



چرا واکنش‌های هسته‌ای؟



در سرن چه می‌گذرد؟
صفحه ۳۴



اولین تصویر از سیاهچاله
صفحه ۳۲



مصاحبه با دکتر
محمدحسن وحیدی‌نیا
صفحه ۳۴

دنا

نشریه تخصصی فیزیک

Solar cell defect mystery solved after decades of global effort

A team of scientists at the University of Manchester has solved a key flaw in solar panels after 40 years of research around the world.

Solar panels are among the most available system of generating energy through renewable sources due to their relative cost and consumer availability. However, the majority of solar cells only achieve 20 percent efficiency—for every kW of equivalent sunlight, about 200W of electrical power can be generated.

Now an international team of researchers have resolved a key fundamental issue of material defect which limits and degrades solar cell efficiency. The problem has been known about and studied for over 40 years, with over 270 research papers attributed to the issue with no solution.

The new research shows the first observation of a previously unknown material defect which limits silicon solar cell efficiency.

Prof Tony Peaker, who co-ordinated the research now published in the Journal of Applied Physics said: "Because of the environmental and financial impact, solar panel 'efficiency degradation' has been the topic of much scientific and engineering interest in the last four decades. However, despite some of the best minds in the business working on it, the problem has steadfastly resisted resolution until now."

"During the first hours of operation, after installation, a solar panel's efficiency drops from 20 percent to about 18 percent. An absolute drop of 2 percent in efficiency may not seem like a big deal, but when you consider that these solar panels are now responsible for delivering a large and exponentially growing fraction of the world's total energy needs, it's a significant loss of electricity generating capacity."

The energy cost of this shortfall across the world's installed solar capacity measures in the 10's of gigawatts, this is equivalent to more energy than is produced by the UK's combined total of 15 nuclear power plants. The solar shortfall has to be therefore met by other less sustainable energy sources such as burning fossil fuels.

The multi-disciplinary experimental and theoretical approach employed by the researchers identified the mechanism responsible for Light Induced Degradation (LID). Combining a specialized electrical and optical technique, known as "deep-level transient spectroscopy" (DLTS), the team have uncovered the existence of a material defect which initially lies dormant within the silicon used to manufacture the cells.

The electronic charge within the bulk of the silicon solar cell is transformed under sunlight, part of its energy generating process. The team found that this transformation involves a highly effective "trap" that prevents the flow of photo-generated charge carriers (electrons).

Dr. Iain Crowe said: "This flow of electrons is what determines the size of the electrical current that a solar cell can deliver to a circuit, anything that impedes it effectively reduces the solar cell efficiency and amount of electrical power that can be generated for a given level of sunlight. We've proved the defect exists, it's now an engineering fix that is needed."

The industry standard technique used to determine the quality of the silicon material measures the lifetime of charge carriers, which is longer in high quality material with fewer "traps." The researchers in Manchester led by Prof Matthew Halsall found that their observations were strongly correlated with this charge carrier lifetime, which was reduced significantly after transformation of the defect under illumination. They also noted that the effect was reversible, the lifetime increased again when the material was heated in the dark, a process commonly used to remove the "traps."

The paper, "Identification of the mechanism responsible for the boron oxygen light induced degradation in silicon photovoltaic cells," is published in the Journal of Applied Physics.

More information: Michelle Vaqueiro-Contreras et al. Identification of the mechanism responsible for the boron oxygen light induced degradation in silicon photovoltaic cells, Journal of Applied Physics (2019).

DOI:10.1063/1.5091759

Journal information: [Journal of Applied Physics](#)



صاحب امتیاز: ملیکا کرمی مجرد

مدیرمسئول: احمد مجاهد

سردبیر: فاطمه هاشمی‌فر

مدیر اجرایی: پوریا بختیاری

مسئولین گروه علمی:

دکتر امیرحسین احمدخان کردبچه

دکتر محمد واحدی

دبیره‌یئت تحریریه: تینا سیدجمالی

هیئت تحریریه:

ملیکا کرمی مجرد

فاطمه هاشمی‌فر

پگاه سرتیپی‌زاده

تینا سیدجمالی

فائزه صابری

احمد مجاهد

ریحانه نبی‌زاده

فاطمه فاتح‌پاک

ریحانه حمیدی‌مجلج

همکاران این شماره:

زینب طاهری

مشاوران علمی این شماره:

دکتر روح‌الله عبدالوهاب

دکتر مهدی شایگان‌منش

ویراستار ادبی:

تینا سیدجمالی

فاطمه هاشمی‌فر

صفحه آرا و گرافیکست: امید اکبری

نشریه دلتا آماده ی انتشار مقالات و نظرات

محققان و دانشجویان محترم می باشد.

• نقل مطالب نشریه دلتا با ذکر منبع

بلامانع است.

• با ما در ارتباط باشید:

delta.mag@outlook.com

www.deltamagazine.blog.ir

الف سخن سردبیر

1 خمش پروتئین

8 تاثیر لیزر بر بافت‌های انسانی

16 واکنش‌های هسته‌ای

24 در سرن چه می‌گذرد؟

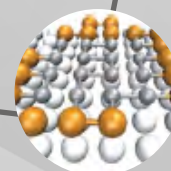
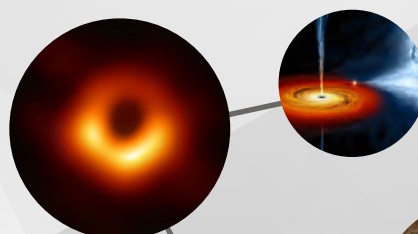
29 سیاه‌چاله چیست؟

32 اولین تصویر از سیاه‌چاله

34 مصاحبه با دکتر محمدحسن وحیدی‌نیا

44 موشک

47 فیزیک در سینما



سخن سردبیر

هر که در جست‌وجوی دانش باشد، بهشت در جست‌وجوی او برآید.
پیامبراکرم (ص)

زمانی که ساختار ساده‌ی اتم را در کتاب علوم سوم راهنمایی دیدم، عاشق شدم. بدون توجه به مسائل مالی فیزیک را انتخاب کردم. علم را برای علم دوست داشتم. مهر ۹۴ در اولین کلاس دانشگاه، فیزیک پایه‌ی ۱، وقتی استاد عزیزم از فیزیک گفت اطمینان حاصل کردم انتخابم درست بوده‌است. سال اول با درس‌های پایه گذشت، اما از ترم سه، فیزیک زیبایی‌اش را نشان داد. تک تک درس‌هایی که گذراندم به معنای واقعی کلمه جذاب بودند و البته برخی هم جذاب‌تر! روزها با خواندن فیزیک عاشق‌تر می‌شدم و شب‌ها با فکر به افزایش سن، که ناگزیر درگیرش بودم و به طبع آن نیاز به پیدا کردن استقلال مالی و... از عشقش فارغ می‌شدم. یک سال به شناخت مشاغل مختلف و بررسی تغییر رشته گذشت. اما باز هم این فیزیک بود که پیروز شد. این بار نه فقط با احساس و علاقه‌ی قلبی صرف، بلکه با شناخت دقیق

و منطقی از ویژگی و توانایی‌های فردی. حتی اتفاقات ناامید کننده هم به مرور زمان تلخی خود را از دست می‌دهند و به شیرینی‌های زندگی افزوده می‌شوند. اکنون که به گذشته نگاه می‌کنم، شکست‌ها و اشتباهاتم نیز به تجربیات ارزشمندی برایم بدل شده‌اند و از بودن در جایی که هستم خوشحالم. امسال از مقطع کارشناسی فارغ‌التحصیل می‌شوم و این آخرین همکاری من با مجله علمی دلتا به عنوان سردبیر است. اگر بخواهم به یکی از بهترین فعالیت‌هایم در دوران کارشناسی اشاره کنم قطعاً همکاری با این گروه دوست داشتنی، از جمله‌ی آن‌هاست. از آقای سعید باقری صاحب امتیاز قبلی مجله و خانوم ملیکا کرمی صاحب امتیاز فعلی بابت اعتمادی که در این دو سال و اندی به من داشته‌اند کمال تشکر را دارم. همچنین از همکاری بی‌دریغ تمامی اساتید محترم دانشکده با مجله و به خصوص بنده بسیار سپاس‌گزارم. امیدوارم دانشجویان، اساتید محترم و فرزند محبوبم دلتا، همواره در مسیر تعالی گام بردارند و شنونده‌ی خبر موفقیت‌های روز افزونشان باشم.

Protein folding

فاطمه هاشمی فر

کارشناسی فیزیک

hashemifar.f@gmail.com

بررسی خمش پروتئین با استفاده از شبیه‌سازی مدل HP در دو بعد و حضور سطح جاذب

چکیده

برقراری پیوند بایکدیگر دارند (دلیل انرژی‌تیک). به اثرات این دو نیرو در کنار هم آب‌گریزی گفته می‌شود. آب‌گریزی از جمله خصوصیات فیزیکی سطحی یک ماده است. مولکول‌های آب‌گریز غیرقطبی هستند و به همین خاطر تمایل به دیگر مولکول‌ها و حلال‌های غیرقطبی دارند. مثال‌هایی از مولکول آب‌گریز شامل نفت، آلکن‌ها، روغن و چربی می‌شوند.

برهم‌کنش پروتئین با محیط

پروتئین از واحد کوچکی به نام اسید آمینه ساخته شده‌است. هر اسید آمینه در زنجیره پروتئین می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاصی داشته‌باشد؛ مثلاً آب‌دوست (هیدروفیل) یا آب‌گریز (هیدروفوب) یا باردار باشد. اسیدهای آمینه به خاطر این ویژگی‌ها با یکدیگر و با محیط سلول برهم‌کنش می‌کنند و سرانجام ساختار سه‌بعدی ویژه‌ای را که همان ساختار اصلی پروتئین است به خود می‌گیرند. پروتئین‌ها در اثر تا خوردگی شکل فضایی را ایجاد می‌کنند که دارای کم‌ترین انرژی است.

زنجیره‌های جانبی متصل به اسیدهای آمینه می‌توانند قطبی یا غیر قطبی باشند. وقتی پروتئین در آب قرار می‌گیرد زنجیره‌های جانبی آب‌گریز تمایل دارند

در اثر تا خوردن، پروتئین‌ها شکل نهایی پیدا می‌کنند که یکتا و دارای کمینه انرژی است. تمامی اطلاعات لازم برای تا خوردن پروتئین در توالی اسیدهای آمینه نهفته‌است؛ زیرا این توالی منحصربه‌فرد، محل قرارگیری زنجیره‌ی جانبی را تعیین کرده و شکل نهایی پروتئین را با توجه به ویژگی‌های محیطی تعیین می‌کند. در این‌جا ما به بررسی و شبیه‌سازی دو بعدی گذار فاز زنجیره‌ای از اسیدهای آمینه با استفاده از الگوریتم وانگ‌ولاندو در حضور یک سطح جاذب قوی، که هر دو قسمت قطبی و غیرقطبی پروتئین را جذب می‌کند، می‌پردازیم.

مقدمه

اگر یک قطره روغن را در آب بیاندازیم و شروع به هم زدن بکنیم، حتی اگر این کار را تا زمان طولانی ادامه دهیم، آب و روغن به‌علت پدیده‌ی آب‌گریزی با یکدیگر ترکیب نمی‌شوند. مولکول‌های روغن به دلیل نیروی فقدان به سمت یگدیگر هل داده می‌شوند و فضای کمی‌تری اشغال می‌کنند تا مولکول‌های آب آزادی عمل بیش‌تری داشته باشند (دلیل آنتروپیک). هم‌چنین پیوند میان مولکول‌های آب قوی‌تر از پیوند با روغن است و بنابراین مولکول‌های آب تمایل بیش‌تری به

پروتئین‌ها مسئول انجام اعمال گوناگونی هستند. نقش آن‌ها از تشکیل ماده انقباضی عضلات گرفته تا ساختن بعضی از هورمون‌ها، آنزیم‌ها و آنتی‌کورها، تبدیل انرژی شیمیایی به کار و انتقال اکسیژن و هیدروژن متنوع می‌باشد.

خمش پروتئین

خمش پروتئین یکی از مرزهای بزرگ علوم قرن بیست و یکم است و روش‌های فیزیک‌آماری در بررسی این سیستم‌ها حاکم است. پروتئین‌ها طولانی هستند، پلیمرهای خطی آمینواسید با پیوندهای پپتیدی^۱ در امتداد ستون فقرات متصلند و تعاملات نسبتاً پیچیده‌شان منجر به ایجاد سطحی با افت و خیزهای فراوان می‌شود. در دمای بالا پروتئین‌ها منبسط می‌شوند، اما در زیر دمای مشخصی آن‌ها به «حالت بومی» انرژی آزاد کم، تا می‌شوند.

پروتئین‌ها به اندازه‌ای پیچیده هستند که تلاش برای مطالعه عددی آن‌ها به ساده‌سازی مسئله با یک مقیاس

قابل کنترل که هنوز ویژگی‌های اساسی

پروتئین را حفظ می‌کند وابسته است.

مرحله‌ای بعدی پیچیدگی زمانی وارد

می‌شود که یک سطح معرفی

می‌گردد و قسمت‌هایی از

پروتئین به وسیله این

سطح جذب یا دفع

می‌شود. با افزوده شدن

سطح فرآیند تا شدن

ابتدا پیچیده‌تر می‌شود

اما زمانی که سطح

بی‌نهایت جاذب است

پروتئین کاملاً بروی آن قرار

می‌گیرد و مسئله‌ای مورد

بررسی دو بعدی می‌شود.

مدل پروتئین شبکه‌ای HP

بیش از بیست سال پیش توسط

به صورت یک مجموعه در درون مولکول پروتئین قرار بگیرند تا حداقل تماس با مولکول‌های قطبی آب را داشته باشند. از طرف دیگر زنجیره‌های جانبی، که قطبی هستند تمایل دارند که روی سطح مولکول پروتئین قرار بگیرند و با مولکول‌های آب یا سایر مولکول‌ها پیوند ایجاد کنند. بنابراین خاصیت آب‌گریزی زنجیره‌های جانبی در تعیین شکل پروتئین نقش اساسی دارد.

پروتئین

پروتئین‌ها از چه چیزی تشکیل شده‌اند؟

غالباً اسیدهای آمینه را به عنوان «بخش‌های اساسی سازنده پروتئین» توصیف می‌کنند، چرا که با گرد هم آمدن این واحدهای کوچک به شکل‌های مختلف، پروتئین به وجود می‌آید. می‌توان اسیدهای آمینه را مانند حروف الفبا تصور کرد. ما برای ساختن لغاتی که می‌نویسیم و صحبت می‌کنیم، تنها از ۳۲ حرف استفاده می‌کنیم. بعضی از لغات کوتاه و بعضی بلندند، اما ما با همین ۳۲ حرف میلیون‌ها کلمه می‌سازیم. مرحله‌ی آخر ترکیب حروف، لغاتی هستند که هر کدام صداها و

معنای خاص خود را دارند.

به همین ترتیب؛ ۲۰ نوع اسید آمینه

وجود دارد که با قرار گرفتن در کنار

هم، پروتئین‌ها را می‌سازند،

یکی همان پروتئین‌هایی که

شما می‌خورید، و دیگری

همان‌هایی که توسط

بدن‌تان ساخته می‌شوند.

همان‌طور که برای

ساختن یک کلمه از

همه‌ی ۳۲ حرف استفاده

نمی‌کنیم، بیش‌تر

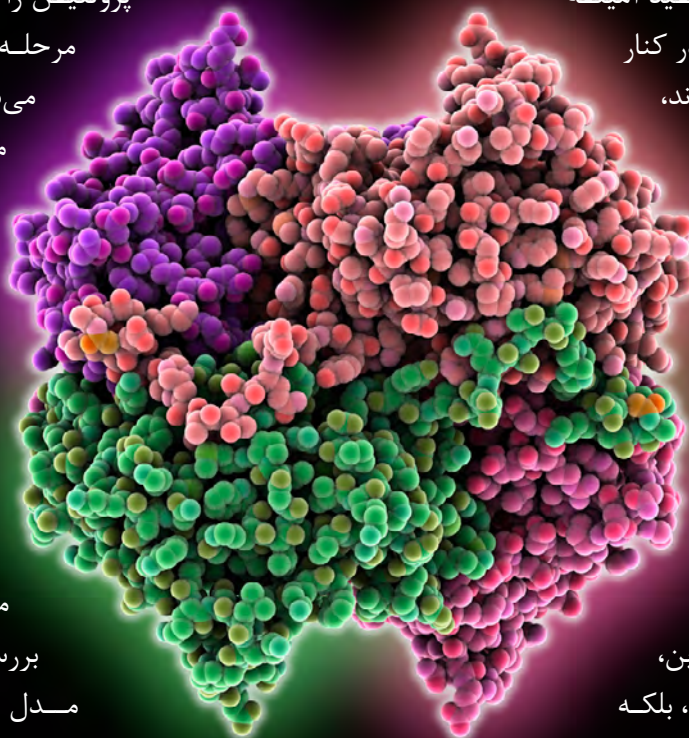
پروتئین‌ها هم شامل تمام

۲۰ نوع اسید آمینه نیستند.

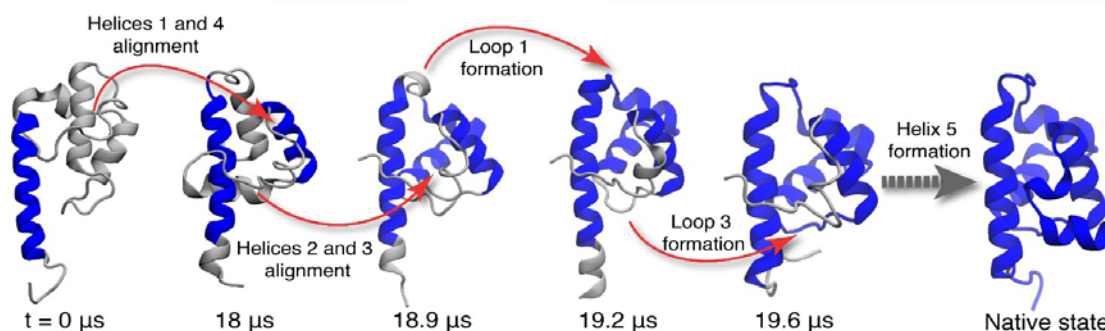
در ساختمان آن‌ها نه تنها کربن،

هیدروژن و اکسیژن وجود دارد، بلکه

ازت و گاهی گوگرد نیز موجود می‌باشد.



۱. «Peptide» صرفاً واژه‌ای است که برای پروتئین‌های کوتاه استفاده می‌شود.



شکل (۱): نمایی کلی از خمش پروتئین، در هر زمان قسمت‌های فولد شده با رنگ آبی مشخص شده‌اند.

اسیدهای آمینه با یکدیگر و با محیط اطرافشان از طریق پیوندهای غیرکوالانسی: پیوند یونی، پیوند هیدروژنی و نیروی والندروالس تعامل دارند. در یک محیط آبی، اسیدهای آمینه هیدروفوب برای به حداقل رساندن اختلال با شبکه‌های هیدروژن پیوندی آب مجبورند که با یکدیگر گروه تشکیل دهند. به این ترتیب باقی‌مانده‌ی هیدروفوب‌ها به یکدیگر می‌چسبد و پیوندهای هیدروفوبی را ایجاد می‌کنند که منشا آن نیروی دافعه با مولکول‌های آب است. چنین تعامل هیدروفوبی مهم‌ترین عامل کنترل ساختار پروتئین است.

