup> راه برای کشف جزئیات کانال‌های تبادل یونی هموار شد. (۱۳۰۱۲) هم اکنون به کمک روش‌های مولکولی، حتی می‌توان معادلات فیزیکی غیرخطی این کانال‌ها را به دست آورد. (۱۴)

با تحقیقات یک بیوفیزیکی‌دان دیگر، به نام برنارد کنز<sup>۱۱۸</sup> در مورد سیناپس‌ها، راه برای ارائه‌ی نظریه‌ی حافظه هموار شد. (۱۷۰۱۵) در این مقاله بعد از

<sup>۱۱۷</sup> Sekmen

<sup>۱۱۸</sup> Bernard Katz

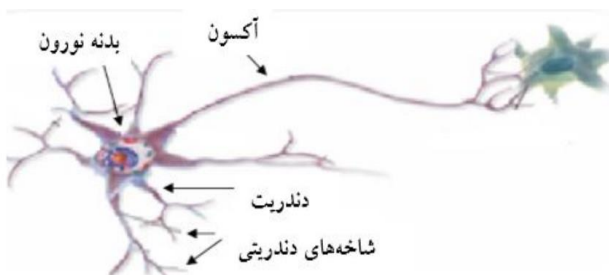
<sup>۱۱۵</sup> Hodgkin and Huxley

<sup>۱۱۶</sup> Neher

منتقل می‌شوند. جزئیات فیزیکی تولید پتانسیل عمل که عامل اصلی انتقال پیام‌های عصبی بین نورون‌ها است، در ادامه خواهد آمد.

## ۲-۱- ساختار نورون‌ها

نورون یا یاخته‌ی عصبی، واحد بنیادی سازنده‌ی دستگاه اعصاب مرکزی (CNS)<sup>۱۳۲</sup> شامل مغز، نخاع و اعصاب جانبی است. یک نورون، یک یاخته‌ی تحریک‌پذیر الکتریکی است که اطلاعات را تجزیه و تحلیل کرده و به وسیله‌ی پیام‌های الکتریکی و شیمیایی به سایر نورون‌ها منتقل می‌کند. ساختار نورون‌ها متشکل از سه قسمت اصلی است: دندریت، بدنه‌ی نورون و آکسون (شکل ۲). پیام از طریق دندریت به بدنه‌ی نورون می‌رسد و در آنجا با توجه به شرایط مختلف منجر به تولید یا عدم تولید پتانسیل عمل می‌شود. در صورت تولید پتانسیل عمل، این پیام از طریق آکسون به نورون‌های دیگر منتقل می‌شود. (۲۴ و ۲۳)



شکل ۲. یک نورون همراه با اتصال سیناپسی.

## ۲-۱-۱- آکسون

آکسون زائده‌ای باریک و معمولاً بلند است که نقش خروجی را در نورون داشته و پیام‌های عصبی را به نورون‌های بعدی هدایت می‌کند. آکسون دارای یک ساختار لوله‌ای با قطر تقریباً

است. به همین ترتیب اطلاعات شنوایی، بویایی، چشایی و لامسه نیز در قسمت‌های مربوطه در مغز تجزیه و تحلیل می‌شوند. این مراکز نورونی شامل تعداد زیادی نورون می‌باشند که با نظم خاصی با یکدیگر ارتباط دارند. (شکل ۱) واحدهای ساختاری بنیادی این مراکز نورونی، نورون‌ها هستند. دستگاه اعصاب بدن ما حدود  $10^{12}$  نورون داشته و در هر میلی‌متر مکعب از ماده‌ی مغزی حدود  $10^5$  نورون وجود دارد (۱۹). برخلاف سایر یاخته‌های بدن، مدت کوتاهی بعد از تولد، تقسیم یاخته‌ای نورون‌ها متوقف می‌شود. به همین دلیل برخی قسمت‌های مغز در دوران کودکی دارای تعداد نورون‌های بیشتری نسبت به دوران بزرگسالی است، زیرا نورون‌های مرده جایگزین نمی‌شوند. اما در عوض در تمام طول زندگی، نورون‌ها در حالت ایجاد ارتباط جدیدی با یکدیگر هستند که این نقص را جبران می‌کنند (۲۱ و ۲۰). خاصیت اصلی نورون‌ها در تحریک‌پذیر بودن آن‌ها است. به این معنی که هرگاه تحریکی به این یاخته‌های مغزی وارد شود، از خود پیام (پتانسیل عمل)<sup>۱۱۹</sup> تولید می‌کنند. بعضی از یاخته‌های دیگر بدن همانند یاخته‌های عضلانی (از جمله قلب) و غدد درون‌ریز و همچنین یاخته‌های گیاهی نیز تحریک‌پذیر هستند ولی یاخته‌های تحریک‌پذیر اصلی همان نورون‌ها هستند. (۲۲) این پتانسیل‌های عمل از طریق شاخک‌های ورودی و خروجی مخصوصی به نام دندریت<sup>۱۳۰</sup> و آکسون<sup>۱۳۱</sup> به نورون‌های دیگر

<sup>۱۳۱</sup> Axon

<sup>۱۳۲</sup> Central Nervous system

<sup>۱۱۹</sup> Action Potential

<sup>۱۳۰</sup> Dendrite

### ۲-۱-۲\_ دندريت

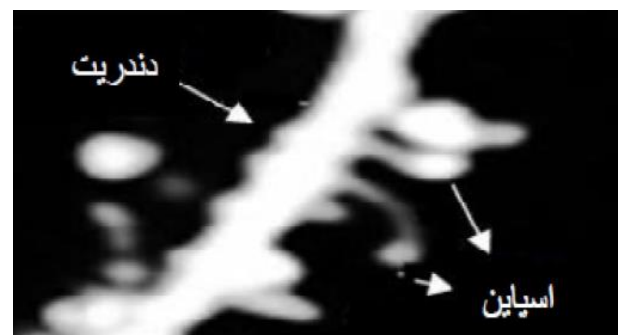
دندريت تحريك‌هاي الكتروشيميائي رسیده از ساير نورون‌ها را به بدنه‌ی نورون مورد نظر مي‌رساند. معمولاً دندريت‌ها داراي شاخه‌هاي متعددي هستند. (شکل ۲) در سرتاسر اين شاخه‌ها زائده‌هاي بسيار کوچكي به نام اسپاين<sup>۱۳۳</sup> حضور دارند که در تشکيل سيناپس با آکسون نورون قبلي شرکت مي‌کنند(شکل ۳). عملکرد دقيق فزيکي و سازوکارهاي داخلي اسپاين هنوز به طور کامل شناخته شده نيست و تحقيقات در اين زمينه در حال انجام است. خوشبختانه اسپاين‌ها به کمک میکروسکوپ‌هاي اسکن‌کننده‌ی ليزري دوفوتوني قابل مشاهده هستند (۲۷ و ۲۵).

### ۳-۱-۲\_ بدنه‌ی نورون (سوما<sup>۱۳۴</sup>)

بدنه‌ی نورون همانند ساير ياخته‌ها، داراي یک غشای دولايه‌اي فسفات چربي (فسفوليپيد) است که مایع درون ياخته‌ای را از محیط بیرون نورون جدا مي‌کند. مولکول‌هاي اين غشاء داراي یک سر قطبي هستند که در آب يا محلول‌هاي آبي (سیتوپلاسم) قابل حل هستند ولي سر ديگر آن‌ها (اسيد چرب) در چربي‌ها قابل حل هستند. در محیط آبي، اين مولکول‌ها به طور طبيعي تشکيل ساختار دولايه مي‌دهند، به طوري که سر قابل حل در چربي اين مولکول‌ها (هیدروفوبیک<sup>۱۳۵</sup>) در وسط ساندويچ شدو سر قابل حل در آب (هیدروفیلیک<sup>۱۳۶</sup>) به سمت بیرون مي‌رود (۳).

در سرتاسر اين غشاء کانال‌هاي يوني وجود دارد (شکل ۴). کانال‌هاي يوني از پروتئين‌هايي

ثابت است که طول آن از چند ميليمتر تا ۲ متر در بعضي موارد تغيير مي‌کند. آکسون‌ها به دو گروه ميلين دار و بدون ميلين تقسيم مي‌شوند. ميلين یک ماده‌ی پروتئيني و چربي فسفدار سفيدرنگي است که بعضي از آکسون‌ها را به صورت یک غلاف ناپيوسته مي‌پوشاند. همين ماده است که باعث رنگ سفيد برخي اعصاب و بعضي از نواحي مغز و نخاع مي‌شود. ميلين با ايجاد نارسانيي بيشتري بر روي سطح تارهاي عصبي باعث افزايش رسانيي پيام‌هاي عصبي در طول رشته‌هاي عصبي مي‌شود و علاوه بر آن وظيفه‌ی نگهداري از ياخته‌هاي عصبي را به عهده دارد. از نظر عملکرد، آکسون معمولاً پيام‌ها را انتقال مي‌دهد؛ در حالي‌که دندريت‌ها پيام‌ها را دريافت مي‌کنند. با اين حال استثناء هم وجود دارد. بعضي از نورون‌ها داراي آکسون نيستند و جالب اينجاست که قادرند پيام را از طريق دندريت انتقال دهند. محلي که آکسون‌ها به ياخته‌هاي بعدي متصل می‌شوند سيناپس نام دارد که در قسمت‌هاي بعدي به آن اشاره می‌کنيم(۳ و ۴).



شکل ۳. اسپاين در انتهاي دندريت‌ها.

<sup>۱۳۵</sup> Hydrophobic

<sup>۱۳۶</sup> Hydrophilic

<sup>۱۳۳</sup> Spine

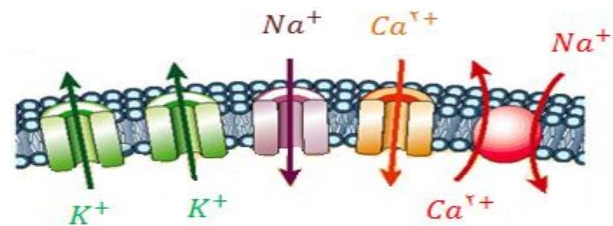
<sup>۱۳۴</sup> Soma



را از دست بدهد، یک یاخته‌ی مرده محسوب می‌شود. پتانسیل غشای نورون‌ها در مغز حیوانات حدود  $65\text{mV}$  - است (همیشه درون یاخته‌ی منفی در نظر گرفته می‌شود). به سادگی می‌توان فهمید که این اختلاف پتانسیل، تولید یک میدان الکتریکی در عرض غشای نورون می‌کند. از آن‌جا که ضخامت غشای نورون بسیار کم است (حدود  $3.5\text{nm}$ )، این اختلاف پتانسیل کوچک  $65\text{mV}$  می‌تواند گرادیان پتانسیل (میدان الکتریکی) بسیار بزرگی (حدود  $190000\text{V/cm}$ ) را ایجاد کند. اگر این گرادیان را با اندازه‌ی گرادیان پتانسیل یک خط انتقال برق فشار قوی (حدود  $200000\text{V/cm}$ ) مقایسه کنیم، به بزرگی آن پی می‌بریم. همچنین می‌توان ساختار یک خازن الکتریکی را در یک نورون دید. در آزمایش مشخص شده است ظرفیت غشای یک یاخته نوعی، حدود  $1\mu\text{F/cm}^2$  است. این ظرفیت به این معنی است که برای داشتن  $1\text{V}$  اختلاف پتانسیل بین دو طرف غشاء نیاز به وجود  $10^{-6}$  کولن بار خنثی نشده در هر طرف از غشایی به مساحت  $1\text{cm}^2$  می‌باشد (۳۱ و ۳۲ و ۳۳).

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، نورون‌ها با توجه به تخصص آن‌ها در تحلیل انواع خاصی از اطلاعات نام‌گذاری می‌شوند. نورون‌های حسی وظیفه‌ی تحلیل اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی، بویایی، چشایی و لامسه) را دارند. اخیراً نیز حس دیگری که به حس ششم معروف شده است در لیست حواس جای گرفته است. این حس که معمولاً در

تشکیل شده‌اند که درون و بیرون نورون را به هم مرتبط می‌کند. این کانال‌ها فقط به یون‌های خاصی اجازه عبور می‌دهند که به آن، نفوذپذیری غشاء نسبت به آن یون خاص گفته می‌شود و قابل محاسبه است. در غشاء نورون پمپ‌های یونی وجود دارند که با صرف انرژی ناشی از آدنوزین تری فسفات ( $\text{ATP}$ )<sup>۳۷</sup> یون‌ها را به سمت مورد نظر می‌رانند. تحقیقات تجربی و محاسباتی گسترده‌ای در حال حاضر برای کشف معادلات غیرخطی حاکم بر نحوه‌ی عملکرد این پروتئین‌ها در حال انجام است.



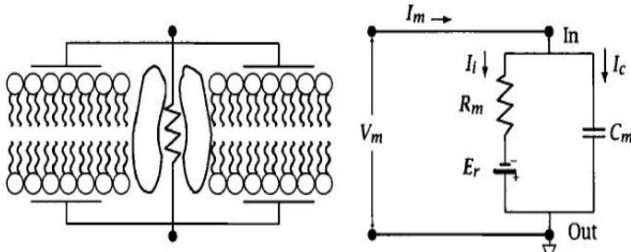
شکل ۴. کانال‌های یونی واقع در غشای نورون

سازوکار باز و بسته شدن این کانال‌های یونی، مسئول تحریک‌پذیر بودن غشاء است. کانال‌ها به پارامترهای زیادی از جمله پتانسیل غشاء بستگی دارد (۳۱ و ۲۸). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تحریک‌پذیرترین قسمت بدن‌ی نورون، قسمتی است که آکسون از آنجا خارج می‌شود<sup>۳۸</sup> (۳۲). در اثر نفوذپذیری غشاء نسبت به بعضی یون‌ها، یک اختلاف غلظت یونی بین درون و بیرون غشاء ایجاد می‌شود. این اختلاف غلظت منجر به یک اختلاف پتانسیل الکتریکی بین درون و بیرون این نورون‌ها می‌شود که به آن پتانسیل غشاء گفته می‌شود. این قطبش الکتریکی در تمام طول عمر نورون‌ها وجود خواهد داشت. نورونی که این اختلاف پتانسیل الکتریکی

<sup>۳۸</sup> Axon hillock

<sup>۳۷</sup> Adenosine triphosphate

تحقیق روز افراد بسیاری از زیست شناسی، فیزیک، ریاضی، شیمی و مهندسی است (۳۴ و ۳۵).

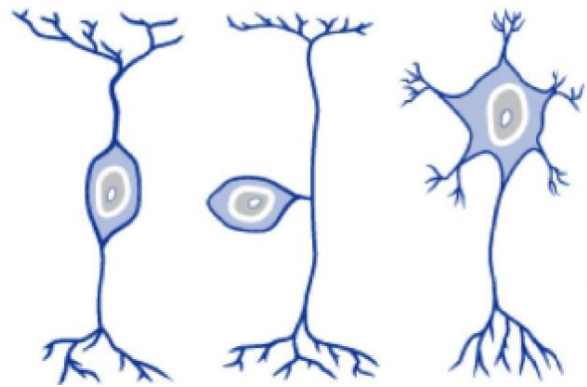


شکل ۶. مدار الکتریکی معادل غشای یک نورون .