مدل شبکه‌ی هیدروفوبیک - قطبی (HP) برای در نظر گرفتن اثر آب‌گریزی در خمش پروتئین پیشنهاد شده‌است. در این مدل پروتئین به عنوان یک زنجیره‌ی خودپرهیز بر روی یک شبکه‌ی صلب نشان داده شده‌است. اسیدهای آمینه به دو نوع تقسیم می‌شوند: هیدروفوب (H) و قطبی (P). یک برهم‌کنش جاذب ϵ تنها بین همسایه‌ی غیرپیوندی باقی‌مانده‌ی H عمل می‌کند (یعنی $\epsilon_{HH} = 1$, $\epsilon_{HP} = 0$, $\epsilon_{PP} = 0$). توالی‌های مختلف مونومرهای H و P برای تطابق پروتئین‌های مختلف استفاده می‌شود و چندین توالی که به عنوان معیار تلقی می‌شوند به‌وسیله روش‌های گوناگون با موفقیت‌های متفاوت مورد مطالعه‌ی گسترده قرار گرفته‌اند. اگر یک سطح اضافه شود، اتصال اضافی بین مونومرها و سطح نیز باید در نظر گرفته شود. در مورد یک سطح هیدروفوبیک، اگر H در مجاورت سطح باشد یک انرژی اضافه‌ی ϵ_{HS} نیز به‌دست می‌آید.

زیست‌شیمی‌دان‌ها معرفی شد. به‌رغم سادگی آن، این مدل برای مطالعه بسیار دشوار است، به‌ویژه آن‌که تلاش می‌کند تا به حالت‌بومی تبدیل شود. این نشان می‌دهد که جست‌وجوی حالت پایه برای یک زنجیره‌ی HP مشکل بزرگی است. شبکه‌ی پروتئینی که بررسی می‌کنیم در ابعاد نانو قرار دارد، از این رو در خط واصل بین زیست‌شناسی و علوم نانوسطح قرار دارد.

مدل HP

در پروتئین‌ها، عموماً ۲۰ اسیدآمینه یافت می‌شوند و به عنوان پایه «بلوک‌های ساختمانی» به‌کار گرفته می‌شوند. هر اسیدآمینه حاوی یک گروه آمین ($-NH_2$) و یک گروه کربوکسیلیک‌اسید ($-COOH$) است که هر دو به همان اتم کربن α متصل هستند. اسیدهای آمینه، به‌وسیله‌ی یک پیوند پپتیدی بین گروه آمینی یکی از اسیدهای آمینه و گروه کربوکسیل اسیدآمینه‌ی دیگر، باهم پیوند کوالانسی برقرار می‌کنند. این شکل‌گیری خطی، ستون فقرات پروتئین را تشکیل می‌دهد. تنها تفاوتی که اسیدهای آمینه را متمایز می‌کند زنجیره‌ی جانبی است که به کربن α اتصال دارد. زنجیره‌های جانبی می‌توانند اسیدی، اصلی، بدون بار و یا غیرقطبی باشند. سه نوع اول اساساً هیدروفیل (آب‌دوست)^۲ هستند و غیرقطبی از نوع هیدروفوب (آب‌گریز)^۳ است. از این رو اسیدهای آمینه بر اساس نوع زنجیره‌های جانبی طبقه‌بندی می‌شوند.

2. hydrophilic

3. hydrophobic

روش‌های عددی

تلاش‌های پیشین نشان داده‌است که اطلاع از چشم‌انداز انرژی آزاد و ترمودینامیک سیستم پروتئین برای فهم کامل فرآیند تاشدگی ضروری است و بنابراین روش‌های مونت کارلو ابزار موردنیاز برای این هدف است. پیکربندی یک پلیمر ممکن است با استفاده از مدل مرسوم متروپلیس مطالعه شود اما پیچیدگی حاصل از سطح انرژی آزاد در دمای پایین، این روش را به شدت ناکارآمد می‌کند. برای حل مشکل، دو رویکرد وجود دارد. روش اول فقط جست‌وجو برای پیکربندی حالت پایه با کم‌ترین انرژی است، مانند: مونت کارلو با کمینه‌سازی، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه. به جز روش‌های مونت کارلو، جست‌وجوی پیکربندی حالت پایه برای زنجیره‌ی HP می‌تواند به وسیله‌ی روش‌های خاصی مثل ساخت هسته‌ی آگریز نیز انجام شود.

رویکرد دیگر اجازه می‌دهد تا یک چگالی حالت را به عنوان یک تابع انرژی، $g(E)$ ، که از آن ویژگی‌های ترمودینامیکی سیستم به دست می‌آید، برآورد کنیم، مانند: رشد زنجیره‌ای چندکانونی و نمونه‌برداری وانگولاندو. مدل HP یک گام اولیه در راستای مشکل خمش پروتئین واقعی است، بنابراین برای بررسی کارایی الگوریتم‌ها، همه‌ی آن‌ها را در یک حالت پایه تست می‌کند.

نمونه‌برداری وانگولاندو، یک الگوریتم مونت کارلو بسیار انعطاف پذیر، کارآمد و قوی برای تعیین $g(E)$ سیستم‌های بسیار متفاوت فیزیکی است. به جای استفاده از ضریب بولتزمن برای تعیین این که حرکت آزمایشی پذیرفته شده‌است، همان‌طور که در نمونه‌برداری متروپلیس انجام می‌شود، نمونه‌گیری وانگولاندو از $g(E)$ استفاده می‌کند و در جریان شبیه‌سازی آن را به صورت مداوم بهبود می‌بخشد. این شیوه باعث می‌شود نمونه‌برداری وانگولاندو در مقایسه با سایر روش‌های شبیه‌سازی در هنگام مواجهه با سیستم‌های دارای افت و خیز بسیار، سودمند باشد. تغییرات چشم‌گیر در احتمال‌های کانونی، شبیه‌سازی چنین سیستمی را برای روش‌های مرسوم متروپلیس بسیار

چالش برانگیز می‌کند، اما نمونه‌گیری وانگولاندو قادر است آن را تنها با یک شبیه‌سازی بدون مشکل به دست آورد. بنابراین نمونه‌برداری وانگولاندو روشی موثر برای بررسی مسئله‌ی خمش پروتئین، با انرژی آزاد پر افت و خیز است. برای نمونه‌برداری وانگولاندو با توالی HP، حرکت‌های آزمایشی مرسوم در حالت فروپاشی ناکافی است، بنابراین مجموعه‌های جدیدی از حرکات آزمایشی بسیار کارآمد معرفی شده‌است. در این رویکرد نمونه‌برداری وانگولاندو همراه با نوع جدید حرکت آزمایشی برای تعیین $g(E)$ تمام طیف انرژی در یک اجرا قابل انجام است و علاوه بر پیدا کردن حالت پایه، می‌توان خواص ترمودینامیکی را به صورت تابعی از درجه حرارت تعیین کرد.

هامیلتونی این مدل به صورت زیر بیان می‌شود:

$$H = -\epsilon_{HH}n_{HH} - \epsilon_S n_S \quad (1)$$

که n_{HH} تعداد جفت پیوندهای H-H و n_S تعداد مونومرهای مجاور با سطح است.

دقت تخمین $g(E)$ به وسیله‌ی ضریب اصلاح نهایی (f_{final}) و معیار مسطح بودن (p) کنترل می‌شود. در حالی که مطالعات وانگولاندو بر روی سایر سیستم‌های پلیمری، کافی بودن $\ln(f_{final}) = 10^{-6}$ را گزارش داده‌اند اما برای تخمین $g(E)$ در سرتاسر محدوده‌ی انرژی (شامل کم‌ترین انرژی‌ها)، $\ln(f_{final}) \leq 10^{-7}$ مورد نیاز است. بنابراین ما از پارامترهای بسیار دقیقی برای شبیه‌سازی استفاده کردیم: $\ln(f_{final}) \leq 10^{-8}$ و $p=0.7$.

شبیه‌سازی

تابع پارش و چگالی حالت

احتمال این که یک سیستم در تعادل با یک حمام گرمایی در دمای T دارای انرژی E باشد به صورت زیر بیان می‌شود:

$$p(E, \beta) = g(E) e^{\frac{-\beta E}{z}} \quad (2)$$

که Z تابع پارش و $g(E)$ تعداد حالات (چگالی حالت‌ها) با انرژی E است. اگر $g(E)$ مشخص باشد، ما می‌توانیم

الگوریتم

۱- در ابتدا احتمال همه‌ی انرژی‌ها را برابر انتخاب می‌کنیم و $g(E)$ را برای تمام انرژی‌ها، یک قرار می‌دهیم.

۲- به‌صورت تصادفی یک پروتئین ساخته می‌شود. انرژی سیستم قبل (E_1) و بعد (E_2) از ایجاد پروتئین را محاسبه می‌کنیم و تغییر را با احتمال زیر می‌پذیریم:

$$p(E_1 \rightarrow E_2) = \min\left(\frac{g(E_1)}{g(E_2)}, 1\right) \quad (5)$$

این معادله به این معناست که اگر $g(E_2) \leq g(E_1)$ باشد، حالت با انرژی E_2 همیشه پذیرفته می‌شود؛ در غیر این صورت با احتمال $\frac{g(E_1)}{g(E_2)}$ پذیرفته می‌شود یعنی اگر یک عدد تصادفی $r \leq \frac{g(E_1)}{g(E_2)}$ باشد، انرژی E_2 پذیرفته می‌شود.

۳- پس از مرحله‌ی ۲، انرژی سیستم E است (اگر تغییر پذیرفته شود $E=E_2$ و اگر پذیرفته نشود $E=E_1$ است).

۴- در صورت پذیرفته شدن انرژی E_2 در مرحله‌ی ۲، مقدار فعلی $g(E)$ را در ضریب اصلاح ($f > 1$) ضرب می‌کنیم.

$$g(E) = f g(E) \quad (6)$$

ما همچنین ورودی موجود برای $H(E)$ را در هیستوگرام به روز رسانی می‌کنیم.

$$H(E) = H(E) + 1 \quad (7)$$

به دلیل بزرگ بودن مقدار $g(E)$ ، در محاسبات از $\ln(g(E))$ استفاده می‌کنیم. بنابراین در ابتدا نیز $g(E)$ را برای تمام انرژی‌ها صفر قرار می‌دهیم. به این ترتیب برای بهبود $g(E)$ به جای رابطه‌ی (۵-۵) از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$\ln(g(E)) = \ln(g(E)) + \ln(f) \quad (8)$$

و نسبت چگالی حالت‌ها نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\exp[\ln(g(E_1)) - \ln(g(E_2))] \quad (9)$$

۵- ایجاد پروتئین جدید و گذراندن مراحل ۲، ۳ و ۴ برای هر پروتئین ساخته شده را تا زمانی که هیستوگرام تخت^۴ $H(E)$ به‌دست آید (تا زمانی که همه‌ی مقادیر

میانگین انرژی و سایر مقادیر ترمودینامیکی را در هر دمایی از رابطه‌ی زیر محاسبه کنیم:

$$\langle E \rangle = \frac{1}{Z} \sum E g(E) e^{\beta E} \quad (3)$$

و گرمای ویژه را می‌توان به صورت زیر به‌دست آورد:

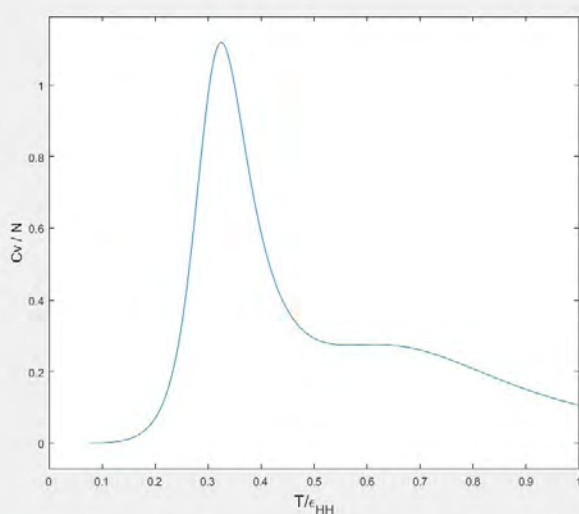
$$C_v = \frac{1}{kT^2} (\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2) \quad (4)$$

از این رو مقادیر $g(E)$ بسیار مورد توجه است. در ادامه به معرفی الگوریتم‌های معرفی شده برای به‌دست آوردن $g(E)$ می‌پردازیم.

در الگوریتم آیزینگ، انرژی گسسته است. ما تلاش کردیم تا $g(E)$ را به‌وسیله‌ی یک ولگشت به‌دست آوریم. هیستوگرام انرژی ($H(E)$)، تعداد بازدها برای هر انرژی (E) ممکن سیستم، در صورت بازدید از تمام پیکربندی‌های ممکن به $g(E)$ همگرا می‌شود. بزرگ‌ترین مشکل یک ولگشت برای تعیین $g(E)$ این است که دفعات بازدید ولگشت از برخی انرژی‌ها بیش‌تر است و نمی‌تواند به مقادیر انرژی که احتمال کمی دارد برسد. ایده‌ی الگوریتم وانگولاندوا این است که $g(E)$ در روند ولگشت تغییر کند. به این ترتیب مقادیر انرژی که اغلب با استفاده از یک ولگشت ساده‌ی تصادفی بازدید می‌شوند، کم‌تر مشاهده می‌شوند؛ چون چگالی حالت، $g(E)$ ، بیش‌تری دارند. تنها یک مشکل وجود دارد، چگالی حالت در ابتدای نمونه‌برداری مشخص نیست. الگوریتم وانگولاندوا در همان زمانی که ولگشت انجام می‌شود چگالی حالت‌ها را تخمین می‌زند.

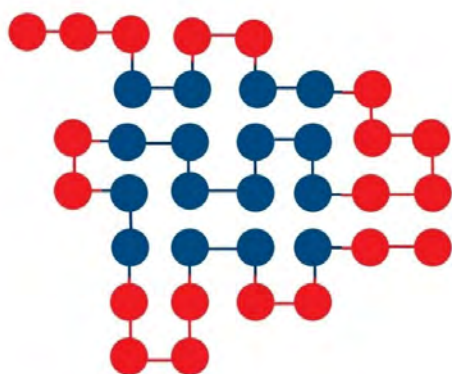
دو روش برای شبیه‌سازی پروتئین وجود دارد. در روش اول یک پروتئین ساخته می‌شود و با حرکات مختلف به انرژی‌های متفاوت می‌رود. در روش دوم در هر مرحله یک پروتئین به صورت تصادفی ساخته می‌شود و انرژی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس از بین می‌رود و پروتئین بعدی ساخته و بررسی می‌شود. ما شبیه‌سازی پروتئین را با استفاده از نمونه‌برداری وانگولاندوا و روش دوم ساخت پروتئین انجام دادیم.

از این نمودار به دست می‌آید. در دمای بالای 55°C ماهیت پروتئین تغییر می‌کند اما در دمای کم‌تر از 20°C نیز این اتفاق رخ می‌دهد (در حدود دمای پایین). دما پارامتر مهمی است و بر آنتروپی تاثیر می‌گذارد، با کاهش دما آنتروپی نیز کم می‌شود. به همین ترتیب آب‌گریزی نیز کاهش می‌یابد؛ زیرا آب‌گریزی پروتئین غالباً آنتروپیک است. در این جا ما از زنجیره‌ی پروتئینی که در منبع (۱) موجود است برای شبیه سازی استفاده کردیم. نمودار به دست آمده در شکل (۱) با شبیه‌سازی‌های انجام شده در منبع (۱) مطابقت دارد.



شکل (۲): نمودار گرمای ویژه بر حسب دما، یک زنجیره با ۳۶ مونومر در مجاورت یک سطح جاذب قوی

$$(\epsilon_{HH} = 1, \epsilon_s = 1)$$



شکل (۳): چینش مونومرها در $E = -50$ (کم‌ترین انرژی شناسایی شده برای این زنجیره)، مونومرهای آب‌گریز با رنگ آبی و آب‌دوست با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند.

$$(n_{HH} = 14, n_s = 36)$$

ممکن انرژی با تعداد دفعات تقریباً برابر مشاهده شوند) ادامه می‌دهیم.

البته این غیرممکن است که یک هیستوگرام کاملاً صاف به دست آوریم و می‌گوییم هیستوگرام زمانی تخت است که $H(E)$ برای تمام انرژی‌های ممکن کم‌تر از معیار سطح بودن (p) میانگین هیستوگرام $\langle H \rangle$ نباشد. P بر اساس اندازه و پیچیدگی سیستم و دقت مطلوب چگالی حالت‌ها انتخاب شده است. در سیستم‌های کوچک p حتی می‌تواند 0.95 باشد اما هرچه سیستم بزرگ‌تر می‌شود مقدار p کم‌تر می‌شود. ما از معیار سطح بودن 0.7 برای این شبیه‌سازی استفاده کردیم. ۶- زمانی که هیستوگرام تخت شد، ضریب اصلاح f را با یک تابع مانند $f_1 = (f_0)^{1/2}$ کاهش می‌دهیم، برای تمام مقادیر انرژی $H(E) = 0$ قرار می‌دهیم و مرحله‌ی بعدی را که در آن چگالی حالت‌ها با ضریب f_1 تصحیح می‌شوند، شروع می‌کنیم. چگالی حالت‌ها در طول شبیه‌سازی بازنشانی نمی‌شوند. ما ایجاد پروتئین را ادامه می‌دهیم تا دوباره هیستوگرام $H(E)$ تخت شود. ۷- یک انتخاب معقول ضریب اصلاح اولیه $f = f_0 = e = 2.71828$... است. زیرا اگر f_0 خیلی کوچک باشد شبیه‌سازی به زمان زیادی برای رسیدن به تمام انرژی‌های ممکن نیاز دارد و اگر f_0 بیش از حد انتخاب شود، منجر به خطاهای آماری بزرگی می‌شود.

۸- ضریب اصلاح را کاهش دادیم $(f_{i+1} = (f_i)^{1/2})$ ، هیستوگرام را برای تمام مقادیر انرژی به $H(E) = 0$ بازنشانی کردیم، ساخت پروتئین را ادامه دادیم و زمانی که f کوچک‌تر از یک مقدار از پیش تعریف شده ($f_{\text{final}} = e^{10^{-8}}$) شد، شبیه‌سازی را متوقف کردیم. f به عنوان یک پارامتر کنترل برای دقت چگالی حالت‌ها طی شبیه‌سازی عمل می‌کند و همچنین مشخص می‌کند که چندگام مونت کارلو برای هر شبیه‌سازی لازم است.

نتایج و تحلیل داده‌ها

نمودار CV بر حسب T یکی از مهم‌ترین نمودارهای مکانیک آماری است، زیرا می‌توان از طریق آن به ویژگی‌های سیستم مورد بررسی پی برد. در خمش پروتئین نیز رفتار گذار فاز و تغییرات شکل پروتئین

یکی از مباحث جالب در تا خوردن پروتئین، مسئله زمان تا خوردن است. مدت زمان لازم برای این فرایند در درون سلول از مرتبه ثانیه است. نخستین بار لوینتال با محاسبه پارامتر سرعت واکنش از رابطه آرنیوس مدت زمان لازم برای تا خوردن پروتئین را محاسبه کرد. وی این زمان را با در نظر گرفتن تمامی مسیرهای ممکن انرژی انجام داد و جوابی که به دست آورد یک عدد نجومی بود. لوینتال نتیجه گرفت که در فرایند تا خوردن پروتئین، همه مسیرهای ممکن انرژی طی نمی شوند و مسیر ویژه ای برای تا خوردن وجود دارد.

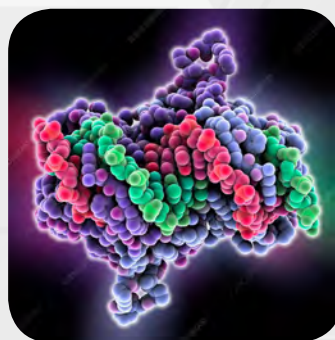
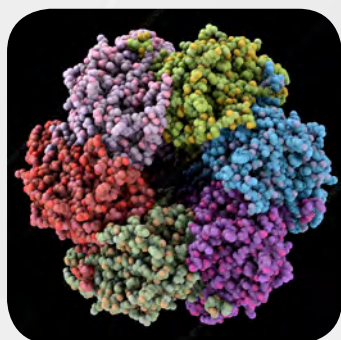
جمع بندی

تعیین ساختار سه بعدی پروتئین به طور تجربی بسیار دشوار است ولی ترتیب زنجیره هر پروتئین معمولاً دانسته است. پژوهشگران می کوشند با استفاده از شبیه سازی های کامپیوتری نمودار گرمای ویژه بر حسب دما را از روی دنباله اسیدهای آمینه پیش بینی کنند تا به ویژگی های پروتئین دست پیدا کنند. در این جا شبیه سازی دنباله ای از اسیدهای آمینه در دو بعد انجام شده بود.