### ۲-۱-۵. پتانسیل استراحت و پتانسیل آستانه

وقتی یک نورون در حالت استراحت بوده و هیچ تحریکی به آن وارد نشود، پتانسیل غشای آن یک مقدار ثابت است که به آن پتانسیل استراحت می‌گویند. وقتی پیامی (یک اختلال الکتریکی) به دستگاه اعصاب می‌رسد، می‌تواند سبب واقطبی‌دگی<sup>۱۳۹</sup> (مثبت تر شدن پتانسیل غشاء) و یا فراقطبی‌دگی<sup>۱۳۰</sup> (منفی تر شدن پتانسیل غشاء) شود. در صورتی که قطبی‌دگی غشاء از حد آستانه (پتانسیل آستانه) بیش‌تر شود، ناگهان غشای نورون به قطبش خود ادامه داده و تا حدود  $+100\text{mV}$  می‌رسد. سپس به‌طور خیلی سریع به پتانسیل استراحت خود برمی‌گردد (شکل ۷). به کمک این مشخصات فیزیکی، می‌توان یک شناسنامه‌ی الکتروفیزیولوژی برای هر نوع نورون تهیه کرد. به این تغییر پتانسیل ناگهانی غشای نورون، پتانسیل عمل می‌گویند که در مدت زمانی از مرتبه‌ی میلی ثانیه اتفاق می‌افتد. شکل پتانسیل عمل نورون‌ها تقریباً مشابه هم هستند، دامنه‌ی آن‌ها یکی است و طول زمانی آن‌ها تقریباً یکسان است (۳۶، ۳۵ و ۳۷). به تحریکی که منجر به صدور پتانسیل عمل (واقطبی‌دگی غشاء یا

ماهی‌های الکتریکی به عنوان حس جایگزین بینایی عمل می‌کند، حس الکتریکی نام دارد. فیزیک حس الکتریکی بسیار جالب و درخور تحقیق است (۳۴). نورون‌های حرکتی وظیفه‌ی انتقال اطلاعات از مغز به عضلات و نورون‌های بین نورونی (واسطه) وظیفه‌ی انتقال اطلاعات بین نورون‌های مختلف را به عهده دارند. (۲۴)



شکل ۵. نام گذاری نورون‌ها بر اساس وظایف آن‌هاست.

### ۲-۱-۴. مدل فیزیکی بدنه‌ی نورون

با در نظر گرفتن نورون به صورت یک خازن و همچنین با در نظر گرفتن کانال‌های یونی می‌توان مدل فیزیکی ساده‌ای برای غشای نورون در نظر گرفت. اگر  $V_{rest}$  را پتانسیل استراحت نورون،  $R$  مقاومت الکتریکی غشاء،  $C$  ظرفیت الکتریکی غشاء و  $V_m$  را پتانسیل غشاء در نظر بگیریم، می‌توانیم یک مدار معادل الکتریکی، مطابق قسمت سمت راست شکل ۶ را برای آن در نظر بگیریم. همچنین می‌توان نورون را با تزریق جریان بسیار کوچک الکتریکی  $I_{inj}$ ، در حد نانو آمپر تحریک مصنوعی کرد و با توجه به مدل ساده‌ای آن را تحلیل کرد. مدل سازی غشای نورون جهت محاسبه و پیش‌گویی پتانسیل غشای آن، موضوع

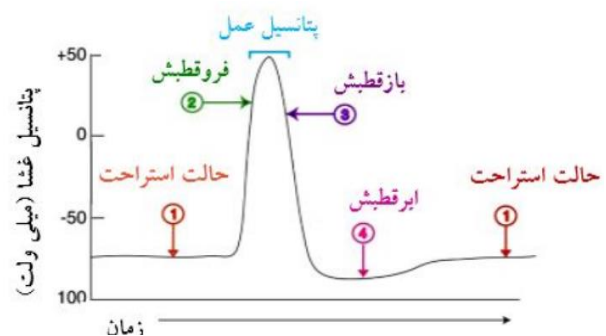
<sup>۱۳۰</sup> Hyperpolarization

<sup>۱۳۹</sup> Depolarization

## ۲-۲. قوانین فیزیکی حاکم بر نورون‌ها

با وجود تنوع فراوان در انواع نورون‌ها و شکل و عملکرد آن‌ها به نظر می‌رسد که توجیه‌های همگی این نتایج در قالب چند قانون غیرممکن باشد. ولی خوشبختانه پس از تلاش‌های فراوان مشاهده شد که با چند قانون فیزیکی نسبتاً ساده می‌توان بخش مهمی از ویژگی‌ها و عملکردهای نورون‌ها را توضیح داد. همه‌ی پیام‌های الکتریکی در دستگاه اعصاب انسان و حیوانات توسط یون‌های مجزا  $Na^+$  و  $Ca^{2+}$ ،  $K^+$ ،  $Cl^-$  حمل می‌شود. در یاخته‌های تحریک‌پذیر، حرکت این یون‌ها سبب ایجاد تغییر پتانسیل الکتریکی در عرض پلاسمای غشاء می‌شود. این تغییر پتانسیل‌ها همان علامت‌هایی هستند که پیام‌های بیولوژیکی را از یک نقطه یاخته به نقطه‌ی دیگر، یا از یک یاخته به یاخته‌ی دیگر و یا از یک قسمت بدن به قسمت دیگر بدن، حمل می‌کنند. غلظت این یون‌ها در درون و بیرون نورون‌ها یکسان نیست. به عنوان مثال غلظت یون‌های  $K^+$  درون یاخته‌های اکثر حیوانات بسیار بیشتر از غلظت آن در فضای بیرون آن‌هاست. این اختلاف غلظت، منجر به گرادیان غلظت می‌شود، که به آن پتانسیل شیمیایی گفته می‌شود. بنابر اصول ترمودینامیک، یون‌ها از ناحیه‌ای با غلظت بالا به ناحیه‌ای با غلظت پایین می‌روند که به آن پدیده‌ی پخش گفته می‌شود (۳).

افزایش پتانسیل غشاء، مثلاً از  $-60$  میلی‌ولت به  $+40$  میلی‌ولت) شود، تحریک وادارنده و اگر منجر به عدم صدور پتانسیل عمل (فراقطبیدگی یا کاهش پتانسیل غشاء مثلاً از  $-60$  میلی‌ولت به  $-85$  میلی‌ولت) شود، تحریک بازدارنده (مهارى) گفته می‌شود. شدت تحریک، تأثیری در شکل پتانسیل عمل ندارد، بلکه سبب صدور قطاری از پتانسیل‌های عمل می‌شود. برخی از نورون‌ها بدون تحریک به طور مداوم و با آهنگ خاصی از خود پتانسیل عمل صادر می‌کنند (فعالیت خودبه‌خودی) و برخی دیگر کاملاً ساکت هستند. شکل ظاهری و نوع فعالیت نورون‌ها با هم اختلاف بسیار زیادی دارند. تنوع نورون‌ها در دسته‌ی مهره‌داران به  $10000$  نوع می‌رسد. حتی بعضی از نورون‌های هم‌شکل هم می‌توانند عملکردهای مختلف داشته باشند. با تزریق رنگ‌های مخصوصی<sup>۱۳۱</sup> به درون این نورون‌ها می‌توان ساختار نورون‌ها را به وضوح مشاهده کرد. با توجه به تعداد زیاد انواع نورون‌ها و احتمال عملکرد مختلف با داشتن شکل ظاهری یکسان می‌توان تا حدودی به پیچیدگی سازوکار فعالیت نورون‌ها پی برد (۳).



شکل ۷. پتانسیل عمل



### ۲-۲-۱. قانون اول: قانون فیک<sup>۱۳۲</sup> برای پخش

اگر  $J_{diff}$  شار پخش با یکای  $\frac{molecules}{sec-cm^2}$ ،  $D$  ضریب پخش با یکای  $\frac{cm^2}{sec}$  و  $[C]$  غلظت یون با یکای  $\frac{molecules}{cm^3}$ ، مورد نظر باشد، داریم:

$$J_{diff} = -D \frac{\partial [C]}{\partial x} \quad (1)$$

علامت منفي به جريان يون‌ها از غلظت بالا به غلظت پايين دلالت دارد. اين قانون بيان می‌کند که گراديان غلظت در همه جا مستقيماً متناسب با اندازه‌ی آن گراديان با ضريب تناسب  $D$  است. از آنجا که يون‌هاي مجزا حامل بارهاي الكتريكي هستند، حرکت آن‌ها نه تنها به دليل گراديان‌هاي غلظت بلکه تحت تأثیر ميدان‌هاي الكتريكي نیز مي‌باشد. در بيشتري قسمت‌هاي بدن بار الكتريكي خالص مولكول‌هاي زيستي صفر است، که به آن اصل خنثي بودن بار- فضا مي‌گويند. يکي از جاهاي که اين اصل نقض مي‌شود در پلاسماي غشاي ياخته‌هاست. همان طور که در بالا توضيح داده شد غشاء به کمک کانال‌هاي يوني نسبت به بعضي از يون‌ها نفوذپذير و نسبت به بعضي ديگر نفوذناپذير است و لذا يک جداسازي بار اتفاق مي‌افتد. اين امر منجر به ايجاد يک ميدان الكتريكي شده و با قدرت سبب حرکت يون‌هاي باردار از ميان کانال‌ها از يک طرف غشاء به طرف ديگر آن مي‌شود (۳۸).

### ۲-۲-۲. قانون دوم: قانون اهم برای سوق

اگر حرکت يون‌ها از ميان يکي از کانال‌هاي يوني را در راستاي  $x$  (يک بعدي) در نظر بگيريم، برهمکنش بين بار الكتريكي يون‌ها و ميدان

الکتريکي موجود در عرض غشاء سبب وارد آمدن نيروي الكتريکي بر اين ذرات باردار مي‌شوند. اگر شار سوق را با  $J_{drift}$  با یکای  $\frac{molecules}{sec-cm^2}$  نشان دهيم و رسانایی ویژه غشاء  $\sigma_{el}$  و  $E$  ميدان الكتريکي  $(V/cm)$  باشد، داریم:

$$J_{drift} = \sigma_{el} E = -\mu z [C] \frac{\partial V}{\partial x} \quad (2)$$

که در آن  $V$  پتانسيل الكتريکي  $(V)$ ،  $\mu$  تحرک ذره  $z$  ظرفيت يون (بدون بعد) و  $[C]$  غلظت يون مورد نظر است. مجدداً علامت منفي به اين معنی است که ذرات با بار مثبت به سمت پايين گراديان پتانسيل الكتريکي سوق می‌يابند. اين سوق در هرجا مستقيماً متناسب با اندازه‌ی آن گراديان با ضريب تناسب  $\mu z [C]$  است. دو قانون اول مربوط به دو فرآيند پخش ذرات در اثر اختلاف غلظت (پتانسيل شيميايي) و سوق ذرات باردار در اثر اختلاف پتانسيل الكتريکي است. قانون سوم مربوط به ارتباط بين ضرايب تناسب دو فرآيند اول (ضريب پخش  $D$  و ضريب تحرک سوق  $\mu$ ) است. (۳)

### ۲-۲-۳. قانون سوم: رابطه‌ی انيشتين بين پخش و تحرک

اينشتين در سال ۱۹۰۵ پخش را به صورت يک فرآيند تصادفي توضيح داد. او نشان داد که مقاومت اصطکاکي که به وسيله‌ی محيط سيال در پديده‌ی سوق وارد مي‌شود، همانند مقاومتی است که در تعادل حرارتي براي پخش اتفاق مي‌افتد. ضريب پخش و ضريب تحرک با رابطه‌ی زير به هم مربوط مي‌شوند.

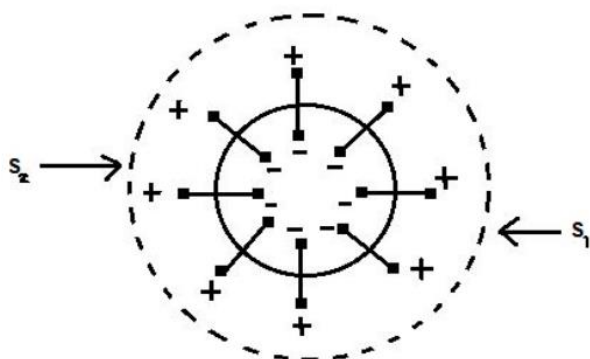
$$D = \frac{KT}{q} \mu \quad (3)$$

درون یاخته و بار مثبت در بیرون آن می‌شود. این جداشدگی بارها در حالت استراحت یاخته سبب ایجاد میدان الکتریکی به سمت درون غشاء می‌شود. جهت وضوح بیشتر این اصل، از قانون گاوس در حجم غشای نورون استفاده می‌کنیم.

مطابق شکل ۸ با تصور یک سطح گاوسی فرضی در فضای غشاء داریم:

$$\oint_{s_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{enc}}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \int_{v_1} \rho dv \quad (5)$$

که در آن  $\vec{E}$  میدان الکتریکی غشای نورون،  $s_1$  سطح بسته‌ی گاوسی،  $q_{enc}$  بار الکتریکی خالص موجود در سطح گاوسی،  $\epsilon$  گذردهی الکتریکی محیط غشاء،  $\rho$  چگالی حجمی بار در فضای غشاء و  $v_1$  حجم غشاء محصور به وسیله‌ی سطح گاوسی است. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، این میدان الکتریکی با دانستن مقدار خالص بار به سادگی قابل محاسبه است. با اعمال قانون گاوس برای سطح گاوسی  $s_2$  دیده می‌شود که هیچ میدان الکتریکی در فضای بیرون غشاء وجود ندارد.



شکل ۸. سطح گاوسی برای غشاء نورون.

به نظر می‌رسد چهار قانون فیزیکی فوق نقطه‌ی شروع خوبی برای فیزیک اعصاب محاسباتی

که در آن  $K$  ضریب بولتزمن  $1.38 \times 10^{-23} \text{ joule/K}$ ،  $T$  دمای مطلق ( $K$ ) و  $q$  بار الکتریکی مولکولی ( $c$ ) می‌باشد. این رابطه بیان می‌دارد که فرآیندهای پخش و سوق در یک محیط با هم قابل جمع شدن هستند، زیرا مقاومت‌های ناشی از هر دو فرایند از یک جنس هستند. این رابطه کار را برای توصیف ریاضی حرکت یون‌ها در دستگاه‌های زیستی بسیار ساده‌تر می‌کند (۴۰۳۹).

## ۲-۲-۴. قانون چهارم: اصل خنثی بودن بار - فضا

این قانون، اصل اساسی جدایی بارها در دستگاه‌های زیستی است. به این معنی که در یک حجم معین، کل بار آنیون‌ها با کل بار کاتیون‌ها تقریباً باهم برابر است. به عبارت دیگر:

$$\sum z_i^c e [C_i] = \sum z_j^A e [C_j] \quad (4)$$

که در آن  $z_i^c$  ظرفیت کاتیون‌های نوع  $i$ ،  $z_j^A$  ظرفیت آنیون‌های نوع  $j$ ،  $e$  بار یک یون تک‌ظرفیتی،  $[C_i]$  و  $[C_j]$  غلظت یون‌های مختلف هستند. خنثی بودن بار فضا، برای اکثر قسمت‌های بدن برقرار است، به جز در فضای اطراف غشای یاخته، که آن هم به دلیل جدایی بارها از هم می‌باشد. در عمل در اکثر موارد بیش از ۹۹ درصد بار یون‌ها به وسیله بارهای مخالف خنثی می‌شوند. جدایی بارها معمولاً به دلیل نفوذپذیری انتخابی غشاء (تعادل دنان<sup>۱۳۳</sup> یا توزیع غیرفعال یون‌ها) برای بعضی یون‌ها مانند  $K^+$  اتفاق می‌افتد. به این معنی که یون پتاسیم در راستای گرادیان غلظت ( $[K_{in}^+] > [K_{out}^+]$ ) به بیرون یاخته پخش می‌شود و منجر به بار خالص منفی