با تشکر و قدرانی از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر روح الله عبدالوهاب، به خاطر راهنمایی و همراهی مفید و موثر ایشان در طول انجام پروژه، برای دریافت فایل کامل این پروژه کارشناسی به استاد مربوطه مراجعه نمایید یا با ایمیل hashemifar.f@gmail.com در ارتباط باشید.

مراجع

- 1- Ying Wai Li , Thomas Wüstb, David P. Landau a, Computer Physics Communications 182 (2011) 1896–1899.
- 2- F. Wang, D.P. Landau, Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2050.
- 3- Y.W. Li, T. Wuest, D.P. Landau, Nanophenomena at Surfaces, in: M. Michailov (Ed.), Springer Series in Surface Sciences, vol. 47, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, Chapter 7, doi:10.1007/978-3-642-16510-8_7, in press.
- 4- A. R. Lima, P. M. C. de Oliveira, and T. J. P. Penna, J. Stat. Phys. 99, 691 (2000).
- 5- fa.wikipedia.org
- ۶- مجیدی نژاد، آزاده، شبیه سازی لایه های نازک نانومتری با ضخامت های متغیر و بهینه سازی آن ها به روش محاسباتی مونت کارلو، ۱۳۹۰، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، گروه فیزیک
- ۷- رحمانی زاده، کوروش، بررسی مدل پاتس با ضرایب جفت شدگی کتره ای و آزمون برای شکست تقارن رپلیکا
- ۸- دانش نامه ی رشد

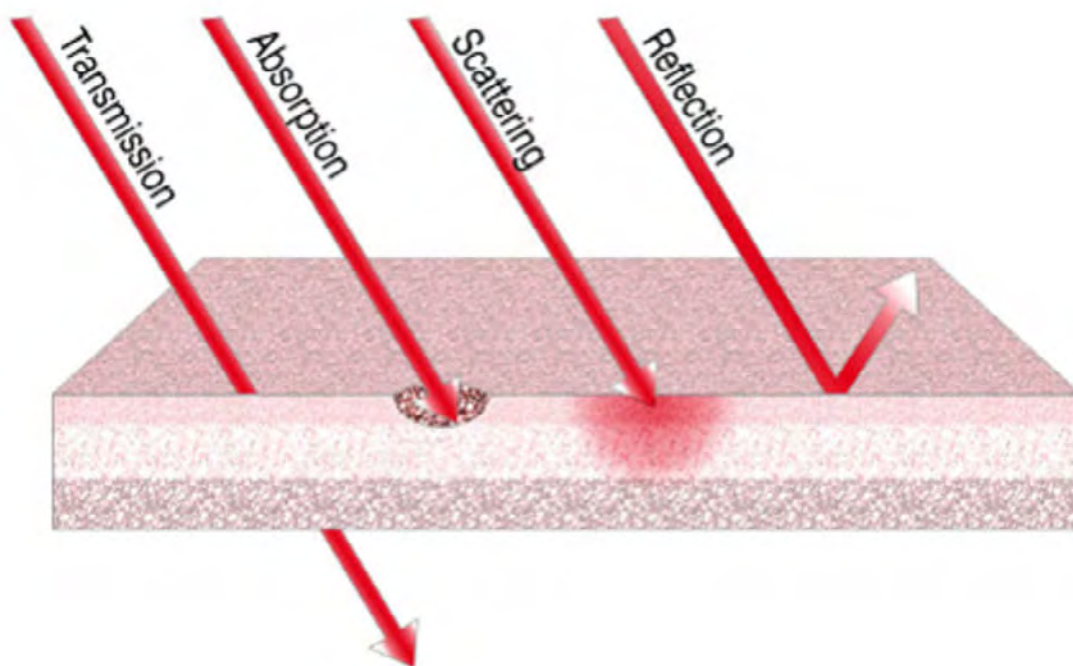


تاثیر لیزر بر بافت های انسانی

ملیکا کرمی مجرد

کارشناسی ارشد ماده چگال

melikakarami73@gmail.com



به ایجاد و انتقال ایمپالس عصبی می شود و در نهایت حس بینایی به وجود می آید. بشر از مدت ها قبل، از نوردرمانی یا فتوتراپی در درمان بیماری ها نیز بهره جسته است مانند: درمان بیماری های پوستی نظیر ویتیلیگو^۱، آلوپسی (ریزش مو) و... پاسخ بیولوژیک

۱. پیسی یا ویتیلیگو یک اختلال در تولید رنگدانه است.

تمام موجودات زنده برای ادامه حیات نیاز به غذا، هوا و نور دارند و این تنها شامل گیاهان و موجودات فتوسنتز کننده نمی باشد بلکه شامل تمام حیوانات می شود. واکنش نور با بافت حیوانی واکنش ناشناخته ای نیست، از این دسته می توان واکنش فوتون های نوری با مولکول ردوپسین را در شبکیه چشم نام برد که منجر

لیزر درمانی چیست

به کارگیری لیزرهای کم‌توان و یا توان متوسط در درمان بیماری‌ها و اختلالات سیستم عضلانی، اسکلتی مفصلی و عصبی اخیراً بسیار مورد توجه محافل علمی دنیا قرار گرفته و کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. لیزر تراپی با لیزرهای کم‌توان به نام‌های مختلف از قبیل:

- LPLT (Low Power Laser Therapy)
- LILT (Low Intensity Laser Therapy)
- LLLI (Low Level Laser Irradiation)
- MPLT (Mid Power Laser Therapy)

شناخته می‌شود.

البته لیزرهای با توان کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌وات و گاهی تا ۱۰۰۰ میلی‌وات را کم‌توان و ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌وات را با توان متوسط در نظر می‌گیرند. با این وجود با توجه به دانسیته توان و انرژی مورد استفاده در لیزرهای با توان متوسط، حتی گاهی لیزرهای پرتوان را هم در محدوده لیزر تراپی کم‌توان به حساب می‌آورند. لیزر کم‌توان معمولاً نه ایجاد گرمای زیاد می‌کند نه ایجاد زخم و یا التهاب.

مطالعات نشان داده‌اند که چندین نوع فعالیت در اثر استفاده از لیزر با قدرت پایین تشدید می‌شود، از جمله آن‌ها ساختن پروتئین و آنزیم‌های سازنده DNA و تشدید متابولیسم میتوکندری می‌باشد.

ترمیم سلول‌ها بعد از تخریب، ترمیم و رشد آکسون عصب تخریب شده (مثلاً از طریق جوانه زدن) و پاسخ‌های ایمنولوژیکی^۳ نیز با این روش بهتر می‌شوند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاهش درد و تشدید سرعت ترمیم زخم و افزایش سرعت بازسازی عصب‌ها نیز از جمله اثرات دیگر لیزر می‌باشند.

لیزر درمانی کم‌توان

لیزر درمانی کم‌توان به این ترتیب تعریف شده است:

روش درمانی که در آن تابش نور با شدت پایین در محدوده نور ۸۳۰-۵۴۰ نانومتر استفاده می‌گردد. به نظر

۳. ایمنی‌شناسی یا ایمنولوژی یکی از شاخه‌های زیست‌پزشکی است که به بررسی انواع واکنش ایمنی جانداران در برابر آنتیژن‌های بیگانه و روند ایجاد مصونیت در برابر عوامل بیماری‌زا می‌پردازد.

بافت حیوانی به نور سال‌ها قبل از ساخت اولین لیزر توسط دکتر الکساندر گورویچ در سال ۱۹۲۳ کشف شد، او متوجه واکنش پذیری و تأثیر سلول‌ها از یکدیگر توسط بیوفوتون‌های ساطع شده از هسته و بیوپلاسم سلولی گردید. این بیوفوتون‌ها روند رشد در سلول را تحریک می‌کنند، وی این پدیده را "القای نوری حیات" نام نهاد.

دکتر مستر (جراح) از اولین کسانی بود که از لیزر برای جراحی استفاده کرد و همراه با کاربرد جراحی آن متوجه اثرات دیگر لیزر یعنی اثرات فتوبیوپنداکشن^۲ آن شد و در سال ۱۹۶۴ اصطلاح لیزر کم‌توان را برای اولین بار به کاربرد (اثراتی مانند: ترمیم سریع زخم، بی‌دردی، سرعت در بهبود حال عمومی و بازگشت کارکرد ارگان‌های بدن به وضعیت طبیعی بعد از جراحی)، امروزه لیزرها به‌طور گسترده‌ای در زیست‌شناسی و پزشکی کاربرد دارند و بیش‌تر مراکز درمانی و بیمارستان‌ها از سیستم‌های لیزری مدرن برای تشخیص و درمان بیماری‌ها استفاده می‌کنند. محققان به کاربردهای پزشکی مختلفی برای استفاده از لیزرهای گوناگون در جراحی و دیگر روش‌های درمانی دست یافته‌اند.

لیزرهای پزشکی را می‌توان در دو بخش دسته‌بندی کرد: تشخیصی و درمانی، که تفاوت اساسی میان آن دو در نوع برهم‌کنش لیزر با بافت می‌باشد.

در تشخیص، پزشک سعی می‌کند با روش‌های مختلف بدون رسوخ و آسیب یا تأثیر واضحی به بافت بیولوژیک، رفتار آن را بررسی کند. اما در درمان (مانند جراحی)، جراح از لیزر به‌عنوان چاقو و یا برای اثر کردن بر نواحی خاص و مهم استفاده می‌کند.

بنابراین روش‌های لیزر پزشکی به‌وسیله دانش انواع برهم‌کنش بین نور لیزر و بافت بیولوژیک قابل تشخیص است؛ این دانش می‌تواند به پزشکان و جراحان در انتخاب سیستم‌های لیزری بهینه و اصلاح کردن نوع درمان آن‌ها یاری رساند. از این جهت در این‌جا مکانیسم برهم‌کنش لیزر و بافت را به‌طور اجمالی بیان می‌کنیم.

2. Photobioinduction

لیزر درمانی و سرطان

امروزه یکی از شایع‌ترین مصارف پزشکی لیزر، درمان سرطان است. دو روش برای درمان سرطان توسط لیزر وجود دارد:

- ۱- کوچک کردن یا از بین بردن تومور با گرما
- ۲- فعال کردن یک ماده شیمیایی که تنها سلول‌های سرطانی را می‌کشد (که به آن درمان فوتودینامیک می‌گویند).

لیزر درمانی با استفاده از نور با شدت بالا موجب درمان سرطان و بیماری‌های دیگر می‌شود.

لیزر اغلب در درمان سرطان‌ها مانند سرطان پوست و مراحل اولیه برخی از سرطان‌ها از جمله گردن و ریه مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین ممکن است برای تسکین برخی از علائم سرطان مانند خون‌ریزی یا انسداد مورد استفاده قرار گیرد؛ برای مثال از لیزر به منظور کوچک سازی و یا از بین بردن توموری که منجر به مسدود کردن نای یا مری شده است استفاده می‌کنند.

لیزر درمانی می‌تواند به تنهایی در درمان سرطان استفاده شود، اما اغلب آن را در ترکیب با درمان‌های دیگر مانند جراحی، شیمی درمانی و یا پرتو درمانی استفاده می‌کنند. علاوه بر این لیزر می‌تواند به منظور کاهش درد پس از عمل جراحی، کاهش تورم و محدود کردن گسترش سلول‌های تومور استفاده گردد. امروزه سه نوع لیزر به طور معمول در درمان سرطان کاربرد دارد :

1- CO2 2- Ar 3- Nd:Yag

برهم‌کنش پرتو لیزر و بافت

آثار این برهم‌کنش به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- رفتارهایی که نور در اثر برخورد به ماده از خود نشان می‌دهد.

۲- رفتارهایی که ماده در برابر نور از خود نشان می‌دهد. مجموعه این دو اثر، برهم‌کنش پرتو لیزر و بافت را تشکیل می‌دهد.

در اثر برخورد نور لیزر با بافت شاهد چهار پدیده خواهیم بود: بازتابش - شکست - جذب - پراکندگی.

می‌رسد اثرات درمانی این روش توسط واکنش‌های فتوشیمیایی که باعث تغییر نفوذپذیری غشا سلولی و به دنبال آن افزایش ساخته شدن ⁴MRNA و تقسیم سلولی می‌شود، حاصل گردد. علت این اثرات، مثل لیزر جراحی به دلیل حرارت نمی‌باشد. لیزر درمانی کم توان در پزشکی، دندانپزشکی و دامپزشکی در موارد بیماری‌های مختلف و به طور عمده در مورد درمان زخم و کنترل درد به کار می‌رود.

به‌طور مثال با گذشت بیش از ۴۰ سال از ورود لیزر در علم دندانپزشکی امروزه به‌کارگیری این فناوری بیش از پیش مورد توجه دندانپزشکان قرار گرفته است. در آمریکا، دکتر دولین مکاریتی^۵ یکی از اولین محققانی است که لیزر را به‌طور آزمایشی مورد استفاده قرار داده است. نظر وی چنین است: "با لیزر می‌توان حفره‌های ناسالم بافت لثه را تا جایی تمیز کرد که بدن خودش بتواند آن را بهبود دهد. همچنین می‌توان دندان‌ها را با ضد عفونی کردن عمیق به طوری که مسواک نیز نمی‌تواند به آن قسمت‌ها برسد در مقابل کرم‌خوردگی‌های آتی مقاوم کرد." از سال ۱۹۷۰ لیزر گاز کربنیک به‌عنوان وسیله‌ای موثر در برداشت ضایعات مخاطی دهان استفاده می‌شود؛ در دندانپزشکی از لیزر نور مرئی به عنوان باریکه راهنما استفاده می‌کنند و با باریکه لیزری نامرئی کار را انجام می‌دهند.

لیزرها از طریق امواج متمرکز نور بر روی بافت‌های بیولوژیک اثر می‌گذارند. اصل مهم در شناخت کاربردهای لیزر آن است که بدانیم هر نوع لیزر، دارای طول موج خاصی است که در بافت‌های خاصی جذب می‌شوند و با ایجاد تغییراتی در داخل و یا خارج سلول‌ها اثرگذاری بالینی خود را نمایان می‌سازد.

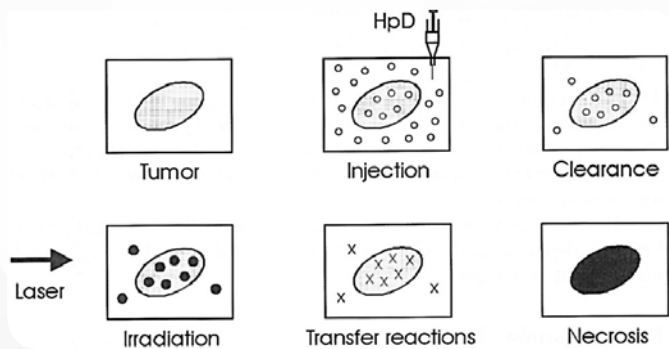
انواع لیزرهای پزشکی کم‌توان :

He-Ne (633nm)	In-Ga-Al-P (633-635 nm)
Ga-Al-As (780-830 nm)	Ga-As (904 nm)

۴. آران‌ای پیام‌رسان (MRNA) یک گروه مهم از RNA هستند که یک برنامه ژنتیکی را برای تولید یک محصول پروتئینی، رمز می‌کند. MRNA، از یک الگوی DNA رونویسی می‌شود و اطلاعات کدینگ را به مکان‌های سنتز پروتئین یعنی ریبوزوم‌ها، حمل می‌کند.

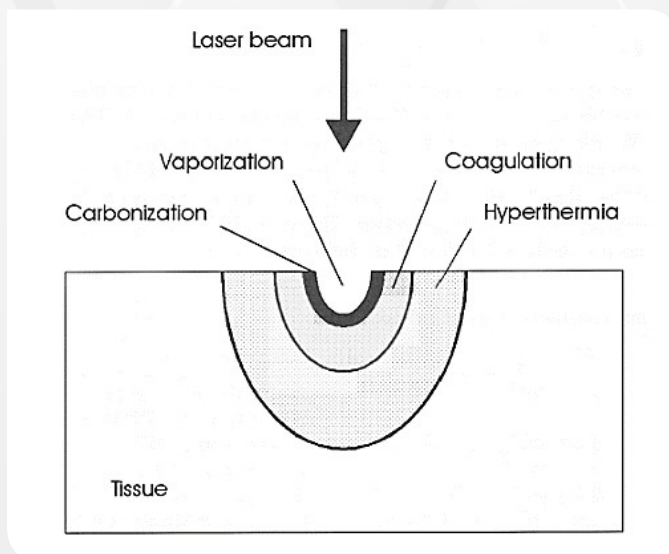
5. William Devlin McCarthy

شود و فرایند شیمیایی صورت گیرد. در این گروه از برهم‌کنش‌ها از واکنش لیزر با درشت مولکول‌های موجود در بافت و همچنین از چگالی‌های توان پایین و عرض پالس‌های بالا استفاده می‌شود. دو مثال برجسته برای برهم‌کنش‌های فوتوشیمیایی درمان فوتودینامیک^۶ و درمان با لیزرهای کم‌قدرت^۷ یا تحریک (برانگیزش) بیولوژیک^۸ می‌باشد.



(شکل ۲-۱- برهم‌کنش فوتوشیمیایی)

برهم‌کنش گرمایی:



(شکل ۲-۲- برهم‌کنش گرمایی)

در این گروه از برهم‌کنش‌ها، از افزایش دمای بافت بر اثر جذب لیزر در آب با درشت مولکول‌های بافتی استفاده می‌شود. گرمای ایجاد شده در ناحیه جذب، می‌تواند به بافت‌های مجاور نیز منتقل شود.

به‌طورمثال درصد نور بازگشتی از پوست حدود ۴٪ تا ۷٪ پرتو اولیه است در جراحی‌های لیزری داشتن اطلاعات کافی از خواص جذب و پراکندگی یک بافت معین ضروری است.

محیط شفاف دارای این ویژگی است که نور را بدون هیچ جذبی عبور دهد؛ از جمله بافت‌های شفاف می‌توان عدسی و قرنیه در بدن انسان را نام برد که در طیف نور مرئی کاملاً شفاف هستند. شفاف یا کدر بودن وابسته به طول موج تابشی است؛ عدسی و قرنیه چشم در برابر طول موج فروسرخ جاذب قوی است.

توانایی یک محیط برای جذب پرتو به عواملی چون ساختار الکترونی اتم‌ها و مولکول‌های محیط، طول موج تابش، ضخامت لایه‌ی جذب و پارامترهای درونی از قبیل دما یا غلظت عناصر جاذب بستگی دارد. مولکول‌های آب بیش‌تر در ناحیه فروسرخ، پروتئین و رنگدانه در ناحیه فرابنفش و مرئی جذب بالایی دارند.

هر بافت بسته به ویژگی‌ها و مواد سازنده‌اش دارای طیف جذبی مخصوص به خود است. گستردگی نوع بافت‌های بدن اعم از پوست، ماهیچه، استخوان، دندان غضروف، مغز و... ما را ملزم به استفاده از لیزرهای متفاوت با طول‌موج‌های گوناگون می‌کند.

انواع برهم‌کنش لیزر با بافت

برهم‌کنش‌های لیزر و بافت به سه گروه زیر تقسیم می‌شود:

- ۱ - فوتوشیمیایی
 - ۲ - فوتوگرمایی
 - ۳ - فوتوایونیزاسیون (که به سه بخش تقسیم می‌شود، نور کندی - کندی پلاسمایی - گسیختگی نوری)
- دانستن این‌که هر دسته پرتو در چه بافتی جذب می‌شود حائز اهمیت است مثلاً طول‌موج ۲۳۰-۳۵۰ نانومتر بیش‌تر در پروتئین و طول‌موج بالاتر از ۲۰۰۰ نانومتر غالباً در آب جذب می‌شود.