۱۴. A L Hodgkin, and A F Huxley, J. Physiol. ۱۱۶ (۱۹۵۲) ۴۷۳.
۱۵. A L Hodgkin, and A F Huxley, J. Physiol. ۱۱۶ (۱۹۵۲) ۴۹۷.
۱۶. A L Hodgkin and A F Huxley, J. Physiol. ۱۱۷ (۱۹۵۲).
۱۷. P B Graben, "Foundations of Neurophysics", Springer (۲۰۰۸).
۱۸. B Sakmann and E Neher, "Single Channel Recording", Plenum Press (۱۹۸۳).
۱۹. E Neher and B Sakmann, Nature ۲۶۰ (۱۹۷۶) ۷۷۹.
۲۰. R E Fisher, R Gray and D Johnston, J. Neurophysiol. ۶۴ (۱۹۹۰) ۹۱.
۲۱. B Katz, "Muscle and Synapse", McGraw-Hill (۱۹۶۶).
۲۲. E T Rolls, "Models of Brain Function", Cambridge University Press (۱۹۸۹).
۲۳. E T Rolls, "The Computing Neuron", Addison- Wesley (۱۹۸۹).
۲۴. H Luksch, R Khanbabaie, R Wessel, Nature Neuroscience ۷, ۴ (۲۰۰۴) ۳۸۰.
۲۵. P S Churchland and T J Sejnowski, "The Computational Brain", MIT Press (۱۹۹۲).
۲۶. O Bergmann et al., Neuron ۷۴ (۲۰۱۲) ۶۳۴.
۲۷. P Rakic, Nature Rev. Neurosci. ۳ (۲۰۰۲) ۶۵.
۲۸. D J Aidley, "The Physiology of Excitable Cells", ۳rd Edition, Cambridge University Press (۱۹۸۹).
۲۹. D L Jewett and M D Rayner, "Basic Concepts of Neuronal Function", Little, Brown and Company (۱۹۸۴).
۳۰. J G Nicholls, A R Martin and B G Wallace, "From Neuron to Brain", ۳rd Edition, Sinauer (۱۹۹۲).
۳۱. H C Tuckwell, "Introduction to Theoretical Neurobiology", Cambridge University Press (۱۹۸۸).
۳۲. T H Brown, A M Zador, Z F Mainen, and B J Claiborne, "Hebbian Computations in Hippocampal Dendrites and Spines", Academic Press (۱۹۹۲).
۳۳. C Koch, A Zador and T H Brown, Science ۲۵۶ (۱۹۹۲) ۹۷۳.
۳۴. J A Connor and C F Stevens, J. Physiol. ۲۱۳ (۱۹۷۱).
۳۵. J A Connor and C F Stevens, J. Physiol. ۲۱۳ (۱۹۷۱) ۲۱.
۳۶. A P Fox, M C Nowycky, and R W Tsien, J. Physiol. ۳۹۴ (۱۹۸۷b) ۱۷۳.
۳۷. W A Catterall, Physiol. Rev. ۷۲ (۱۹۹۲) ۵۱۵.
۳۸. D Purves, et al., "Neuroscience", ۵th Edition Sinauer Associates Inc. (۲۰۱۲).
۳۹. K S Cole, "Membranes, Ions and Impulses: A Chapter of Classical Biophysics", University of California Press (۱۹۶۸).
۴۰. R Khanbabaie, W H Nesse, A Longtin and L Maler, J. Neurophysiol. ۱۰۳ (۲۰۱۰) ۳۳۳۷.

باشند. به کمک این قوانین می‌توان معادلات مفیدی در فیزیک اعصاب، همانند معادلات نرنست - پلانک ( $NPE$ )<sup>۱۳۴</sup>، نرنست ( $NE$ )<sup>۱۳۵</sup>، گلدمن-هاجکین-کتز ( $GHK$ )<sup>۱۳۶</sup>، و معادلات تعادل دنان<sup>۱۳۷</sup> به دست آورد (۴۱ و ۴۰). از آنجا که هنوز توافق خاصی بر معادلات بنیادی فیزیک اعصاب وجود ندارد و در حال تکمیل شدن است، ما از این قوانین به عنوان معادلات فیزیک اعصاب نام می‌بریم.

این نوشته برگرفته از مقاله‌ی: مقدمه‌ای بر فیزیک اعصاب، نوشته‌ی ۱. رضا خان بابایی و ۲. مهسا تابش است.

۱. گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه اتاوا، کانادا

#### منابع

۱. H Stapp, "Physics in Neuroscience", John Benjamins Publishing Co. (۲۰۰۳).
۲. W James, "The Principles of Psychology", Wiley (۱۸۹۰).
۳. N Bohr, "On Atomic Physics and Human Knowledge", Chapman & Hall (۱۹۵۸).
۴. J M Schwartz, H P Stapp, M Beauregard, Phil. Trans. R. Soc. B ۳۶۰ (۲۰۰۵) ۱۳۰۹.
۵. S Hagen, S Hameroff, and J Tuszynski, Phys. Rev. E ۶۵ (۲۰۰۲) ۰۶۱۹۰۱.
۶. H. P Stapp, "Symposium on the Foundations of Modern Physics", World Scientific (۱۹۹۰) ۴۰۳.
۷. H P Stapp, "Mind, Matter, and Quantum Mechanics", Springer-Verlag (۲۰۰۳).
۸. J von Neumann, "Mathematical Foundations of Quantum Theory", Princeton University Press (۱۹۵۵).
۹. M Bresadola, Brain Research Bulletin ۴۶, ۵ (۱۹۹۸) ۳۶۷.
۱۰. D Johnston, S Miao-Sin Wu, "Foundations of Cellular Neurophysiology", MIT Press (۱۹۹۷).
۱۱. D J Aidley, "The Physiology of Excitable Cells", ۳rd Edition, Cambridge University Press (۱۹۸۹).
۱۲. D Noble, Physiol. Rev. ۴۶ (۱۹۶۶) ۱.
۱۳. A L Hodgkin and A F Huxley, J. Physiol. ۱۱۶ (۱۹۵۲) ۴۴۹.

<sup>۱۳۶</sup> Goldman-Hodgkin-katz

<sup>۱۳۷</sup> Donan equilibrium

<sup>۱۳۴</sup> Nernst-planck Equation

<sup>۱۳۵</sup> Nernst



## • معرفی کتاب

# آقای تامپکینز در سرزمین عجایب نوشته جرج گاموف

ریحانه طرقي، کارشناسی، دانشجوی فیزیک

دانشگاه الزهراء(س)

Reyhaneh2...physicsstudent@gmail.com

ویراستار: فاطمه سادات صوف باف



با مطالعه این کتاب بسیار جالب به همراه آقای تامپکینز، پروفیسور و سایر شخصیت ها به اکتشاف سرزمین عجایب فیزیک بروید تا به شیرینی رویا با فیزیک کوانتوم و نسبیت آشنا شوید. اگر دانشجو یا فارغ التحصیل دانشگاه الزهراء(س) هستید، می‌توانید این کتاب بسیار جذاب را از کتابخانه مرکزی دانشگاه به امانت بگیرید.