برهم‌کنش فوتوشیمیایی:

در این پدیده برای جذب فوتون توسط الکترون لایه ظرفیت لازم است تا ترازهای مولکول مورد نظر تهییج

6. Photodynamic-therapy
7. Low Level Laser Therapy
8. Bio Stimulation

استفاده می‌شود. مهم‌ترین این لیزرها عبارتند از: Ruby - Alexandrite - Nd:YAG و دیودهای با طول‌موج nm808.

بازسازی^{۱۵}: از لیزرهای Er:YAG، که جذب بالایی در آب دارند و حد نفوذشان در پوست کم است، برای برداشتن لایه‌های سطحی پوست و در نتیجه رفع چین و چروک و جوان نمودن پوست استفاده می‌شود. در درمان ضایعات عروقی پوست و لوله‌گوارش از لیزرهای Nd:YAG, KTP و PDL برای درمان این‌گونه ضایعات استفاده می‌شود.

فرایند نور کندگی:

در این نوع برهم‌کنش، از فوتون‌های بسیار پر انرژی برای شکستن پیوندهای مولکولی و در نتیجه کندن بافت استفاده می‌شود. طول‌موج‌های زیر 350nm به علت داشتن انرژی فوتونی بالا برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین مزایای این روش، دقت بسیار بالا، قابلیت پیش‌بینی خوب و فقدان آسیب گرمایی به بافت می‌باشد. قطعات بافت پس از شکستن پیوندهای مولکولی، پرتاب می‌شوند. ابعاد و اجزای قطعات کنده شده به طول‌موج وابسته می‌باشند. در عمل دیده شده طول‌موج 193nm لیزر اگزایمر ArF، کوچک‌ترین قطعات را جدا می‌کند و در نتیجه بیش‌ترین دقت و تکرارپذیری را دارد و همچنین کم‌ترین عوارض گرمایی را ایجاد می‌کند و سطح کنده شده نیز بسیار صاف و هموار می‌باشد از این رو از این لیزر در جراحی‌های انعکاسی چشم استفاده می‌گردد. کندگی در یک حداقل آستانه شروع می‌شود و با افزایش انرژی، عمق آن افزایش می‌یابد تا به حد اشباع برسد. سیستم‌های لیزری مورد استفاده برای نورکندگی، شامل لیزرهای اگزایمر و هماهنگی‌های دوم و چهارم لیزرهای جامد می‌باشد که طول‌موج خروجی آن‌ها در طیف IR قرار می‌گیرد.

فرایند کندگی پلاسمایی:

هنگامی که چگالی میدان الکتریکی در جامدات و مایعات از حد معینی تجاوز کند پدیده فرو شکست نوری^{۱۶}

به‌طور کلی انتقال گرما می‌تواند به سه طریق رسانش، همرفت و تابش صورت گیرد که در بافت‌های بیولوژیک اثر همرفت و تابش ناچیز بوده و از آن‌ها صرف نظر می‌شود. بنابراین انتقال گرمای ایجاد شده در بافت تقریباً فقط از طریق رسانش صورت می‌گیرد. یکی از پارامترهای بسیار مهمی که در برهم‌کنش‌های گرمایی برای بافت تعریف می‌شود «زمان واهلش^۹» می‌باشد که از برابر قرار دادن حد نفوذ نور در بافت با حد نفوذ گرما به دست می‌آید. به عبارت دیگر چنان‌چه عرض پالس لیزر به زمان مساوی بافت محدود شود، حد نفوذ گرما با حد نفوذ نور مساوی می‌شود و در نتیجه ناحیه آسیب گرمایی به ناحیه جذب منحصر می‌شود.

به عبارت بهتر با محدود کردن عرض پالس، حداقل آسیب گرمایی به بافت وارد می‌شود.

برهم‌کنش‌های گرمایی کاربرد بسیار زیادی در پزشکی دارند که برخی از آن‌ها به قرار زیر می‌باشند:

تبخیر^{۱۰}: که در آن از اشعه متمرکز لیزر با انرژی زیاد برای تبخیر و یا ایجاد برش در بافت استفاده می‌شود. انعقاد^{۱۱}: که در آن از اشعه لیزر به‌طور تفکیک شده، برای لختگی خون استفاده می‌شود.

هیپوترمیای بینابینی^{۱۲}: در این روش یک فیبرنوری که قسمت انتهایی آن قلم‌زنی^{۱۳} شده در بافت فرو برده می‌شود و از انرژی لیزر با توان پایین و زمان تابش طولانی برای انعقاد بافت استفاده می‌شود. برای این منظور معمولاً از طول‌موج‌هایی با نفوذ بالا استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها لیزر Nd:YAG و در درجه دوم لیزرهای نیمه‌هادی با طول‌موج nm900-800 می‌باشند از این روش برای درمان سرطان‌ها، خصوصاً در اندام‌های توپر مانند کبد استفاده می‌شود.

برداشتن مو^{۱۴}: از طول‌موج‌هایی که جذب بالایی در ملانین و نفوذ خوبی در بافت دارند برای تخریب ریشه مو و از بین بردن دائمی موهای زائد

9. Relaxation Time

10. Vaporization

11. Coagulation

12. Interstitial Hyperthermia

13. Etching

14. Hair removal

15. Resurfacing

16. Optical breakdown

فرایند گسیختگی نوری:

در این سازوکار، انرژی پلاسما آن‌چنان بالا می‌رود که آثار مکانیکی حاصل از جرقه پلاسما و برخورد الکترون‌ها به بافت، اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند و در نتیجه بافت به‌وسیله نیروهای مکانیکی حاصل از پلاسما از هم گسیخته می‌گردد. در این سازوکار نسبت به پراکندگی پلاسمایی چگالی توان بالاتر، طول پالس بیش‌تر، انرژی پالس بیش‌تر، انرژی پلاسما بیش‌تر و در نتیجه همان‌طور که گفته شد آثار مکانیکی عمده‌تر و تأثیرگذارتر از خود پلاسما می‌باشند محدوده اثر و نفوذ این فرآیند در حد میلی‌متر می‌باشد.

توصیفی اجمالی از آسیب‌های ناشی از برهم‌کنش لیزر با بافت

برهم‌کنش‌های لیزر و بافت با چشم و پوست که منجر به آسیب آن‌ها می‌شود به دو دسته آسیب‌های حرارتی و یا فوتوشیمیایی در طبیعت بافت تقسیم می‌شود. زمانی که دمای بافت از دمای بحرانی آن تجاوز کند پروتئین‌ها از حالت طبیعی خود خارج می‌شوند و آسیب می‌بینند. در ناحیه UV امکان آسیب‌های فوتوشیمیایی وجود دارد چرا که در این ناحیه انرژی فوتون بسیار بالا است. معمولاً آسیب فوتوشیمیایی در مواردی رخ می‌دهد که از پرتو لیزر به صورت پیوسته استفاده می‌شود.

در هنگام کار با لیزرهای UV باید مراقب پرتوهای ضعیف هم بود زیرا به علت بازتاب پرتو از دیوارها، احتمال آسیب در مواردی که عمل برای مدت چند ساعت ادامه داشته باشد، وجود دارد. از مثال‌های آسیب به چشم می‌توان به ورم ملتحمه و یا قرنیه اشاره کرد. اگر پرتوها مستقیماً به پوست تابیده شود ایجاد حالت آفتاب سوختگی می‌کند که بعد از چند روز رفع می‌شود. پالس‌های کوتاه UV اگر مستقیماً به چشم برخورد کند سبب لایه برداری چشم می‌شود. وقتی پالس‌های نانو ثانیه و فمتو ثانیه و یا حتی کوچک‌تر به بافت اعمال شود، آثار غیر خطی پرتو ظاهر می‌شود، از جمله آن‌ها نورکندگی و گسیختگی نوری است به‌طور مثال در برخورد توان‌های تابش بالا به چشم آثاری چون LIB¹⁷ مشاهده می‌شود.

17. Laser Induced Breakdown

به‌وجود می‌آید. در این حالت شدت میدان الکتریکی در محیط آن‌چنان افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند بر نیروهای داخل اتم یا مولکول غلبه کند و سبب یونیزاسیون آن‌ها گردد. در مدت بسیار کوتاهی، چگالی بسیار عظیمی از یون‌ها و الکترون‌ها در محل برخورد اشعه تشکیل می‌شود که همان پلاسما می‌باشد و به‌صورت یک جرقه دیده می‌شود. ذرات آزاد تشکیل دهنده پلاسما، فوتون‌های بعدی را جذب کرده و انرژی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. این ذرات پر انرژی مجدداً با بافت برخورد کرده سبب یونش سایر مولکول‌های بافت می‌گردد که نهایتاً کندگی بافت را سبب می‌گردد. فرآیند تشکیل پلاسما تا زمانی که اتلاف انرژی بر جذب آن غلبه نکرده ادامه پیدا می‌کند و این حالت در زمانی اتفاق می‌افتد که تراکم الکترون‌ها در پلاسما به یک حد بحرانی برسد. انرژی پلاسما با توان دوم چگالی الکترون‌ها متناسب می‌باشد.

بلافاصله پس از تشکیل پلاسما، کلیه فوتون‌های فرودی توسط پلاسما جذب شده و در نتیجه از نفوذ بیش‌تر آن‌ها در بافت جلوگیری می‌شود در این حالت نفوذ لیزر در بافت بسیار محدود و فرایند کندگی بسیار ظریف و دقیق می‌باشد، به‌طوری‌که حتی می‌توان از این تکنیک برای جراحی انکساری قرینه استفاده نمود، البته سطح خورش یافته در مقایسه با لیزر ArF، صافی و همواری کم‌تری دارد.

ضروری است به این نکته توجه شود که تشکیل پلاسما، در درجه اول وابسته به شدت میدان الکتریکی است به عبارت دیگر، لیزری مانند Nd:YAG که در چگالی‌های پایین‌تر انرژی می‌تواند تا عمق چند میلی‌متری بافت نفوذ کند، پس از تشکیل پلاسما عمق نفوذش محدود می‌شود.

نکته آخر در زمینه پلاسما، این است که طیف حاصل از جرقه پلاسما، تابع مواد تشکیل دهنده آن می‌باشد که خود تابعی از جنس و مواد تشکیل دهنده بافت است بنابراین با طیف نگاری پلاسما می‌توان استفاده‌های تشخیصی نیز انجام داد.

ناحیه طیف الکترومغناطیسی	محدوده طول موج (nm)	آسیب‌های لیزر بر چشم	آسیب‌های لیزر بر پوست
ماوراء بنفش دور	280 – 200	فوتوکراتیتیس ^{۱۹}	اریتما ^{۱۸} ، پیری زودرس، سرطان
ماوراء بنفش میانه	315 – 280	فوتوکراتیتیس، آب مروارید	اریتما، پیری زودرس، تیره شدن پوست، سرطان
ماوراء بنفش نزدیک	400 – 315	آب مروارید	اریتما، تیره شدن پوست، سوختن پوست
نور مرئی	780 – 400	آسیب‌های شبکیه	حساسیت به نور - سوختگی پوست
مادون قرمز نزدیک	1400 – 780	سوختگی شبکیه، آب مروارید	سوختگی پوست
مادون قرمز میانه	3000 – 1400	سوختگی قرنیه، آب مروارید	سوختگی پوست
مادون قرمز دور	10 ⁶ – 3000	سوختگی قرنیه	سوختگی پوست

(جدول ۲-۱- آسیب‌های انواع طول موج‌های لیزری بر چشم و پوست انسان)

پاسخ‌های بافتی لیزر

بر اساس تحقیقات واحد تحقیقات ترمیم بافتی یکی از بیمارستان‌های لندن، پاسخ‌های بافتی لیزر به دو دسته تقسیم می‌شوند:

پاسخ‌های اولیه (فوری): که شامل: پاسخ بافتی موضعی می‌باشد. مانند: وازودیلاتاسیون^{۲۰}، افزایش گردش خونی و درناژ لنفاوی^{۲۱}، افزایش فعالیت نوتروفیل‌ها^{۲۲}، لنفوسیت‌ها^{۲۳} و فیبروبلاست‌ها^{۲۴}، بهبود متابولیسم سلولی در سلول‌های آسیب دیده و افزایش آستانه تحریکی گیرنده‌های درد.

پاسخ‌های ثانویه (تاخیری): شامل یک سری تاثیرات سیستمیک است که از گردش محصولات واکنش‌های

لیزر دارای مزایای متعددی نسبت به ابزارهای استاندارد جراحی می‌باشد:

دقیق‌تر از ابزارهای جراحی است، به‌طوری که آسیب کم‌تری به بافت‌های سالم می‌رساند و همچنین بیماران معمولاً درد و خون‌ریزی و زخم کم‌تری دارند. حرارت تولید شده توسط آن باعث ضد عفونی محل جراحی و منجر به کاهش خطر ابتلا به عفونت می‌گردد. لیزر درمانی اغلب می‌تواند سرپایی انجام شود و زمان بهبودی غالباً کوتاه‌تر است.

در این روش انتشار آلودگی وجود ندارد و دارای عمق نفوذ بالا در بافت‌های مختلف است. (دستیابی به انجام انواع برش‌ها، انعقاد، نکروز و واکنش‌های شیمیایی در عمق بافت را فراهم می‌کند).

۲۰. گشاد شدن رگ

۲۱. تخلیه لنفی (پاکسازی لنف)

۲۲. نوتروفیل یا خنثی‌خواه (Neutrophil) نوعی گویچه سفیده بیگانه‌خوار است و در دستگاه ایمنی بدن انسان، در خط دوم دفاع غیر اختصاصی قرار دارند.

۲۳. نوعی از گلبولهای سفید خون هستند که در سیستم ایمنی مهره داران نقش دارند.

۲۴. فراوانترین سلول در بافت همبند است که همه انواع رشته‌های بافت همبند و مواد آلی ماده زمینه‌ای را سنتز می‌کند.

۱۸. در پزشکی سرخ شدن پوست به سبب افزایش جریان خون بافتی در مویرگهای موجود در لایه‌های زیرین گفته می‌شود.

۱۹. نوعی التهاب چشمی

۲- از طریق نقاط مورد استفاده در طب سوزنی: تحریک نقاط طب سوزنی با روش‌های مختلفی امکان پذیر می‌باشد. لیزر آکوپانکچر^{۳۱} یکی از روش‌های نوین و موثر است که در آن به جای سوزن، از تابش لیزر کم‌توان به نقاط طب سوزنی استفاده می‌شود.

۳- از طریق غشاء مخاطی: به‌این منظور، درون حفره مربوطه یک فیبر نوری فرستاده شده که توسط آن، اشعه لیزر به غشاء مخاطی ناحیه آسیب دیده می‌رسد. در این روش، هم از طیف قرمز و هم از مادون‌قرمز استفاده می‌گردد.

۴- تابش داخل وریدی: این روش در واقع نوع خاصی از لیزر درمانی با اشعه می‌باشد که از طریق آنژیوکت مخصوص که اغلب داخل وریدهای اندام فوقانی قرار داده می‌شود، به بدن می‌رسد (برای این اشعه از طیف قرمز استفاده می‌گردد). همچنین توجه به این نکته ضروری است که بر اساس نوع واکنش، می‌توان دز مورد استفاده را نیز تعدیل کرد.

با تشکر ویژه از جناب آقای دکتر مهدی شایگان‌منش،
استاد راهنمای این پروژه کارشناسی، برای دریافت فایل
کامل پروژه به استاد مربوطه مراجعه نمایید یا با ایمیل
melikakarami73@gmail.com در ارتباط باشید.

مراجع:

[۱] حاجی زاده، امید و ایمانی، احسان: (لیزر درمانی داخل وریدی). مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز: ۱۳۸۰، شماره ۵۲، صفحه ۴۹.

[2] Ansari MA, Mohajerani E. Mechanisms of Laser-Tissue Interaction: I. Optical Properties of Tissue. J Laser Med Sci 2011; 2(3): 119-25.

[3] www.cancer.gov , www.bijanfr.blogfa.com

[۴] ارومند، زهرا: لیزر و کاربردهای آن. ۹۷۸۹۶۴۲۵۴۳۰۱۴. انتشارات دانش پرور، تهران، ۱۳۸۵.

[۵] نایمز، مارکوف: برهم‌کنش لیزر- بافت. ۱-۱۲۲-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۱.

نور^{۲۵} در خون و لنف حاصل می‌شود مانند افزایش غلظت بعضی پروستاگلاندین‌ها^{۲۶} (مثل PGI2 که اثر ضد التهاب دارد). به دنبال تابش لیزر و در طی واکنش‌های اولیه و واکنش‌های ثانویه سلولی میزان انرژی داخل سلولی افزایش می‌یابد؛ به عبارتی انرژی نورانی در جریان واکنش‌های اولیه در زنجیره تنفسی (میتوکندری) با تغییر حالت ردوکس^{۲۷} سلول از طریق واکنش‌های ثانویه تبدیل به شکل انرژی قابل مصرف در سلول یعنی ATP (با افزایشی بالا) می‌شود. این افزایش همراه با فعال کردن واکنش‌هایی در سلول است که باعث ایجاد اثراتی بر لیزر می‌شود.

استفاده از لیزر در درمان بیماری‌ها

- کاربرد در درماتولوژی^{۲۸}: درمان سوختگی‌ها و زخم‌های مقاوم به درمان آکنه، اگزما، پسوریازیس^{۲۹}، ضایعات و اقدامات پیش‌گیرانه مثل جلوگیری از پیر شدن پوست
- بیماری‌های عضلانی- اسکلتی و ارتوپدی: در درمان کشیدگی‌های تاندونی آرتربت روماتوئید، رفع اختلالات موجود در اتصالات عضلانی کمر دردها و کشیدگی‌ها
- بیماری‌های دهان و دندان: درمان پوسیدگی‌های دندانی، پریدونتیت‌ها^{۳۰}، بیماری‌های مخاط دهان، اختلالات جویدن و...

- در حوزه عصبی: درمان سر دردها و میگرن
- بیماری‌های عروقی: درمان واریس‌های وریدی، ضایعات عروقی حاصله از بدو تولد و...

راه‌های انتقال اشعه لیزر به بدن

۱- از طریق پوست: در این روش اعضا، اعصاب، عروق و نقاط دردناک بدن مورد تابش قرار می‌گیرند و تأثیر اشعه لیزر از این طریق بر روی محل پاتولوژی تا عمق حدود ۷۰-۵۰ میلی‌متر، خصوصاً در طیف مادون‌قرمز، وجود دارد.

25. photoproducts

۲۶. یکی از مهمترین واسطه‌های شیمیایی در داخل بدن هستند که با تأثیر بر روی گیرنده‌های مختلف سلولی تأثیرات متنوع زیادی در بدن دارند.

۲۷. اکسایش و کاهش (Redox) نام کلی واکنش‌های شیمیایی است که مایه تغییر عدد اکسایش اتم‌ها می‌شوند.

۲۸. Dermatology شاخه‌ای از پزشکی است که با پوست و بیماری‌های آن سر و کار دارد.

۲۹. صدفک یا داء‌الصدف بیماری پوستی مزمن خودایمنی است.

۳۰. التهاب شدید لثه می‌باشد که باعث جدا شدن لثه از دندان و تحلیل استخوان حمایت‌کننده دندان می‌شود.

واکنش‌های هسته‌ای

تینا سیدجمالی

کارشناسی ارشد ماده چگال

tina_seyedjamali@physics.iust.ac.ir

شیمیایی $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ناشی می‌شود. اما انرژی تولید شده از راکتورهای توان هسته‌ای بر اساس واکنش هسته‌ای-نوترون + اورانیوم $^{235}U \rightarrow$ شکافت است. انرژی آزاد شده از واکنش‌های شیمیایی و هسته‌ای بر حسب الکترون ولت یا eV اندازه‌گیری می‌شود و اینجاست که تفاوت بزرگ میان واکنش‌های شیمیایی و هسته‌ای آشکار می‌گردد. سوختن هر اتم کربن $4/0 \text{ eV}$ انرژی تولید می‌کند در حالی به ازای هر شکافت اتم اورانیوم 200 MeV ایجاد می‌شود. بنابراین انرژی آزاد شده از شکافت هسته‌ای در حدود 50 میلیون برابر انرژی آزاد شده از سوختن شیمیایی یک اتم کربن است.

برای مقایسه، دو نیروگاه بزرگ تولید برق را در نظر بگیرید که هر یک 1000 مگاوات (یعنی 1000 MW(e)) انرژی تولید می‌کنند، که یکی از زغال سنگ استفاده نموده و دیگری از شکافت اورانیوم بهره می‌برد. با در نظر گرفتن راندمان حرارتی و عوامل دیگر، نیروگاه زغال سنگ در هر روز تقریباً 10000 تن سوخت مصرف می‌کند.

اما اورانیوم مصرف شده توسط نیروگاه هسته‌ای برای تولید مقدار یکسان از توان الکتریسیته تقریباً 20 تن در سال است. این اختلاف عظیم در نیازهای سوختی دلیل تفاوت در الگوهای تامین مواد اولیه است. نیروگاه زغال سنگ برای کار، روزانه به بیش از 100 کامیون برای زغال رسانی نیاز دارد. اما نیروگاه هسته‌ای به تامین سوخت پیوسته نیازی ندارد. به جای آن، پس از بارگذاری اولیه، نیروگاه هسته‌ای در هر 12 تا 24 ماه یکبار متوقف می‌شده و سپس تنها یک چهارم یا یک پنجم سوخت آن تعویض می‌شود. مقایسه‌های یکسانی



مقدمه

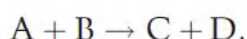
رابطه ارائه شده توسط آلبرت انیشتین $E=mc^2$ که انرژی را به جرم و سرعت نور مربوط می‌کند مهم‌ترین رابطه در جهان مدرن شناخته می‌شود. واکنش‌های شکافت هسته‌ای که زمینه راکتورهای هسته‌ای را تشکیل می‌دهند (چنان که راکتورها، توان الکتریکی، نیروی محرکه برای کشتی‌ها و سایر کاربردهای انرژی را تامین می‌کنند) مقادیر مشخصی از جرم را به انرژی تبدیل می‌کنند. لذا بررسی واکنش‌های هسته‌ای، شروعی مناسب برای مطالعه فیزیک توان هسته‌ای، می‌باشد. برای درک مقادیر بزرگ انرژی ایجاد شده توسط این واکنش‌ها در ارتباط با حجم سوخت مصرف شده، بهتر است بررسی خود را با مقایسه تولید توان هسته‌ای با توان تولید شده توسط سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی آغاز کنیم. مقایسه این منابع انرژی که از واکنش‌های شیمیایی حاصل می‌شوند با انرژی هسته‌ای به فهم نسبت‌های بسیار مختلف انرژی ایجاد شده نسبت به حجم‌های سوخت مصرف شده و تفاوت‌های عمیق در محصولات ایجاد شده کمک می‌کند.

زغال سنگ نوعی سوخت فسیلی است که به طور گسترده برای تولید الکتریسیته به کار می‌رود. سوختن زغال سنگ به طور عمده از واکنش

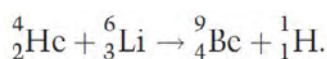
بسیار کوچک بوده و قطر آن از مرتبه ۱۰-۱۲ سانتی متر است. برای اهداف مدل سازی، فرض می‌کنیم که هسته از N نوترون و Z پروتون تشکیل شده است. اگر، هم نوترون و هم پروتون را نوکلئون بنامیم در این صورت هسته N+Z نوکلئون خواهد داشت. تعداد پروتون‌ها Z عدد اتمی نامیده می‌شود؛ این عدد ویژگی‌های شیمیایی اتم را تعیین می‌کند در حالی که N+Z وزن اتمی خوانده می‌شود. هسته‌هایی با عدد اتمی یکسان اما وزن‌های اتمی مختلف ناشی از تعداد نوترون‌های مختلف، ایزوتوپ‌های المان شیمیایی یکسان نامیده می‌شوند. ما یک هسته را با ${}^{N+Z}_Z X$ نشان می‌دهیم که X سمبل به کار رفته در جدول تناوبی برای نشان دادن المان شیمیایی است.

معادلات واکنشی

واکنش‌های هسته‌ای به صورت زیر بیان می‌شوند:

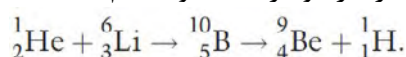


مثالی از واکنش هسته‌ای به صورت زیر است:



این معادله برای ما مشخص نمی‌کند که واکنش به چه طریقی رخ داده یا اینکه این واکنش یک واکنش گرماگیر است یا گرماده، اما معادله فوق دو شرایط بقاء را بیان می‌کند که همواره برقرار هستند: پایستگی بار (Z) و پایستگی نوکلئون‌ها (N+Z). پایستگی بار بیان می‌کند که مجموع زیرنویس‌ها در دو طرف معادله بایستی برابر باشند که در مورد معادله بالا داریم: $2+3=4+1$. پایستگی نوکلئون بیان می‌کند که مجموع بالانویس‌ها در دو طرف معادله بایستی برابر باشند که در مورد معادله فوق داریم: $4+6=9+1$.

بیشتر واکنش‌های هسته‌ای در دو مرحله انجام می‌شوند. ابتدا یک هسته مرکب از دو واکنش دهنده تشکیل شده است اما این هسته ناپایدار بوده و معمولاً به دو مولفه تقسیم می‌شود. با در نظر گرفتن این مساله می‌توانیم معادله بالا را در دو مرحله بنویسیم:



را می‌توان میان سوخت فسیلی و توان هسته‌ای به کار رفته برای تامین نیروی محرکه کشتی‌های دریایی انجام داد. سفرهای دریایی کشتی‌هایی که با نفت تامین سوخت می‌شوند بایستی به دقت میان سواحل دریایی به منظور سوخت گیری برنامه ریزی شود و یا کشتی‌های تانکدار بایستی آن‌ها را همراهی کنند. اما کشتی‌هایی با سوخت هسته‌ای طوری طراحی می‌شوند که یک بار، بارگذاری سوخت برای طول عمر مفید طراحی شده برای کشتی کافی است.

مقایسه زباله‌های تولید شده از واکنش‌های شیمیایی و هسته‌ای به طور یکسان مصیبت بار است. زباله‌های رادیواکتیو تولید شده از نیروگاه‌های هسته‌ای نسبت به آلودگی‌ها و زباله‌های تولید شده از نیروگاه زغال سنگ بسیار سمی تر هستند، اما این سمی بودن بایستی در مقابل مقادیر بسیار بسیار کمتر زباله‌های تولید شده بررسی شود. اگر بازپردازش برای تفکیک اورانیوم به کار نرفته از اورانیوم مصرف شده انجام شود در این صورت، مقدار زباله‌های رادیواکتیو باقی مانده از نیروگاه هسته‌ای 1000 mW(e) کمتر از ۱۰ تن در سال خواهد بود. اما بیش از ۵% زغال مصرف شده به زباله تبدیل می‌شود که بایستی با تعداد بیش از ۵ قطار ۱۰۰ تنی در هر روز دفع و دفن شود. همچنین بایستی از ورود نزدیک به ۱۰۰ تن دی اکسید سولفور و مقادیر کمتری جیوه، سرب و سایر آلودگی‌ها به محیط زیست جلوگیری کرد. اما بزرگترین تاثیر زیست محیطی سوخت‌های فسیلی، گرم شدن زمین است که در اثر هزاران تن CO_2 که هر روزه توسط یک نیروگاه زغال سنگی 1000 mWe به اتمسفر رها می‌شود ایجاد می‌گردد.

مبانی واکنش هسته‌ای

در حالی که فهم عمیق از فیزیک هسته‌ای می‌تواند یک کار بسیار سخت باشد اما یک مدل ساده از هسته می‌تواند برای مطالعه ما درباره راکتورهای توان هسته‌ای کافی باشد. مدل استاندارد از اتم شامل یک هسته با بار مثبت است که توسط الکترون‌های چرخنده با بار منفی احاطه شده است. در مقایسه با اندازه اتم که قطر آن در حدود ۸-۱۰ سانتی متر است اندازه هسته

با $t_{1/2} = 2.45 \times 10^5$ سال. ما دوباره در این فصل به توصیف ریاضیاتی طول عمرهای نصف و واپاشی رادیو اکتیوی خواهیم پرداخت.

گاهی پرتوهای گاما از معادلات واکنشی گسیل می شوند؛ از آنجا که این پرتوها هیچ جرم یا باری را حمل نمی کنند لذا بر تعادل باری و نوکلئونی که قبلا بحث شد تاثیری ندارند. با این حال، پرتوهای گاما در قانون پایستگی انرژی بسیار مهم هستند. نقش آن ها را می توان به صورت زیر دریافت. پس از برخورد یا واکنش هسته ای یا واپاشی رادیو اکتیو، معمولاً هسته در حالت تحریک شده باقی می ماند. سپس هسته با پخش یک یا چند پرتو گاما به حالت خنثی یا تحریک نشده خود باز می گردد. این پرتوها با توجه به سطوح انرژی کوانتومی در هسته، با انرژی های مختلف گسیل می شوند. این پدیده هسته ای مشابه با وضعیتی در فیزیک اتمی است که در آن، یک الکترون اوربیتالی در حالت تحریک با برگشت به حالت خنثی خود، یک فوتون گسیل می کند. هم پرتوهای گاما و هم فوتون ها تابش های الکترومغناطیسی هستند اما، از لحاظ انرژی با یکدیگر تفاوت عمده دارند. در حالی که فوتون گسیل شده از برگشت به حالت خنثی الکترون ها در حدود الکترون ولت می باشد انرژی های گاما بر حسب میلیون ها الکترون ولت اندازه گیری می شوند.

گسیل هسته ای باقی مانده ای که ما هنوز آن را ذکر نکرده ایم نوترینو است. در ارتباط با تشعشع الکترونی، نوترینو ایجاد شده و مقداری از انرژی واکنش را مصرف می کند. از آنجا که نوترینوها در حد قابل توجهی با ماده برهم کنش ندارند لذا انرژی آن ها برای استفاده های عملی، از دست رفته و غیرقابل استفاده می باشد.

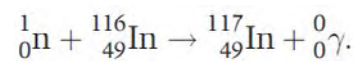
انرژی

رابطه انیشتین برای بیان ارتباط میان جرم و انرژی، انرژی واکنش های هسته ای را بیان می کند:

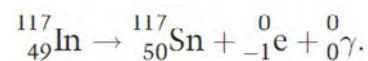
$$E_{total} = mc^2,$$

که E_{total} ، m و c به ترتیب نشان دهنده انرژی کلی یک هسته، جرم آن و سرعت نور هستند. اما جرم

اما در بیشتر واکنش هایی که استفاده خواهیم کرد هسته مرکب به صورت لحظه ای واپاشی می شود. لذا با حذف مرحله میانی از معادله هیچ مشکلی پیش نمی آید. حالت استثناء زمانی است که هسته مرکب ناپایدار است اما طی یک بازه زمانی بلندمدت واپاشی می شود. لذا در این حالت ها به جای نوشتن یک معادله مانند معادله (۳) دو معادله واکنشی جداگانه نوشته می شود. به عنوان مثال، زمانی که ایندیموم یک نوترون جذب می کند تنها یک پرتو گاما گسیل می کند:

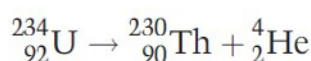


پرتو گاما هیچ بار یا جرمی ندارد. بنابراین به آن، زیرنویس و بالانویس برابر با صفر اختصاص داده ایم: ${}^0_0\gamma$. ایندیموم ۱۱۷ یک اتم پایدار نمی باشد بلکه متحمل زوال رادیواکتیوی می شود، در این حالت، ایندیموم با از دست دادن یک الکترون به همراه یک پرتو گاما به قلع تبدیل می شود:



الکترون توسط ${}^0_{-1}\text{e}$ با زیرنویس -1 و بالانویس 0 نشان داده شده زیرا الکترون دارای بار مخالف با پروتون بوده و جرم آن، کمی بیش از یک هزارم جرم یک پروتون یا نوترون است. روش اولیه برای نگاه به مدل هسته ای این است که، فرض کنیم پخش الکترون از واپاشی یکی از نوترون ها در داخل هسته به یک پروتون و یک الکترون حاصل می شود.

واکنش های تنزلی مانند معادله (۵) در طی زمان اتفاق افتاده و توسط نیمه عمر که با $t_{1/2}$ نشان داده می شود، مشخص می شوند. با داشتن تعداد زیادی از این اتم ها، نصف آن ها در بازه زمانی $t_{1/2}$ ، سه چهارم آن ها در $2t_{1/2}$ ، هفت هشتم آن ها در $3t_{1/2}$ و الی آخر واپاشی می شوند. نیمه عمر ایندیموم ۱۱۷، ۵۴ دقیقه است. نیمه عمرها بسته به اتم مورد بررسی می توانند مرتبه های مختلف از دامنه داشته باشند. برخی مواد رادیو اکتیو با نیمه عمر بسیار زیاد به طور طبیعی در سطح زمین یافت می شوند. به عنوان مثال



بایستی پایستار باشد، استفاده کنیم. برای واکنش معادله (۱-۱) این قانون به صورت زیر بیان می شود:

$$E_A + M_{AC}^2 + E_B + M_{BC}^2 = E_C + M_{CC}^2 + E_D + M_{DC}^2,$$

رابطه فوق بیان می کند که واکنش، گرماگیر است یا گرمازا. اگر Q مثبت باشد انرژی جنبشی تولید می شود و اگر منفی باشد انرژی جنبشی مصرف می شود. رابطه بالا به ما اجازه می دهد تا Q را برحسب جرم ها به صورت زیر بنویسیم:

$$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2.$$

Q مثبت نشان دهنده واکنش گرمازا است که در آن، انرژی جنبشی تولید شده و منجر به اتلاف خالص از جرم سکون می گردد. به طور معکوس، واکنش های گرماگیر منجر به افزایش خالص در جرم سکون می شوند. در مورد واکنش های شیمیایی همانند واکنش های هسته ای بحث های مشابهی وجود دارد. اما از آنجا که بر خلاف تغییرات انرژی در اندازه meV در واکنش های هسته ای، تغییرات انرژی در واکنش های شیمیایی در حدود چند eV است لذا تغییرات روی داده در جرم ها برای اندازه گیری بسیار کوچک هستند.

منحنی انرژی بستگی

بحث های پیشرو در مورد پایستگی مشخص نمی کند که واکنش های هسته ای گرمازا هستند یا گرماگیر. ما بایستی نواقص جرمی و انرژی های بستگی را بررسی کنیم تا بفهمیم که واکنش های هسته ای به جای جذب انرژی، انرژی تولید می کنند. اگر جرم های Z پروتون و N نوترون را که یک هسته عنصری مانند X را تشکیل می دهند با هم جمع کنیم متوجه می شویم که وزن جرم های مربوط به این اجزاء تشکیل دهنده از وزن کل هسته m_X بیشتر است. این اختلاف به عنوان کاستی جرم شناخته می شود:

$$\Delta = Z M_p + N M_n - M_X,$$

که برای تمامی هسته ها مقداری مثبت است. بنابراین وزن هسته از نوترون ها و پروتون های تشکیل دهنده

در این رابطه به سرعت ذرات با توجه به سرعت نور بستگی دارد:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

که m_0 جرم سکون یا به عبارتی جرم ذره در زمانی است که سرعت آن $v=0$ است. برای شرایطی که در آن $v \ll c$ است می توانیم عبارت زیر ردیکال را بر حسب توان هایی از $(v/c)^2$ بسط داده:

$$m = m_0 \left[1 + \frac{1}{2}(v/c)^2 + O(v/c)^4 \right]$$

و تنها دو جمله اول را نگه داریم. با جایگذاری این نتیجه در رابطه زیر خواهیم داشت:

$$E_{total} = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2.$$

جمله اول در سمت راست بیانگر انرژی سکون بوده و جمله دوم شکل انرژی جنبشی است. نوترون های موجود در راکتورها همانند هسته، با سرعت $v \ll c$ همواره غیر نسبیتی هستند و اجازه استفاده از رابطه را می دهند. ما از اینجا به بعد از E برای نمایش انرژی جنبشی استفاده خواهیم کرد. بنابراین برای ذره ای غیر نسبیتی با جرم سکون m_X داریم:

$$E = \frac{1}{2} M_X v^2.$$

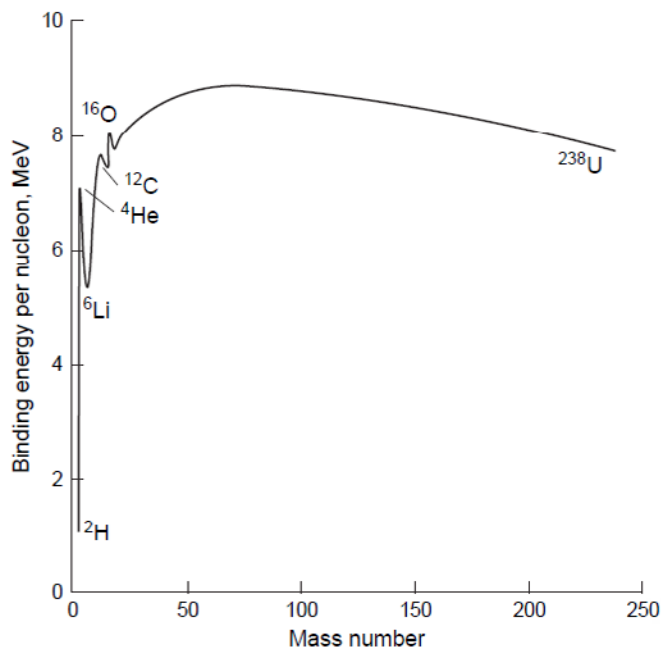
با این حال، برخی الکترون ها با انرژی بالا ممکن است در سرعت هایی حرکت کنند که بخش قابل توجهی از سرعت نور هستند و در این موارد، روابط نسبیتی بایستی به کار رود. در این صورت بایستی ابتدا E_{total} با استفاده از روابط بالا محاسبه شده و سپس

$$E = E_{total} - m_0 c^2$$

به دست آید. در نهایت اینکه، پرتوهای گاما هیچ جرمی نداشته و با سرعت نور حرکت می کنند. انرژی این پرتوها با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E = h\nu$$

که h ثابت پلانک بوده و ν بسامد پرتوها می باشد. حال آماده هستیم تا از قانونی که بیان می کند انرژی



شکل ۱-۱: منحنی انرژی بستگی برای هر نوکلئون (محور افقی: عدد جرمی، محور عمودی: انرژی بستگی برای هر نوکلئون)

واکنش های گداخت

معادله (۲) از آنجا که هر دو هسته در دو طرف معادله دارای عددهای اتمی بزرگتر از صفر هستند نمونه‌ای از واکنش یک ذره باردار است. انجام چنین واکنش‌هایی مشکل است زیرا پس از جدا شدن الکترون‌های چرخنده از هسته، بارهای مثبت روی هسته به شدت یکدیگر را دفع می‌کنند. لذا برای ایجاد یک واکنش مانند معادله (۲) هسته بایستی با سرعت زیاد برخورد کند تا بر دافعه کولنی غلبه کرده و اتصال برقرار شود. متداول‌ترین روش برای ایجاد چنین واکنش‌هایی بر روی زمین استفاده از شتاب‌دهنده‌های ذره است تا مقدار زیادی انرژی جنبشی به یکی از ذره‌ها داده شده و سپس با شدت به هدف موجود در ماده مورد نظر برخورد داده شود. روش جایگزین، ترکیب دو نمونه و رساندن آن‌ها به دمای بالایی است که تبدیل به پلازما می‌شوند. از آنجا که انرژی جنبشی متوسط یک هسته با دمای مطلق آن متناسب است لذا اگر دماهای به اندازه کافی ایجاد شود در این صورت بر دافعه الکتریکی هسته توسط انرژی جنبشی چیره شده و یک واکنش هسته‌ای حرارتی ایجاد می‌شود.