## • سرگذشت فیزیک - نوشته جرج گاموف

کتاب سرگذشت فیزیک، اثری دیگر از استاد جرج گاموف است. همانطور که در ابتدای کتاب نوشته شده، رسیدن به منبع و سرچشمه‌ی اصلی علم فیزیک همان اندازه دشوار است که رسیدن به سرچشمه‌ی بسیاری از رندهای بزرگ. بنابراین اگرچه روایت سرگذشت فیزیک، به طور دقیق و کامل بسیار دشوار است، اما در کتاب سرگذشت فیزیک می‌توانید از مراحل مختلف



دنیای فیزیک سرشار از شگفتی‌ها است. حقایق اسرار آمیز و خارق العاده‌ای که مدت‌های طولانی ذهن متفکران بزرگی را به خودشان مشغول کرده‌است. نسبیت و کوانتوم از جمله مباحث بسیار بحث برانگیز تاریخ علم بوده و هستند. در کتاب آقای تامپکینز در سرزمین عجایب، جرج گاموف فیزیکدان به صورت داستان‌هایی بسیار دلنشین به کمک شخصیت‌های اصلی داستان، آقای تامپکینز که یک کارمند معمولی بانک است با سواد اندک اما علاقه‌ای شدید به دانستن مفاهیم فیزیک و همچنین یک پروفیسور فیزیکدان با ریش سفید بلند به سبک دانشمندان کارتونی، شما را به گشت‌وگذار در سرزمین‌های عجایبی می‌برد که در هرکدام از آنها یکی از ثابت‌های فیزیکی مربوط به کوانتوم و نسبیت به طرز شگفت‌آوری به قدری زیاد شده که در زندگی عادی مردم نقش پررنگی دارد. در این سرزمین‌های شگفت‌انگیز، آقای تامپکینز تجربه‌های بسیار اعجاب‌انگیزی کسب کرده و شگفتی‌های زیادی می‌بیند و فیزیک این پدیده‌ها را به کمک پروفیسور یاد می‌گیرد. به تمامی علاقه‌مندان به فیزیک و دانشجویان فیزیک پیشنهاد می‌دهیم که

آزمایش‌ها و تئوری‌های جذاب تاثیرگذار در علم فیزیک و در تاریخ فیزیک- از یونان باستان تا عصر نوین فیزیک- مطلع شوید.

**درمورد نویسنده کتاب‌های (آقای تامپکینز در سرزمین عجایب و سرگذشت فیزیک):**

**جورج گاموف**

(برگرفته از پشت جلد کتاب سرگذشت فیزیک، ترجمه رضا اقصی)

متخصص انتشار داده‌است. نخستین اثر او در این زمینه (آقای تامپکینز در سرزمین عجایب)، سرآغاز سلسله کتاب‌های چند جلدی (آقای تامپکینز) در سال‌های ۱۹۳۹ تا ۱۹۶۷ میلادی بود. از دیگر آثار او (یک، دو، سه... بینهایت)، (آفرینش جهان)، (سیاره‌ای به نام زمین)، (ستاره‌ای به نام خورشید)، (ماده، زمین، و آسمان)، (سرگذشت فیزیک)، و (پیدایش و مرگ خورشید) می‌باشد که همگی به فارسی ترجمه شده‌است.

این کتاب را از نشانی اینترنتی زیر می‌توانید به صورت برخط مطالعه کنید:



نشانی اینترنتی دریافت کتاب



گیورگی گیمو Georg Gamow که در زبان فارسی به جورج (ژرژ) گاموف شهرت یافته‌است، در اوایل قرن ۲۰ ام میلادی متولد شد. او در زمینه‌ی کیهانشناسی، یکی از برجسته‌ترین حامیان نظریه (بیگ بنگ) یا نظریه انبساط جهان بود. علاوه براین، مطالعه‌ی او در مورد اسیددزوکسی ریبونوکلیک DNA به نظریه نوین توارث (ژنتیک) کمکی اساسی کرد.

گاموف از سال ۱۹۵۶ میلادی تا زمان مرگش مقام استادی فیزیک در دانشگاه کولورادو را حفظ کرد. شهرت وی شاید بیش‌تر به سبب نوشته‌های مردم پسندی باشد که به قصد شناساندن موضوعات دشواری چون نسبیت و کیهان‌شناسی به افراد غیر

## ● مسابقه

# جدول فیزیکی

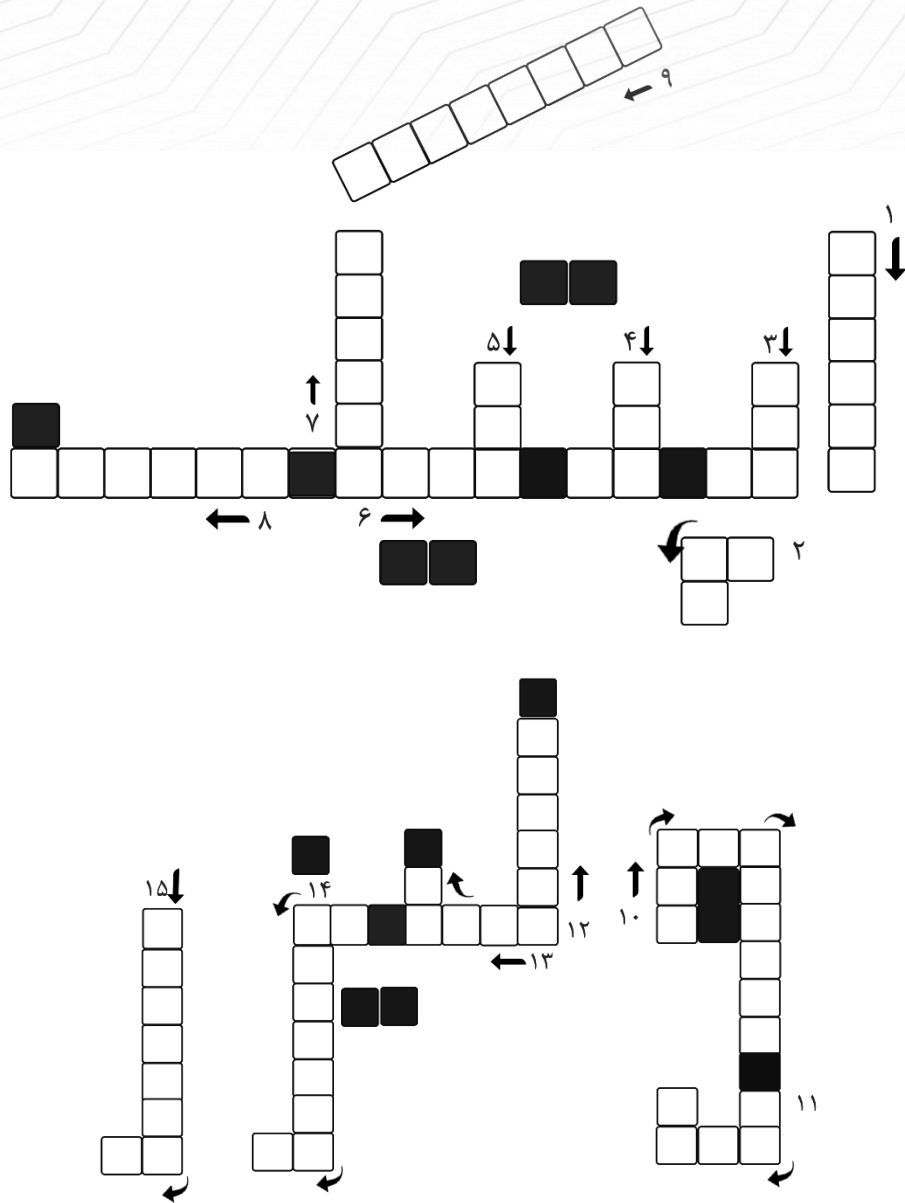
بعد از حل جدول، پاسخ خود را برای ما ارسال کنید.