آن کمتر است. ضریب کاستی جرم در مربع سرعت نور منجر به واحدهایی از انرژی می‌شود: Δc^2 . این مقدار، انرژی بستگی هسته نامیده می‌شود. می‌توانیم این انرژی را به صورت زیر توصیف کنیم. اگر بتوانیم هسته را واپاشی کرده و به پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل دهنده تفکیک کنیم افزایش جرمی به اندازه کاستی جرم به وجود خواهد آمد. لذا مقدار معادلی از انرژی (انرژی بستگی) بایستی برای این تفکیک صرف شود. تمام هسته‌های پایدار دارای انرژی‌های بستگی مثبت هستند که آن‌ها را کنار یکدیگر نگه می‌دارد. اگر انرژی بستگی با تقسیم بر تعداد نوکلئون‌ها نرمالیزه شود داریم:

$$\Delta c^2 / (N + Z).$$

این مقدار (انرژی بستگی برای هر نوکلئون) معیاری برای پایداری هسته‌ای فراهم می‌کند؛ هر چه این مقدار بزرگتر باشد هسته پایدارتر خواهد بود. شکل ۱-۱ منحنی انرژی بستگی برای هر نوکلئون را نشان می‌دهد. در جرم‌های اتمی پایین، منحنی به سرعت افزایش می‌یابد. برای وزن‌های اتمی بزرگتر (۴۰ یا بیشتر) منحنی با رسیدن به مقدار بیشینه کمی کمتر از ۹ MeV نرم شده و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. واکنش‌های گرمازا واکنش‌هایی هستند که منجر به محصولات واکنشی با انرژی بستگی بیشتر (تبدیل از هسته‌ای با پایداری کمتر به هسته‌ای با پایداری بیشتر) می‌شوند. دو نوع از این واکنش‌ها نامزد تولید انرژی هستند: واکنش‌های گداخت (همجوشی) که در آن‌ها، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا یک هسته سنگین‌تر با جایگاه بالاتر بر روی منحنی انرژی بستگی ایجاد شود و واکنش‌های شکافت که در آن‌ها، یک هسته سنگین به دو هسته سبک‌تر واپاشی می‌شود که در هر یک از هسته‌های تولید شده، انرژی بستگی برای هر نوکلئون بیشتر از مقدار متناظر در هسته اولیه سنگین است.

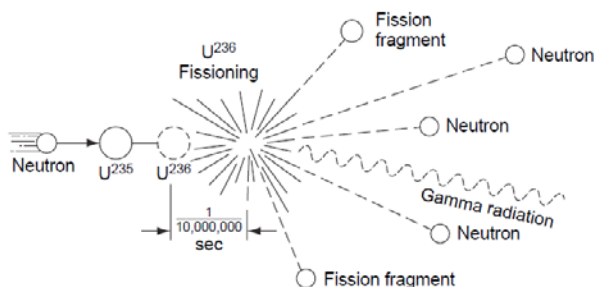
می‌توانند آغازگر شکافت باشند. لذا نیازی به دماهای بسیار بالا نیست زیرا هیچ گونه دافعه الکتریکی میان نوترون و هسته وجود ندارد. یعنی نوترون می‌تواند بدون مقاومت کولنی به داخل هسته نفوذ کند.

واکنش های شکافتی

حال واکنش شکافت اورانیوم-۲۳۵ را طبق حالت نشان داده شده در شکل ۱-۲ در نظر بگیرید. از این واکنش، انرژی در حدود ۲۰۰ MeV، دو یا سه نوترون، دو هسته سبک‌تر (که باقی مانده شکافت نامیده می‌شوند) و تعدادی پرتو گاما و نوترینو ایجاد می‌شود. باقی مانده‌های شکافت متحمل واپاشی رادیواکتیو می‌شوند که محصولات شکافتی اضافی تولید می‌کند. انرژی ایجاد شده از شکافت، نوترون‌ها و محصولات شکافت، همگی نقش کلیدی در فیزیک راکتورهای توان هسته‌ای ایفاء می‌کنند. هر کدام از این موارد را به ترتیب مورد بررسی قرار می‌دهیم.

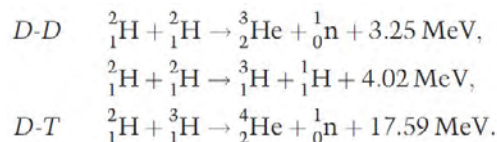
انرژی آزاد شده و اتلافی

۲۰۰ MeV انرژی تقریبی آزاد شده از یک واکنش شکافت به صورت انرژی جنبشی باقی مانده‌های شکافت، نوترون‌ها، پرتوهای گاما و نیز، انرژی جنبشی ناشی از ذرات بتا، پرتوهای گاما و نوترینوهای گسیل شده از محصولات شکافت که دچار واپاشی رادیواکتیو می‌شوند، ظاهر می‌شود. این انرژی جنبشی با برهم کنش محصولات واکنش با محیط اطراف سریعاً به صورت گرما اتلاف می‌شود. با این حال، فرآیندهای واکنش‌ها با توجه به اینکه ذرات از نظر الکتریکی باردار هستند یا خنثی، به طور قابل توجهی با یکدیگر تفاوت دارند. یا خنثی، به طور قابل توجهی با یکدیگر تفاوت دارند.



شکل ۱-۲: یک واکنش شکافت. (از سمت چپ در جهت ساعتگرد: نوترون، شکافت، باقی مانده شکافت، نوترون، نوترون، تشعشع گاما، نوترون، باقی مانده شکافت، ثانیه)

دو واکنش مبتنی بر ترکیبی ایزوتوپ‌های هیدروژن، دوتریم-دوتریم و دوتریم-تریتیوم، به طور گسترده به عنوان مرکز-ای برای تولید انرژی در نظر گرفته می‌شوند:



مشکل این است که این واکنش‌ها، واکنش‌های ذره باردار هستند. بنابراین برای اینکه هسته فعل و انفعال داشته باشد بایستی ذره‌ها با انرژی جنبشی بسیار بالا به یکدیگر برسند تا بر دافعه کولنی هسته باردار مثبت غلبه کنند. به عنوان یک حالت عملی، این کار را نمی‌توان با استفاده از شتاب‌دهنده ذره انجام داد زیرا شتاب‌دهنده نسبت به انرژی ایجاد شده، انرژی بیشتری را مصرف می‌کند. بلکه ابزارهایی باید ایجاد شود تا دماهایی در اندازه‌های دمای خورشید فراهم کنند. در این صورت ذره‌های با انرژی جنبشی زیاد می‌توانند بر مانع کولنی غلبه کرده و واکنش‌های هسته‌ای - حرارتی انجام دهند. در حالی که واکنش‌های هسته‌ای - حرارتی در داخل ستاره‌ها امری طبیعی است اما تا کنون در سطح زمین، دماهای لازم تنها در انفجارهای هسته‌ای - حرارتی به دست آمده و این دماها در حالت کنترل شده که برای تولید انرژی پایدار ضروری است به دست نیامده‌اند.

تلاش‌های بلند مدت برای به دست آوردن دماهای بالای کنترل شده برای ایجاد انرژی از واکنش‌های ترکیبی همچنان ادامه دارد. محققان بیشترین تاکید را بر واکنش D-T دارند زیرا این واکنش نسبت به واکنش D-D در دماهای پایین تر امکان پذیر است. اما واکنش D-T این عیب را دارد که بیشتر انرژی آزاد شده به صورت انرژی جنبشی ۱۴ MeV نوترونی ظاهر می‌شود که هر ماده‌ای که به آن تاثیر کند دچار خسارت شده و باعث می‌شود تا ماده، رادیو اکتیو شود.

اینک واکنش‌های شکافت را مورد بررسی قرار می‌دهیم که در آنها، انرژی توسط واپاشی یک هسته سنگین به دو هسته سبک‌تر که انرژی بستگی بیشتر برای هر نوکلئون دارند ایجاد می‌گردد. نوترون‌ها معمولاً

نوترون انرژی جنبشی قابل توجهی را به هسته انتقال می‌دهد که باعث از دست رفتن الکترون‌های اوربیتالی و لذا باردار شدن هسته می‌شود. البته الکترون‌هایی که از برخورد پرتوهای گاما انرژی جنبشی گرفته اند قبلاً باردار شده اند. در هر دو حالت، المان شرکت کننده در برخورد دچار کاهش شتاب شده و در فواصلی در حدود چند میکرون ساکن می‌شود و انرژی آن به صورت گرما در نزدیکی منطقه برخورد تلف می‌شود.

بیش از ۸۰٪ انرژی آزاد شده از شکافت به صورت انرژی جنبشی باقی مانده‌های شکافت ظاهر می‌شود. بقیه انرژی مربوط به نوترون‌ها، ذرات بتا و تابش‌ها گاما و نوترینو است. اما انرژی نوترینوها تلف می‌شود زیرا نوترینوها در فواصل تقریباً بی نهایت بدون برهم‌کنش با محیط حرکت می‌کنند. باقی مانده انرژی به صورت گرما در داخل راکتور بازیابی می‌شود. این انرژی به اندازه کم بین ایزوتوپ‌های شکافت پذیر متفاوت است؛ برای اورانیوم-۲۳۵ این مقدار تقریباً ۹۳ MeV یا $3.1 \times 10^{-11} \text{ J}$ ژول بر شکافت است.

تفاوت در مکانیزم‌های اتلاف انرژی میان ذرات باردار و خنثی باعث می‌شود تا آن‌ها با مکانیزم‌های متفاوت، آسیب‌های بیولوژیکی (زیستی) ایجاد کنند. تابش‌ها آلفا و بتا گسیل شده از محصولات شکافت یا سایر رادیوایزوتوپ‌ها ذراتی باردار هستند. به این تابش‌ها، تابش‌های غیر نافذ می‌گویند زیرا این تابش‌ها انرژی خود را برای مسافت یا برد بسیار کوتاه حفظ می‌کنند. تابش‌های آلفا یا بتا به پوست نفوذ نمی‌کنند و لذا در صورت نزدیکی به بدن، آسیب جدی ایجاد نمی‌کنند. آسیب جدی زمانی به وجود می‌آید که ایزوتوپ‌های پخش دهنده آن‌ها استنشاق یا بلعیده می‌شود. در این صورت، بسته به ویژگی‌های بیوشیمیایی ایزوتوپ‌ها، آسیب‌های جدی به ریه و دستگاه گوارشی و سایر ارگان‌ها وارد می‌شود. به عنوان مثال رادیو استرانسیوم، در مغز استخوان جمع شده و باعث جذب آن می‌شود در حالی که برای ید رادیواکتیو، غده تیروئید بیشترین آسیب را می‌بیند. بر عکس، از آنجا که ذرات خنثی (نوترون‌ها و پرتوهای گاما) در مسافت‌هایی در حدود سانتی متر بین برخوردها حرکت می‌کنند لذا بسیار

باقی مانده‌های شکافت به شدت باردار هستند زیرا طی سرعت‌های بالایی که این باقی مانده‌ها از شکافت حاصل می‌گردند باعث می‌شوند تا الکترون‌ها به هنگام برخورد با اتم‌های محیطی از پوسته خود جدا شوند. ذرات باردار به شدت با اتم‌های محیطی یا مولوکل‌هایی که با سرعت بالا حرکت می‌کنند برهم‌کنش نشان داده و باعث می‌شوند تا آنها یونیزه شوند. ایجاد جفت‌های یونی به انرژی نیاز دارد که این انرژی از انرژی جنبشی ذره باردار گرفته می‌شود که باعث کاهش شتاب و نهایتاً ساکن شدن ذره باردار می‌گردد. یون‌های مثبت و الکترون‌های آزاد ایجاد شده در مسیر ذره باردار بعداً با یکدیگر بازترکیب شده و انرژی به فرم گرما آزاد می‌کنند. مسافت مورد نیاز برای ساکن کردن ذره باردار، بُرد ذره نامیده می‌شود. برد باقی مانده‌های شکافت در جامدات تنها چند میکرون است و لذا بسیاری از انرژی شکافت در نزدیکی نقطه شکافت به گرما تبدیل می‌شود. ذرات باردار دیگر مانند ذرات آلفا و بتا که در واپاشی رادیو اکتیو گسیل می‌شوند رفتار مشابهی داشته و به سرعت دچار کاهش شتاب شده و ساکن می‌شوند؛ برای ذرات باردار سبک‌تر، برد ذرات کمی بیشتر است.

نوترون‌ها، پرتوهای گاما و نوترینوها خنثی بوده و رفتار به کلی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. این موارد از بار منفی الکترون‌های اطراف هسته یا میدان الکتریکی ناشی از هسته با بار مثبت تاثیر نمی‌پذیرند. لذا در خط مستقیم حرکت می‌کنند تا اینکه برخوردی داشته باشند که در آن منطقه، پراکنده شده و یا جذب می‌شوند. اگر جذب اتفاق افتد با اتلاف انرژی آن‌ها توسط برخورد از بین می‌روند. اگر پراکنده شوند در این صورت، جهت و انرژی آن‌ها تغییر کرده و در یک خط مستقیم دیگر به حرکت ادامه می‌دهند. اندازه مسیرهای حرکتی بین برخوردها چندین برابر فواصل بین اتمی است. در مورد نوترینوها، این فواصل بی‌نهایت است؛ برای نوترون‌ها و پرتوهای گاما، این فواصل بر حسب سانتی متر اندازه گیری می‌شوند. نوترون‌ها تنها توسط هسته پراکنده می‌شوند در حالی که پرتوهای گاما توسط الکترون‌ها نیز پراکنده می‌گردند. به جز انرژی‌های بسیار پایین،

زیان بار هستند. آسیب ایجاد شده توسط ذرات خنثی به طور یکنواخت بر روی کل بدن توزیع شده که ناشی از یونیزه شدن آب و سایر مولکول های بافتی در نقاطی است که نوترون ها به هسته یا پرتوهای گاما به الکترون ها برخورد می کنند.

منابع

1. Fundamentals Nuclear Reactor Physics Lewis Solution
2. Fundamentals Of Nuclear Science And Engineering 2nd Solutions
3. Fundamentals Of Physics Halliday
4. Fundamentals Of Solid State Physics J Richard Christman



در سرن چه می گذرد؟

پگاه سرتیپی زاده

کارشناسی فیزیک

ایمیل: pegahsartipizadeh@gmail.com



که در سال ۱۹۵۴ در بخش شمال شرقی شهر ژنو در کشور سوئیس در مجاورت مرز فرانسه ایجاد شد. در حال حاضر بیست کشور اروپایی عضو این سازمان بوده و بیش از ۲۶۰۰ کارمند به طور تمام وقت و همچنین در حدود ۷۹۳۱ دانشمند و مهندس (به نمایندگی ۵۸۰ دانشگاه و مؤسسه تحقیقاتی از ۸۰ کشور جهان) در آن مشغول به کار هستند.

فعالیت اصلی سرن ساخت افزارهای شتاب دهنده ذرات و دیگر زیربناها و ابزارهایی است که برای پژوهش های فیزیکی در انرژی های بالا استفاده می شوند. چندی پس

هدف ما شناخت جهان هستی و عناصر سازنده آن است؛ این کار را CERN انجام می دهد. در CERN، سازمان اروپایی تحقیقات هسته ای، فیزیکدانان و مهندسان، ساختار بنیادی جهان را بررسی می کنند. آن ها از بزرگ ترین و پیچیده ترین ابزار علمی جهان برای مطالعه مواد تشکیل دهنده اساسی ماده یعنی ذرات بنیادی استفاده می کنند. ذرات بنیادی قطعات سازنده جهان هستند. همه ذرات و مواد دیگر موجود در جهان از ذرات بنیادی ساخته شده اند.

سرن بزرگ ترین آزمایشگاه فیزیک ذره ای جهان است

برخی از این شتاب‌دهنده‌ها را در این‌جا بررسی می‌کنیم:

شتاب‌دهنده‌ی بزرگ ذرات هادرونی (LHC):

بزرگ‌ترین و قدرتمندترین شتاب‌دهنده ذرات در جهان است که ساخت آن ۳۰ سال طول کشید، نخستین بار در تاریخ ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۸ آغاز شد و تازه‌ترین افزوده شده به مجموعه شتاب‌دهنده‌های CERN است. LHC شامل یک حلقه ۲۷ کیلومتری مغناطیسی ابررسانایی با تعدادی از ساختارهای شتاب‌دهنده برای افزایش انرژی ذرات در طول مسیر است، داخل آن علاوه‌بر خلأ کامل، دمایی در حدود ۲ درجه بالاتر از صفر مطلق برقرار است. فیزیکدانان امیدوارند که شتاب‌دهنده‌ی بزرگ هادرون به پاسخ برخی از سوالات بنیادین در فیزیک بپردازد، از جمله قوانین اساسی حاکم بر تعاملات و نیروها با ذرات بنیادی، ساختار فضا و زمان و به‌ویژه رابطه بین مکانیک کوانتومی و نسبیت عام.

LHC بزرگ‌ترین و شتاب‌دهنده‌ترین، شتاب‌دهنده‌ی ذرات انرژی در جهان است. برخورد دهنده در یک تونل دایره‌ای با محدوده ۲۶٫۷ کیلومتر، در عمق ۵۰ تا ۱۷۵ متر در زیر زمین قرار دارد. درون شتاب دهنده، دو پرتو ذرات با انرژی بالا در نزدیکی سرعت نور، قبل از اینکه برخورد کنند، حرکت می‌کنند. تونل برخورد دهنده حاوی دو خط مجاور موازی (یا لوله‌های پرتو) است که هر کدام دارای یک پرتو هستند که در جهت مخالف در دور حلقه حرکت می‌کنند. حدود ۱۲۳۲ دیافراگم مغناطیسی، پرتوها را در مسیر دایره‌ای خود نگه می‌دارد، در حالی که ۳۹۲ آهنربای چهار قطبی دیگر برای نگه داشتن پرتوهای متمرکز، با آهنرباهای چهارگوش بزرگ‌تر نزدیک به نقاط تقاطع استفاده می‌شود تا شانس برخورد را به حداکثر برساند، در کل، حدود ۱۰۰۰۰ آهنربای ابررسانا نصب شده‌است. آهنرباهای دو قطبی دارای وزنی بیش از ۲۷ تن هستند. تقریباً ۹۶ تن هلیوم ۴ ابرشاره برای نگهداری آهنرباهای ساخته شده از مس، نیوبیوم و تیتانیوم با دمای عملیاتی ۱٫۹ کلوین (۲۷۱٫۲۵- درجه سانتی‌گراد) لازم است و

از تأسیس مرکز، کارهای انجام گرفته درون آزمایشگاه فراتر از پژوهش بر روی هسته اتم‌ها پیش رفت و وارد حوزه فیزیک انرژی‌های بالا شد.

اطلاعاتی درباره‌ی شتاب‌دهنده‌ها:

شتاب‌دهنده‌های اولیه حالتی خطی داشتند؛ اوایل لوله شتاب‌دهنده‌ها را به صورت مستقیم می‌ساختند و ذرات در انتهای این شتاب‌دهنده خطی، به یک ورق نازک فلزی برخورد می‌کردند. می‌دانیم که هرچه سرعت ذره بیش‌تر شود، انرژی تولید شده در اثر برخورد نیز بیش‌تر خواهد شد، اما برای این‌که ذره را به سرعت‌های بسیار بالای مورد نیاز در برخی آزمایشات خاص برسانیم، به لوله‌ای طولانی‌تر از محیط کره زمین نیاز داشتیم.

اشتباه اصلی آن‌جا بود که دانشمندان می‌خواستند مسیر مستقیم را برای رسیدن به سرعت نور طی کنند. پس از مدتی، این ایده به ذهنشان رسید که ذرات را در مسیری شبیه میدان مسابقات ورزشی بارها و بارها بگردانند و سرعتشان را افزایش دهند تا به حد مطلوب برسند، این‌جا بود که شتاب‌دهنده حلقوی ابداع شد. بهترین قسمت ماجرا این‌جاست که در شتاب‌دهنده خطی، در بهترین حالت امیدوار بودیم که، ذره با کسری از سرعت نور به چیزی برخورد کند، چون دستیابی به سرعت نور یا عبور از آن برای اجسام دارای جرم ناممکن است. حال با طراحی هوشمندانه حلقه، می‌توانیم ذرات را در دو راستا (هم جهت یا خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت) شتاب داده و به جای آنکه مانعی را سر راه آن‌ها قرار دهیم، دو ذره را به سمت یکدیگر هدایت کنیم، درست مانند دو لاین ترافیک که با سرعت تمام به سمت هم در حرکت هستند.

نتیجه چیست؟ ذره‌ای با ۹۹ درصد سرعت نور که به سمت غرب در حرکت است، به ذره‌ای که با همین سرعت در جهت مخالف حرکت می‌کند، برخورد کرده و برخوردی را با سرعتی بیشتر از سرعت نور به وجود می‌آورد؛ پدیده‌ای که در طبیعت هم به این راحتی‌ها دیده نمی‌شود.

۲۷ کیلومتری فوق را دور می‌زنند، به طور میانگین با یک میلیارد برخورد در هر ثانیه روبه‌رو هستیم. مشکل این‌جاست که در اکثر برخوردها، ذراتی تولید می‌شوند که دانشمندان به خوبی آن‌ها را می‌شناسند. با این حال، گاهی اوقات شاهد تولید ذرات بسیار کمیابی مانند «بوزون هیگز»^۳ هستیم که همانند اکثر ذرات بنیادی، به صورت مستقیم مشاهده نشده و فقط وجود آن از طریق دیگر ذرات نتیجه شده‌است.

هرچه نیروی برخورد پروتون‌ها بیش‌تر باشد، احتمال تولید ذرات پر انرژی نیز بالاتر می‌رود. افزایش طول حلقه و تقویت آهنرباها و میدان شتاب‌دهنده، باعث افزایش نیروی پروتون‌ها می‌شود و به همین دلیل، احتمالاً به زودی شاهد بازنشستگی LHC و ظهور ابرسازهای دیگری باشیم. شتاب دهنده‌ای که حدود ۱۰۰ کیلومتر طول خواهد داشت.

آزمایش‌هایی که در LHC به کار گرفته شد عبارت‌اند از:

ALICE، ATLAS، CMS، LHCb، LHCf، MOEDAL و TOTEM.

ALICE همچنین می‌خواهد هویت هر یک از ذرات را بداند، چه یک الکترون باشد، چه یک پروتون، یک کائون و یا یک پیون.

آشکارساز CMS در اطراف یک آهنربای سلنویید بزرگ ساخته شده‌است. این شکل، یک سیم پیچ استوانه‌ای از کابل ابررسانایی است که یک میدان ۴ تسلا را به وجود می‌آورد که حدود ۱۰۰۰۰۰ برابر میدان مغناطیسی زمین است. این میدان توسط یک «یوغ» فولادی محصور می‌شود که وزن آن ۱۴۰۰۰ تن است.

اما چرا کشف بوزون هیگز تا این حد اهمیت دارد که باعث شده مهم‌ترین کار LHC لقب بگیرد؟ بوزون هیگز معروف به ذره خدا، یک ذره بنیادی اولیه فرضی که دارای جرم است و مشاهده‌ی تجربی این ذره توانسته درباره‌ی چگونگی جرم دار شدن ماده توسط ذرات بنیادی بدون جرم دیگر را توضیح دهد.

LHC بزرگ‌ترین تاسیسات فریزر در جهان در دمای مایع هلیوم را داراست. در جریان عملیات LHC، سایت CERN تقریباً ۲۰۰ مگاوات برق را از شبکه برق فرانسه برداشت می‌کند که شتاب دهنده و آشکارسازهای LHC حدود ۱۲۰ مگاوات از آن را استفاده می‌کنند. سرن تخمین می‌زند مصرف برق سالانه برای این برخورددهنده حدوداً ۸۰۰ هزار مگاوات ساعت خواهد بود.

درست قبل از برخورد، نوع دیگری از آهنربا برای فشردن ذرات و نزدیک کردن بیش‌تر آن‌ها به یکدیگر و به منظور افزایش شانس برخورد استفاده می‌شود. برخورد دهنده هادرونی بزرگ، ذرات را به ۹۹,۹۹۹۹۹۹۱ درصد سرعت نور می‌رساند.

دانشمندان با استفاده از مقدار بسیار ناچیزی هیدروژن خالص، پروتون‌ها را داخل حلقه می‌فرستند و سپس با بهره‌گیری از هزاران آهنربای الکتریکی ابررسانا، آن‌ها را در مسیر خود به حرکت در می‌آورند. هر قسمت از مسیر^۱، میدان تابش فرکانس رادیویی^۲ خاصی را دارد که با آهنگ ۴۰۰ مگاهرتز در نوسان است. این میدان، ذره را به محض ورود، سرعت بخشیده و در کسری از ثانیه، جهت خود را عوض می‌کند تا ذره دیگر را در مسیر مخالف شتاب دهد. بدین ترتیب، به سرعتی معادل ۹۹,۹۹۹۹۹۹۱ درصد سرعت نور می‌رسد.

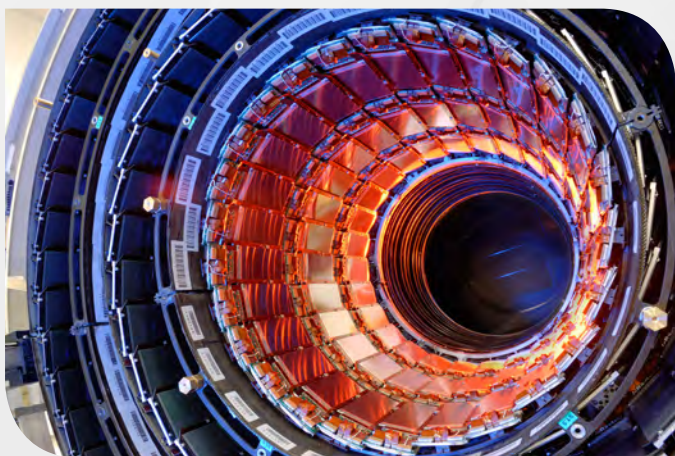
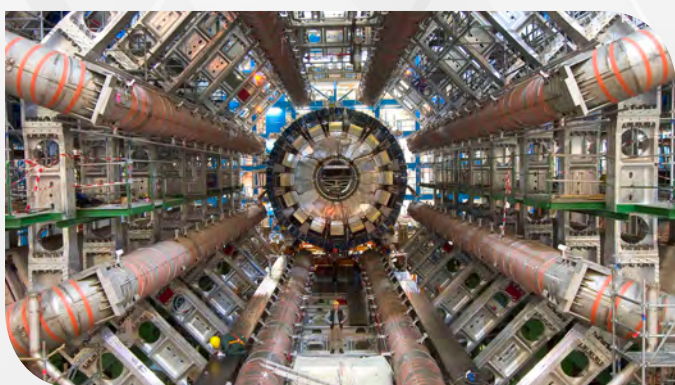
در اطراف حلقه، آشکارسازهای ذرات قرار گرفته‌اند که در واقع هزاران ابزار فوق دقیق و حساس را در خود جای داده و می‌توانند حتی یک ذره زیراتمی را شناسایی کنند. درون این شتاب‌دهنده، هزاران گروه پروتون در حرکت هستند. هر گروه بیش از ۱۰۰ میلیارد پروتون در خود دارد و مسیر حرکت تمام آن‌ها به نصف قطر موی انسان می‌رسد. با این حال، ذرات به قدری کوچک هستند که احتمال برخورد آن‌ها با یکدیگر بسیار کم است، یعنی شاید یک برخورد به ازای هر ۵۰۰ میلیون بار عبور از نزدیک.

فوتون‌ها در هر ثانیه ۱۱ هزار بار مسیر ۲۷ کیلومتری LHC را دور می‌زنند، البته چون سرعت حرکت ذرات بسیار سریع است و در هر ثانیه، ۱۱ هزار مرتبه مسیر

مدل استاندارد: این نظریه بهترین توضیح و تفسیری است که فیزیکدانان توانسته‌اند درباره‌ی چگونگی کنار هم قرار گرفتن بلوک‌های سازنده جهان ارائه کنند. این تئوری شرح می‌دهد که چگونه ۱۲ ذره بنیادی توسط چهار نیروی اصلی کنترل می‌شوند. این مدل به شما این امکان را می‌دهد که هر چیزی که در این جهان وجود دارد را به جز جاذبه محاسبه کنید.

اصطلاح هادرون به ذرات ترکیبی متشکل از کوارک‌ها اشاره می‌کند که توسط نیروی قوی به یکدیگر متصل شده‌اند (مانند اتم‌ها و مولکول‌ها که توسط نیروی الکترومغناطیسی نگه داشته می‌شوند).

اینشتین: «منطق، شما را از نقطه الف به نقطه ب، ولی تخیل شما را به بی‌نهایت می‌برد.»



هیگز آخرین بخش گمشده مدل استاندارد^۴ است. ۱۱ ذره‌ی دیگری که توسط این مدل پیش بینی شده‌اند، تاکنون کشف شده بودند و حالا پیدا شدن هیگز می‌تواند مدل استاندارد را تایید کند. با اثبات وجود این ذره، ما مجبور به باز اندیشی در خصوص نحوه شکل‌گیری جهان خواهیم بود.

دانشمندان معتقدند در یک میلیارد ثانیه پس از مه‌بانگ، جهان هستی یک سوپ فوق‌العاده غول‌پیکر از ذراتی بوده که با سرعت نور با یکدیگر مسابقه گذاشته بودند و هیچ جرمی نداشته‌اند. در این میان برهمکنش آن‌ها با میدان هیگز باعث شده که جرم پیدا کنند و سرانجام جهان شکل بگیرد (این فقط یک نظریه است). میدان هیگز، یک میدان انرژی نادیدنی است که تمام کیهان را در بر گرفته است. برخی ذرات مانند فوتون توسط این میدان تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند و در نتیجه جرمی ندارند. بقیه ذرات اما در این میدان به دام افتاده‌اند. تمامی ذرات با فواصل کم و زیاد در اطراف این میدان هستند و بوزون‌ها، هیگز را که به صورت خوشه‌ای به تعداد کاملاً متفاوت در اطراف هر ذره هستند به خود جذب می‌کنند.

توضیحاتی در مورد ذرات زیر اتمی: در فیزیک ذرات، به ذراتی هادرون گفته می‌شود که از ترکیب دو یا سه کوارک تشکیل شده باشد. نیروهای هسته‌ای قوی، این کوارک‌ها را در کنار هم قرار می‌دهند. دو زیر مجموعه از هادرون‌ها وجود دارد: **باریون‌ها و مزون‌ها**.

باریون‌ها از سه کوارک و مزون‌ها از دو کوارک تشکیل شده‌اند. از معروف‌ترین باریون‌ها می‌توان به پروتون‌ها و نوترون‌ها اشاره کرد.

مزون‌ها معمولاً در آزمایش‌های فیزیک ذرات تولید می‌شوند از جمله پيون‌ها و کائون‌ها. کائون به مزون‌هایی اطلاق می‌شود که از یک کوارک شگفت (یا پاد آن) و یک کوارک دیگر تشکیل شده باشد.

4. Standard Model

خلاصه‌ی مطلب:

منابع:

www.digiato.com/article/d

www.home.cern/topics/large-hadron-collider

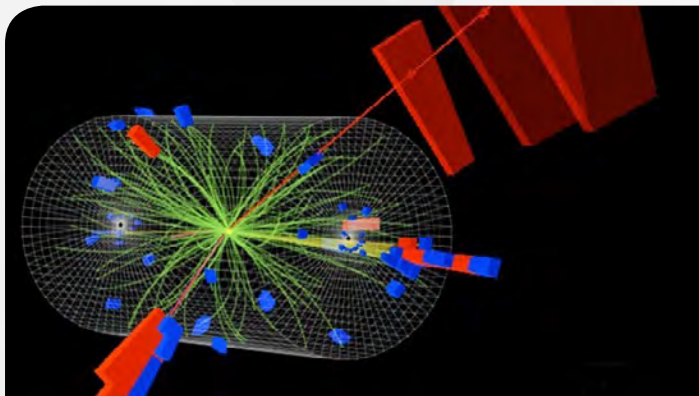
www.earthsky.org/human-world/large-hadron-collider-lhc-discoveries

www.theguardian.com/science/large-hadron-collider

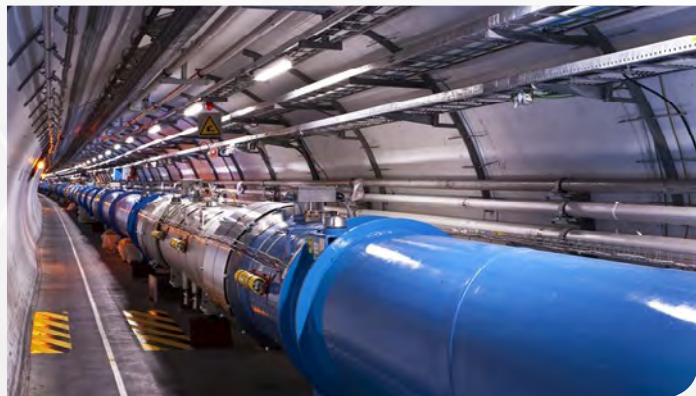
www.forbes.com/sites/startswithabang/

www.phys.org

در این جا ما نگاه کوچکی به بزرگترین شتاب‌دهنده‌ی جهان می‌اندازیم. این دستگاه پرتوهای پروتون را با سرعت ۲۹۷۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه در جهات مختلف پرتاب می‌کند. چهار ردیاب بزرگ این ذرات را در چهار نقطه به هم برخورد می‌دهد. به واسطه برخورد ذرات است که دانشمندان می‌توانند درباره عناصر بنیادی ماده و عناصر بنیادی هر چیزی که در طبیعت وجود دارد و به‌علاوه درباره ساختار و تکامل جهان هستی پژوهش کنند که از جمله مهم‌ترین کارهای صورت گرفته، کشف بوزون هیگز بوده‌است.



وقتی دو پروتون با سرعت نور به هم برخورد می‌کنند

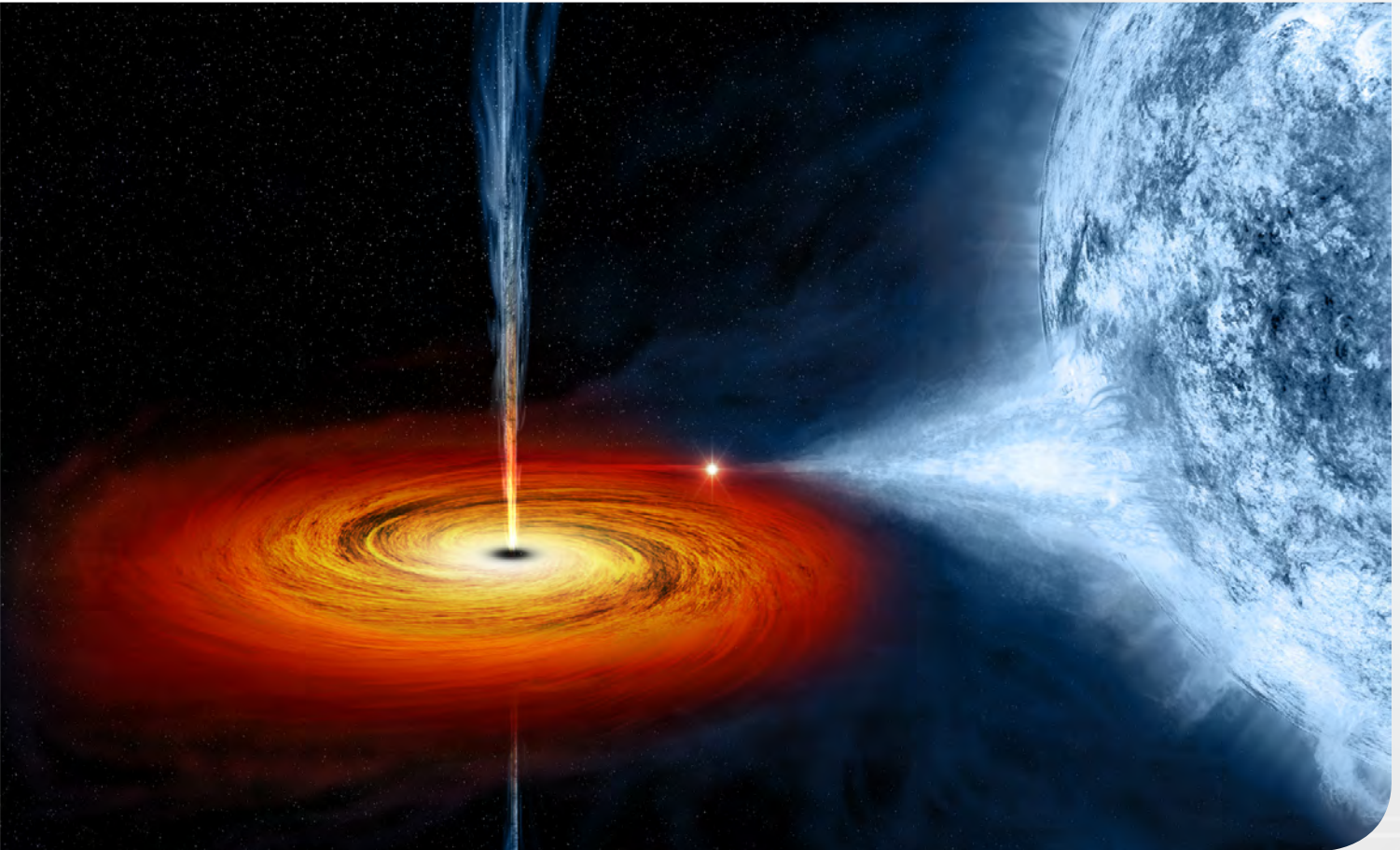


LHC پیچیده ترین سازی بشر، در تونلی زیرزمینی به طول ۲۷ کیلومتر



سیاهچاله چیست؟

What Is a Black Hole?



سیاهچاله را با دیگر ستارگان مشاهده کنند.

سیاهچاله‌ها چقدر بزرگ هستند؟

سیاهچاله‌ها می‌توانند کوچک باشند و یا بزرگ! دانشمندان معتقدند کوچک‌ترین سیاهچاله‌ها به کوچکی یک اتم هستند. این سیاهچاله‌ها در عین حال که بسیار ریز هستند اما جرمی به سنگینی یک کوهستان دارند.

نوع دیگری از سیاهچاله‌ها، سیاهچاله‌های ستاره‌وار^۱

1. Stellar

سیاهچاله محلی در فضا است که گرانش آن به قدری زیاد است که حتی نور هم نمی‌تواند از آن بگریزد. علت این گرانش قوی، فشردگی ماده در فضایی بسیار کوچک است. این فشردگی می‌تواند هنگام مرگ یک ستاره رخ دهد.

از آنجایی که هیچ پرتوی نوری نمی‌تواند از سیاهچاله خارج شود مردم نمی‌توانند سیاهچاله‌ها را ببینند، آن‌ها نامرئی‌اند. تلسکوپ‌های فضایی با ابزاری به خصوص می‌توانند در یافتن سیاهچاله‌ها کمک کنند. این ابزار ویژه می‌تواند تفاوت رفتار ستارگان بسیار نزدیک به

اتفاق رخ می‌دهد، می‌تواند باعث ایجاد یک ابرنواختر گردد. ابرنواختر یک ستاره‌ی انفجاری است که بخشی از ستاره را درون فضا پرتاب می‌کند.