Phi.journalPhysics@gmail.com

**\*هدیه: کد تخفیف ثبت نام کارگاه‌های انجمن علمی فیزیک دانشگاه الزهراء(س)**

۱. بلورهایی مانند کلسیت که در آن‌ها شکست دوگانه رخ می‌دهد، بلورهای ..... نامیده می‌شوند.
۲. در لیزر، اتم‌ها و یا مولکول‌های محیط فعال، توسط فرآیند .... به یک روش مناسب به ترازهای بالاتر برانگیخته می‌شوند و سپس در برگشت به تراز پایین نور می‌دهند.
۳. از ویژگی‌های اساسی امواج الکترومغناطیسی عرضی که در راستای میدان الکتریکی می‌باشد.
۴. معادلاتی برای ضرایب دامنه عبور و بازتاب در سطح مشترک بین دو محیط همگن شفاف.
۵. بسامد .... دو برابر بسامد مدولاسیون می‌باشد.
۶. مانند بازتاب و شکست از ویژگی‌های موج است.
۷. اگر سرعت نور در محیطی به طول موج آن بستگی داشته باشد، آن محیط خاصیت ..... دارد.
۸. بخشی از نوری که به سطح مشترک دو محیط تابیده می‌شود، ..... می‌یابد.
۹. آزمایش .....-مورلی توانست عدم وجود اتر را به اثبات رساند.
۱۰. در لیزر ..... گاز  $CO_2$  وجود دارد؛ این لیزر، در طول موج فروسرخ کار می‌کند.
۱۱. یک لیزر گازی است که از گاز ..... و نئون تشکیل شده و در طول موج قرمز کار می‌کند.
۱۲. به آرایشی مستطیلی شکل از اعداد یا عبارات ریاضی که به صورت سطر و ستون شکل یافته، گفته می‌شود.
۱۳. با استفاده از کدام قانون می‌توان وضعیت نور عبوری از دو قطبشگر را در شرایط مختلف نسبت به هم تخمین زد؟
۱۴. کدام اصل است که بیان می‌کند که هر جبهه موج از تعداد بی‌شماری نقطه تشکیل شده است و هر نقطه از این جبهه موج، خود می‌تواند منبع جدیدی برای انتشار موج یا «موجک» باشد.
۱۵. برداری که اندازه‌اش عدد موج و جهت آن راستای انتشار موج است.





تنظیم کننده: فاطمه صادات صوف باف- دانشجوی کارشناسی فیزیک دانشگاه الزهراء(س)  
f.s.soufbaf135@gmail.com

# پاسخ جدول شماره‌ی ۳۹

**جدول فیزیکی**

۱. با استفاده از کدام نظریه می‌توان اثر شناسایی (اسکرینگ) را بررسی نمود؟  
 ۲. از خاصیت‌های بنیادی ذرات زیر اتمی که کوانتومی محسوب می‌شود.  
 ۳. نقد کمیت ریو چیست؟

فشار =  $p$ ، مساحت =  $A$ ، سرعت =  $v$ ، دما برحسب کلوین =  $T$ ، ثابت استفان بولتزمن =  $\sigma$ ، انرژی =  $E$ ، شتاب =  $a$

۴. سرعت ..... یک موج، نرخ انتقال انرژی موج در فضا است.  
 ۵. جرم سکون صفر دارد.  
 ۶. یک ذره و پارتیکل را ..... می‌نامند.  
 ۷. یکی از مشخصه‌های برادر.  
 ۸. یکی از روش‌های انتقال انرژی.  
 ۹. نام یکی از خاصیت‌های فیزیک که تابع تئوری برای سرعت می‌تواند با رابطه کند.  
 ۱۰. حقیق کدام اصل هیچ دو فریمون مشاهده نمی‌توانند حالت کوانتومی یکسانی داشته باشند؟  
 ۱۱. معادله‌ای در مکانیک کوانتومی که از گسترش معادله شرودینگر برای تابع موج ذرات به دست می‌آید و نظریه نسبیت خاصی را نیز دربرمی‌گیرد.  
 ۱۲. کوچک‌ترین واحد تشکیل دهنده ماده.  
 ۱۳. سیستمی که حیل نقطه تعادل خود، حرکت رفت و برگشتی دارد.  
 ۱۴. تئوری که معکوس تابع گزینشی است.  
 ۱۵. معمولاً تابع موج را با آن نشان می‌دهند.  
 ۱۶. نور دانشمندی که نشان می‌دهد جسم سرد را در فرکانس‌های پایین (طول موج های بلند) نوسان کند.  
 ۱۷. نشان‌دهنده انرژی برای توضیح حالت جسم در مکانیک کوانتوم.  
 ۱۸. پارتیکل.  
 ۱۹. فاصله‌ی بین دو قله متوالی موج.  
 ۲۰. از واحدهای فشاری معادل ۱۱. دژی که در اعماق زمین نیروی پیوسته می‌کند.  
 ۲۱. فکتور فیزیکی و معادله‌ی اساسی فیزیک کوانتوم که معادله آن  $\psi^* \hat{H} \psi = E \psi$  است.

مدت از حل جدول، پیشنهادی را برای ما ارسال کنید.  
[Shahmorad@physics.gu.ac.ir](mailto:Shahmorad@physics.gu.ac.ir)  
 \* خبره که فعالیت کرده بار کازرسی انجمن علمی فیزیک دانشگاه الزهراء (س)

۱۸۷  
 ۱۹  
 ۱۷  
 ۱۰۷  
 ۱۱  
 ۱۲  
 ۱۳  
 ۱۴  
 ۱۵  
 ۱۶  
 ۲۰  
 ۲۱  
 ۲۷  
 ۲۶  
 ۹۷  
 ۶  
 ۵  
 ۴  
 ۷  
 ۸

ب  
و  
ل  
ت  
ز  
م  
ن  
ا  
س  
پ  
ی  
ن  
ی  
ر  
و  
ت  
ه  
ج  
و  
ن  
ش  
ب  
ا  
ت

ط  
و  
ل  
ی  
و  
ف  
ر  
م  
ی  
و  
ن  
ا  
م  
ن  
و  
ک  
ر  
ا  
ر  
ی  
د  
س  
س  
ا  
ن  
گ  
ر  
ی  
ل  
ی  
ک  
ت  
ط  
ر  
ت  
م  
ر  
ی  
ک  
ا  
ر  
ی  
د  
س  
س  
ا  
ن  
گ  
ر  
ی  
ل  
ی  
ک  
ا  
ر  
ی  
د  
س  
س  
ا  
ن  
گ  
ر  
ی  
ل  
ی  
ک

# پاسخ چالش فیزیکی شماره ۳۹

تنظیم کننده: نرگس رستمی دانشجوی کارشناسی فیزیک ورودی ۹۹ دانشگاه الزهراء(س)

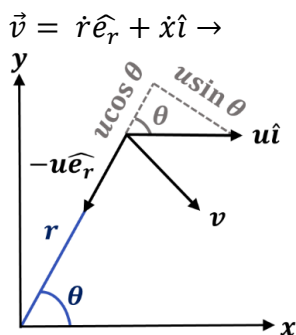
در مختصات قطبی:

$$\vec{v} = \dot{r}\hat{e}_r + r\dot{\theta}\hat{e}_\theta$$

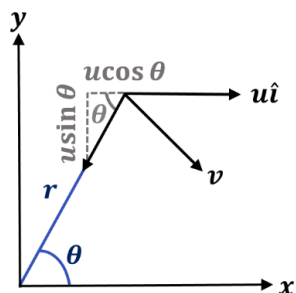
در مختصات دکارتی:

$$\vec{v} = \dot{x}\hat{i} + \dot{y}\hat{j}$$

طبق رابطه‌ی (۱) سرعت شناگر در دو جهت  $\hat{e}_r$  و  $\hat{i}$  وجود دارد، بنابراین باید دو مؤلفه‌ی  $\dot{r}\hat{e}_r$  و  $\dot{x}\hat{i}$  را به دست آوریم:



$$\dot{r} = -u + u \cos \theta \quad (2)$$



$$\dot{x} = -u \cos \theta + u \quad (3)$$

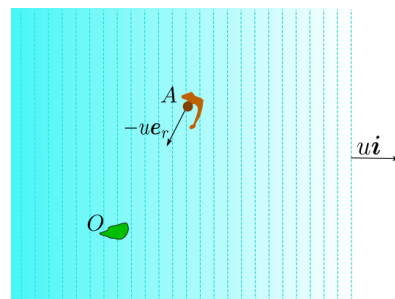
حاصل جمع رابطه‌های (۲) و (۳) برابر صفر است، بنابراین  $r$  و  $x$  اعداد ثابت هستند:

$$\dot{r} + \dot{x} = 0 \rightarrow r_0 + x_0 = L \quad (4)$$

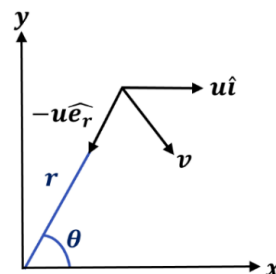
رابطه‌ی (۴) را در مختصات قطبی بازنویسی می‌کنیم و با حل آن مقدار  $r$  که مسیر شناگر را نشان می‌دهد، به دست می‌آوریم:

$$L = r + r \cos \theta \rightarrow r = \frac{L}{1 + \cos \theta} \quad (5)$$

شناگری، می‌خواهد با شناکردن از نقطه‌ی  $A$ ، روی دریاچه‌ای به نقطه‌ی ثابت  $O$  برود. سرعت شناکردن او در آب ساکن  $u$  و جهت شناکردن او همواره به سمت نقطه‌ی  $O$  است. اگر آب دریاچه ساکن بود، او در خطی راست به سمت  $O$  می‌رفت؛ اما آب دریاچه ساکن نیست؛ موج‌هایی وجود دارند که باعث می‌شوند، آب سطح دریاچه با سرعت  $u$  در یک جهت ثابت حرکت کند. ممکن است شناگر به طور غریزی، سعی کند که به سمت نقطه‌ی  $O$  شنا کند. در این صورت مسیر او چه خواهد بود؟ آیا او به آن نقطه می‌رسد؟



سرعت شناگر دو مؤلفه دارد: یکی سرعت شناگر در راستای نقطه‌ی  $O$  (مبدأ مختصات) و دیگری سرعت موج آب در جهت  $\hat{i}$  که شناگر را به آن سمت می‌برد.

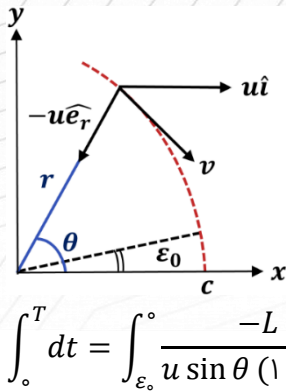


$$\vec{v} = -u\hat{e}_r + u\hat{i} \quad (1)$$

که در آن  $-u\hat{e}_r$  سرعت شناگر در جهت  $\hat{e}_r$  در مختصات قطبی و  $u\hat{i}$  سرعت موج آب در جهت  $\hat{i}$  در مختصات دکارتی است. باید مقدار سرعت را در این دو راستا به دست آوریم.

سرعت را در دو راستای مختلف تجزیه می‌کنیم:





$$\int_0^T dt = \int_{\epsilon_0}^0 \frac{-L d\theta}{u \sin \theta (1 + \cos \theta)}$$

می‌دانیم برای زاویه‌ی  $\theta \ll 1$  روابط زیر برقراراند:

$$\theta \ll 1 \rightarrow \sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1$$

$$T \approx \int_{\epsilon_0}^0 \frac{-L d\theta}{2u\theta}$$

$$T \approx = \frac{-L}{2u} \ln(\theta)|_{\epsilon_0}^0 = \infty \quad (11)$$

مقدار  $\ln(0) = \infty$  است، بنابراین پاسخ انتگرال  $\infty$  است. زمان رسیدن از  $\theta = \epsilon_0$  تا  $\theta = 0$  بی‌نهایت است. انتگرال (۱۰) را برای بازه‌ی کوچکی از  $\theta$  محاسبه کردیم (معادله‌ی (۱۱)). اگر به ازای  $\theta$  های کوچک پاسخ انتگرال  $\infty$  هست، بنابراین پاسخ انتگرال (۱۰) که بزرگتر از انتگرال (۱۱) است، نیز  $\infty$  است و شناگر هرگز به محور  $x$  نمی‌رسد.

راه دوم:

با استفاده از رابطه‌ی (۸) برای  $\theta$  های کوچک داریم:

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{-u}{L} 2\theta \rightarrow \theta = e^{\frac{-2u}{L}T}$$

که به ازای  $T = \infty$  مقدار  $\theta$  برابر صفر می‌شود:

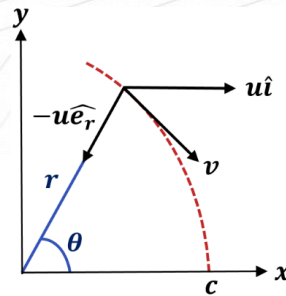
$$t = \infty \rightarrow \theta = 0$$

برای یادگیری بهتر با توضیحات جناب آقای دکتر آقامحمدی می‌توانید به نشانی زیر مراجعه نمایید:

<https://www.youtube.com/@amiraghamohammadi>

<https://staff.alzahra.ac.ir/aghahammadi>

که رابطه‌ی (۵) معادله‌ی یک سهمی است. بنابراین شناگر در یک مسیر سهمی حرکت می‌کند و محور  $x$  را در نقطه‌ی  $c$  قطع می‌کند:



حالا زمانی که طول می‌کشد تا شناگر به نقطه‌ی  $c$  برسد را محاسبه می‌کنیم:

ابتدا از رابطه‌ی (۵) مشتق می‌گیریم:

$$\dot{r} = \frac{L\dot{\theta} \sin \theta}{(1 + \cos \theta)^2} \quad (6)$$

همچنین از رابطه‌ی (۲) داریم:

$$\dot{r} = -u + u \cos \theta$$

$$\dot{r} = -u (1 - \cos \theta) \quad (7)$$

رابطه‌های (۶) و (۷) را برابر قرار می‌دهیم و مقدار  $\theta$  را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} &= \frac{-u (1 - \cos \theta)(1 + \cos \theta)^2}{L \sin \theta} \\ &= \frac{-u}{L} \sin \theta (1 + \cos \theta) \end{aligned} \quad (8)$$

در نهایت، از معادله‌ی (۸) مقدار  $dt$  را محاسبه می‌کنیم:

$$dt = \frac{-L d\theta}{u \sin \theta (1 + \cos \theta)} \quad (9)$$

برای به دست آوردن  $T$  (زمان رسیدن شناگر به نقطه‌ی  $c$ ) از معادله‌ی (۹) انتگرال می‌گیریم:

$$\int_0^T dt = \int_{\theta_0}^0 \frac{-L d\theta}{u \sin \theta (1 + \cos \theta)} \quad (10)$$

حل انتگرال (۱۰) دشوار است. بخش کوچکی از انتگرال را برای زاویه‌ی کوچک  $\theta = \epsilon_0$  تا  $\theta = 0$  محاسبه می‌کنیم:



## فراخوان دعوت به همکاری!

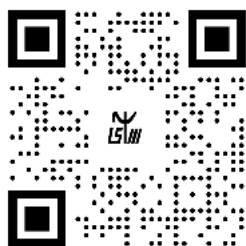
اگه اهل تحقیق و پژوهشی، اگه مترجمی بلدی و یا هر فعالیت دیگه‌ای در زمینه‌ی فیزیک داری، جات تو نشریه‌ی ما خالیه.

بیا و خودت بگو چه فعالیتی دوست داری داشته‌باشی؟! منتظرت هستیم...

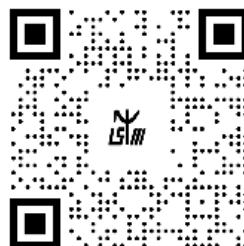
## مژده

یک فرصت استثنایی برای دانشجویان فیزیک دانشگاه الزهرا(س) تجربه‌ی کار پژوهشی و آزمایشگاهی زیر نظر دکتر فتح‌اللهی عضو هیئت علمی دانشگاه الزهرا(س)

- برای کسب اطلاعات بیشتر با ما در ارتباط باشید:



تلگرام: @Phi\_Journal



ایتا: @Phi\_Journal

رایانامه: Phi.JournalPhysics@gmail.com



---

Journal Of Alzahra Physics Society

No.40 April 2023