دانشمندان فکر می‌کنند که ابرسیاهچاله‌ها هم‌زمان با کهکشان‌هایی که در آن قرار دارند تشکیل شده‌اند.

اگر سیاهچاله‌ها سیاه هستند پس چگونه دانشمندان می‌دانند که کجایند؟!

سیاهچاله‌ها به علت گرانش بسیار قوی‌ای که حتی نور را هم به درون آن می‌کشاند قابل رؤیت نیستند اما دانشمندان می‌توانند مشاهده کنند که گرانش قوی چگونه بر ستارگان و گازهای اطراف سیاهچاله اثر می‌گذارد. دانشمندان می‌توانند ستارگان را مطالعه کنند تا دریابند آیا آن‌ها در حال حرکت یا چرخش به دور یک سیاهچاله هستند یا خیر!

هنگامی که یک سیاهچاله و ستاره به یک دیگر نزدیک باشند، نور انرژی بالا به وجود می‌آید. این نوع نور قابل مشاهده با چشم انسان نیست. دانشمندان از ماهواره‌ها و تلسکوپ‌ها در فضا برای دیدن این نوع نور استفاده می‌کنند.

نامیده می‌شوند. جرم آن‌ها می‌تواند بیش از بیست برابر جرم خورشید باشد. ممکن است تعداد بسیار بسیار زیادی سیاهچاله‌ی ستاره‌وار در کهکشان راه شیری وجود داشته باشد.

بزرگ‌ترین سیاهچاله‌ها، ابر سیاهچاله^۲ نام دارند. این سیاهچاله‌ها می‌توانند جرمی بیش‌تر از مجموع جرم یک میلیون خورشید داشته باشند. دانشمندان اثبات کرده‌اند که هر کهکشان بزرگی شامل یک ابرسیاهچاله در مرکز خود است. سیاهچاله‌ی مرکزی کهکشان راه شیری Sagittarius A نام دارد که جرمی برابر با جرم حدود چهارمیلیون خورشید دارد و یک توپ بسیار بزرگ را که می‌تواند چند میلیون زمین را در خود جای دهد پر می‌کند.

سیاهچاله چگونه شکل می‌گیرد؟

به عقیده‌ی دانشمندان، ریزترین سیاهچاله‌ها به هنگام شروع جهان شکل گرفته‌اند.

سیاهچاله‌های ستاره‌وار وقتی تشکیل می‌شود که یک ستاره‌ی بسیار بزرگ روی مرکز خودش فروریزد. وقتی این

2. Supermassive

آیا یک سیاه‌چاله می‌تواند زمین را نابود کند؟ سیاه‌چاله‌ها در فضا در حال قدم زدن و قورت دادن ستارگان، قمرها و سیارات نیستند! زمین به درون یک سیاه‌چاله سقوط نخواهد کرد؛ چرا که هیچ سیاه‌چاله‌ای به اندازه‌ی کافی برای این کار به زمین و منظومه‌ی خورشیدی نزدیک نیست! حتی اگر خورشید را با یک سیاه‌چاله به جرم خودش جا به جا کنیم بازهم زمین به داخل آن سقوط نخواهد کرد. این سیاه‌چاله گرانشی برابر گرانش خورشید خواهد داشت؛ زمین و دیگر سیارات همان‌طوری به دور سیاه‌چاله خواهند چرخید که به دور خورشید می‌چرخند. و این که خورشید هرگز تبدیل به یک سیاه‌چاله نخواهد شد زیرا برای سیاه‌چاله شدن به اندازه‌ی کافی بزرگ نیست.

ناسا چگونه در حال مطالعه‌ی سیاه‌چاله‌هاست؟ ناسا با استفاده از ماهواره‌ها و تلسکوپ‌هایی که در فضا سفر می‌کنند، درباره‌ی سیاه‌چاله‌ها اطلاعات بیش‌تری کسب می‌کند. این فضاپیماها به دانشمندان کمک می‌کنند تا به پرسش‌ها در مورد جهان پاسخ دهند.

ترجمه شده از:

www.nasa.gov

تصویر سیاه‌چاله، تاریخ‌ساز می‌شود؛ تلسکوپ‌های ناسا مشاهدات را هم‌پایه کردند.

تصویری از یک سیاه‌چاله و سایه‌اش برای اولین بار ثبت شده‌است؛ شاهکاری تاریخی توسط یک شبکه‌ی بین‌المللی از تلسکوپ‌های رادیویی به نام EHT (Event Horizon Telescope).



ابرسیاه‌چاله‌ی مرکزی $M87^1$ ، یک کهکشان بیضی‌شکل با فاصله‌ی ۵۵ میلیون سال نوری از زمین است. جرم این سیاه‌چاله ۶٫۵ میلیارد برابر جرم خورشید است. عملیات به دست آوردن سایه‌ی آن شامل هشت تلسکوپ رادیویی بر پایه‌ی زمین در سراسر جهان است و به گونه‌ای با یکدیگر همکاری می‌کنند که کارایی تلسکوپی به اندازه‌ی کل سیاره‌ی ما را دارند.

پائول هرتز، مدیر بخش اختر فیزیک مرکز فرماندهی ناسا در وانشگتن گفت: «این یک دستاورد فوق‌العاده توسط تیم ای‌اچ‌تی است. در سال‌های گذشته ما گمان می‌کردیم که لازم است یک تلسکوپ بسیار بزرگ فضایی برای تصویر برداری از سیاه‌چاله درست کنیم. با قرار دادن تلسکوپ‌های رادیویی که به صورت هماهنگ

ای‌اچ‌تی یک همکاری بین‌المللی است که در ایالات متحده توسط نهادهای مختلفی از جمله بنیاد ملی علوم، پشتیبانی می‌شود.

سیاه‌چاله موجودی به شدت چگال است که هیچ نوری نمی‌تواند از آن فرار کند. هر چیزی که به افق رویداد سیاه‌چاله وارد شود، راه بازگشتی نخواهد داشت و از بین می‌رود؛ به علت گرانش غیر قابل تصور قوی سیاه‌چاله، هرگز دوباره ظاهر نخواهد شد. یک سیاه‌چاله به علت ماهیت خود نمی‌تواند دیده شود اما دیسک داغ ماده‌ای که آن را محاصره می‌کند درخشان است. در مقابل یک پس‌زمینه‌ی روشن، مانند این دیسک، این گونه به نظر می‌رسد که سیاه‌چاله سایه‌ای ایجاد کرده‌است. تصویر جدید خیره‌کننده، نشان‌دهنده‌ی سایه‌ی

1. Messier 87

مانند یک ابزار کار می‌کنند، در سراسر جهان، تیم ای‌اچ‌تی چند دهه زودتر به این تصویر دست یافت. برای تکمیل یافته‌های ای‌اچ‌تی، تعدادی از فضاپیماهای ناسا توسط «گروه کاری چند طول موجهی ای‌اچ‌تی» هماهنگ شدند تا سیاه‌چاله با طول موج‌های مختلف نور مشاهده شود. در قسمتی از این عملیات، رصدخانهی اشعه‌ی ایکس چاندراي ناسا، آرایه‌ی تلسکوپ هسته‌ای اسپکتروسکوپی^۲ و ماموریت‌های تلسکوپ فضایی رصدخانه‌ی نیل گراهام سوئیفت که همگی با انواع مختلف اشعه‌ی ایکس هماهنگ شده بودند، هم‌زمان با ای‌اچ‌تی در آوریل ۲۰۱۷ به سیاه‌چاله‌ی M87 خیره شدند.

تلسکوپ فضایی اشعه‌ی گامای فرمی ناسا نیز در حال مشاهده‌ی تغییرات اشعه‌ی گامای نور از M87 حین مشاهدات ای‌اچ‌تی بود. اگر ای‌اچ‌تی تغییرات در ساختار محیط سیاه‌چاله را مشاهده می‌کرد، داده‌های این ماموریت‌ها و دیگر تلسکوپ‌ها می‌توانست کمک کند تا بفهمیم چه اتفاقی در حال رخ دادن است. هنگامی که مشاهدات ناسا مستقیماً تصویر تاریخی را ردیابی نمی‌کرد، ستاره‌شناسان از داده‌های ماهواره‌های چاندرا و نوستار ناسا برای اندازه‌گیری روشنایی اشعه‌ی ایکس جت M87 استفاده کردند. دانشمندان از این اطلاعات برای مقایسه‌ی مدل‌های خود از جت و دیسک اطراف سیاه‌چاله با مشاهدات ای‌اچ‌تی استفاده کردند. ممکن است با ادامه‌ی مطالعه‌ی دقیق این داده‌ها توسط پژوهشگران دیدگاه‌های دیگری هم ایجاد شود. سوالات بسیاری در مورد سیاه‌چاله‌ها وجود دارد که مشاهدات هماهنگ ناسا ممکن است در پاسخ به آن‌ها کمک کند. معماها در مورد این که ذرات، افزایش شدید انرژی در اطراف سیاه‌چاله دارند، تشکیل جت‌های برجسته‌ای که از قطب سیاه‌چاله‌ها با سرعتی نزدیک سرعت نور دور می‌شوند.

هنگامی که مواد به داخل سیاه‌چاله سقوط می‌کنند، انرژی کجا می‌رود؟

جوی نیلسون گفت: «اشعه‌ی ایکس به ما در مرتبط

کردن آن‌چه بر ذرات نزدیک افق رویداد اتفاق می‌افتد با آن‌چه که توسط تلسکوپ هایمان اندازه‌گیری می‌کنیم کمک می‌کند.» او یک ستاره‌شناس در دانشگاه ویلانووا در پنسیلوانیا و به نمایندگی از گروه چند طول موجهی ای‌اچ‌تی، رهبر تحلیل‌های چاندرا و نوستار است. تلسکوپ‌های فضایی ناسا، پیش‌تر جتی را که بیش از هزار سال نوری از مرکز M87 فراتر رفته بود، مطالعه کردند. جت از ذراتی که با سرعت نزدیک نور حرکت می‌کنند و با انرژی زیاد، نزدیک افق رویداد پرتاب شدند ساخته شده‌است. ای‌اچ‌تی برای مطالعه‌ی بخشی از منشاء این جت و دیگر جت‌های مشابه طراحی شده بود. یک حباب از ماده به نام HST-1 توسط اخترشناسان هابل در سال ۱۹۹۹ در این جت کشف شد که یک چرخه‌ی اسرارآمیز از روشنایی و تاریکی را تجربه کرده بود.

چاندرا، نوستار، سوئیفت و فرمی و همچنین آزمایش «تحقیق ترکیبات داخلی ستاره‌ی نوترونی ناسا^۳»، به صورت هماهنگ با ای‌اچ‌تی به سیاه‌چاله‌ی کهکشان راه شیری خودمان، Sagittarius A، نیز نگاه کردند. دانشمندان تأکید می‌کنند که قرار دادن تعداد زیادی تلسکوپ مختلف روی زمین و در فضا که همگی به یک شیء آسمانی مشترک نگاه کنند یک تعهد بزرگ است. نیلسون گفته‌است: «برنامه‌ریزی تمام این مشاهدات هماهنگ مساله‌ای بسیار سخت برای هر دو گروه برنامه‌ریز ای‌اچ‌تی و ماموریت‌های چاندرا و نوستار بود. آن‌ها کار بسیار غیر قابل باوری انجام دادند تا اطلاعاتی که اکنون داریم، به ما بدهند و ما بی‌نهایت سپاس‌گزاریم.»

نیلسون و همکارانش روی تشعشع کل طیف نور آمده از سیاه‌چاله‌ی M87 کار خواهند کرد؛ از امواج رادیویی کم انرژی گرفته تا پرتوهای گامای پرنرژی. با داده‌های بسیار زیاد از ای‌اچ‌تی و دیگر تلسکوپ‌ها، دانشمندان می‌توانند سال‌ها در اکتشاف پیش بیافتند.

الیزابت لاندو

مرکز فرماندهی ناسا، واشنگتن

مصاحبه با دکتر محمدحسن وحیدی نیا

فائزه صابری

کارشناسی فیزیک

fsaberi.75@gmail.com

در این شماره، دکتر محمد حسن وحیدی نیا، استاد جوان دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، با حوصله و بیانی شیوا لطف کردند و به سوالات ما پاسخ دادند. این مصاحبه در تاریخ بیست و یکم فروردین سال هزار و سیصد و نود و هشت (بله! روز انتشار اولین تصویر سیاهچاله) به صورت اینترنتی انجام شد.



ممکن است کمی در مورد خودتان توضیح دهید؟ این که کجا تحصیل، تدریس و فعالیت کرده اید؟

من محمدحسن وحیدی نیا هستم. متولد ۱۳۶۴، شیراز.

دوره‌ی تحصیلات ابتدایی، راهنمایی، دبیرستان و پیش‌دانشگاهی را در شیراز سپری کردم، در سال ۱۳۸۲ دوره‌ی کارشناسی را در دانشگاه آزاد شیراز آغاز کرده و سال ۱۳۸۶ از آن‌جا فارغ‌التحصیل شدم. رشته‌ی تحصیلی مقطع کارشناسی‌ام فیزیک و ارشد گرایش ذرات بنیادی، دانشگاه فردوسی مشهد، بوده‌است. سال ۱۳۸۸ از دانشگاه فردوسی مشهد فارغ‌التحصیل شده و برای ادامه تحصیل در مقطع دکتری به شیراز بازگشتم و در گرایش گرانش و کیهان‌شناسی مشغول به تحصیل شدم و در سال ۱۳۹۲ فارغ‌التحصیل شدم. استاد راهنمای دوره‌ی کارشناسی ارشدم، دکتر محمود قدسی و استاد راهنمای دوره‌ی دکترا، دکتر محمدحسین دهقانی بودند.

سال ۹۲ بعد از فارغ‌التحصیلی دوره دکتری، به مدت یک سال هیئت علمی دانشگاه سلمان کازرون بودم و بعد از آن دوره‌ی پسا دکتری را به مدت سه سال در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی گذراندم. یک سال بعد در همان پژوهشگاه (پژوهشگاه دانش‌های بنیادی)، به عنوان محقق مقیم، مشغول به فعالیت شدم و از سال ۱۳۹۷ به عنوان هیئت علمی در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان مشغول به کار شدم.

استاد! چه شد که تصمیم گرفتید فیزیک بخوانید؟

نمی‌دانم چگونه به این سوال پاسخ دهم.

علاقه‌ی من به فیزیک از نجوم و الکترونیک آغاز شد. این علایق مربوط به دوران دبستان است، سنین حدود هشت- نه سالگی. فکر می‌کنم در دوره‌ی راهنمایی، به این نتیجه رسیدم که فیزیک علمی است که به آن علاقه‌مندم زیرا هم به نجوم مربوط می‌شد و هم الکترونیک. همچنین خیلی از موضوعات دیگری که برای من جالب و جذاب بود. در واقع از دوره‌ی راهنمایی تصمیم قاطع داشتم که در رشته فیزیک ادامه تحصیل دهم. بدین ترتیب در انتخاب رشته‌ی دانشگاهی، تنها رشته فیزیک را انتخاب کردم.

مسئله‌ای که به فیزیکی‌ها زیاد گفته می‌شود این است که رشته‌ی شما به چه دردی می‌خورد؟ قسمت‌هایی از فیزیک به صورت مستقیم کاربرد دارند ولی گرایش‌هایی مثل ذرات و کیهان کاربردشان چندان مستقیم نیست و شاید بیش‌تر تئوری باشند. جواب شما برای این سوال چیست؟ مردم چرا فیزیک می‌خوانند؟

من چندین جواب، در سطوح مختلف می‌توانم به این سوال بدهم.

اولین جوابی که می‌توانم به شما بدهم این است که چرا مردم نقاشی می‌کنند؟ یا این که چرا مردم شعر می‌خوانند؟ یا موسیقی گوش می‌دهند؟

شاید جواب شما این باشد که: بعضی‌ها از این کار لذت می‌برند.

بعد می‌گوییم عده‌ای هم از این که درباره‌ی قوانین طبیعت، درباره‌ی جهان هستی، درباره‌ی گیتی، درباره‌ی ساختارهای منطقی و نظری بخواهند فکر کنند، لذت می‌برند.

بعد می‌گویید چرا باید برایش هزینه شود یا سوالاتی از این قبیل؟ در پاسخ به این سوال باید بگوییم همان‌طور که برای نقاشی، شعر، موسیقی و تئاتر هزینه می‌شود برای این هم هزینه می‌شود.

این یک جواب است! اما اگر بخواهیم واقعیت را دقیق‌تر نگاه کنیم، می‌بینیم که رسالت رشته‌ی فیزیک و درواقع علم فیزیک بیش‌تر از این است. درست است که فیزیکدان‌ها گاهی صرفاً از سر کنجکاوی، مانند ریاضی‌دان‌ها به بعضی از مسائل می‌پردازند، اما اکثر اوقات سال‌ها بعد مشخص می‌شود آن مطالعات نظری که انجام شده چه اهمیتی داشته‌اند.

چند مثال تاریخی برای درک بیش‌تر این موضوع مطرح می‌کنم:

به طور مثال، وقتی که نیوتون یا قبل‌تر از او مثلاً کپلر یا براهه و یا گالیله و امثال آن‌ها داشتند درباره‌ی حرکت اجرام آسمانی فکر می‌کردند می‌توانستیم بپرسیم، خب چه اهمیتی دارد؟ اجرامی در آسمان در حال حرکتند، در زندگی روزمره‌ی بشر این موضوع چه اهمیتی دارد؟

بعد از آن که نیوتون هم قوانین گرانش را فرمول بندی کرد، هنگامی که گرانش عمومی و مکانیک نیوتونی را فرمول بندی کرد، باز هم می‌توانستیم بپرسیم چه فایده‌ای دارد کسی درباره‌ی حرکات سیاره‌های منظومه‌ی شمسی نظر دهد؟ اما اگر آن مطالعات نبود الان ما ماهواره‌ها را نداشتیم. ماهواره‌هایی که در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند.

مثال دیگری که می‌توانم مطرح کنم، وقتی که اینشتین شروع به تفکر درباره‌ی نسبیت خاص و نسبیت عام کرد، سوال کاملاً نظری بود؛ درباره‌ی نسبیت خاص، کنجکاوی درباره‌ی این بود که قوانین ماکسول که ظاهراً در آن‌ها پیش‌بینی می‌شد سرعت خاصی به نام سرعت نور وجود دارد، با تصویر گالیله از نسبیت سازگار هستند یا نه؟ یک سوال نظری منجر به نسبیت خاص شد.

در ادامه‌ی آن، نسبیت عام اینشتین متولد شد که شاید روز اول تنها پیش‌بینی‌ای که می‌توانست انجام دهد انحراف کوچک در حرکت عطارد بود. همچنین کمی هم درباره‌ی خمش نور در اطراف اجرام سنگین مثلاً خورشید پیش‌بینی می‌کرد. اما اگر تاثیرات نسبیت خاص و نسبیت عام را بلد نبودیم، احتمالاً ماهواره‌های GPS ای که برای موقعیت‌سنجی به کار می‌رفتند، نمی‌توانستند با دقتی که در حال حاضر کار می‌کنند، کار کنند. امروزه ماهواره‌های تجاری موقعیت‌سنجی که به شکل آزاد در دسترس عموم هستند، می‌توانند موقعیت ما را در سرتاسر کره‌ی زمین با دقت زیاد، دقت چند متر و یا حتی کم‌تر، که به خاطر در نظر گرفتن اثرات نسبیت است مشخص کنند. این دو مثال نشان می‌دهد که چگونه مطالعات نظری یا مطالعاتی که صرفاً انگیزه‌ی اولیه‌شان نظری بوده منجر به تحولات جدی در تکنولوژی شده‌است.

می‌توانیم مثال‌های دیگری هم از جهان کوانتوم بزنیم یا از الکترومغناطیس و مثال‌هایی از این قبیل. ما می‌توانیم در ادامه بگوییم که خب پس ما جهان طبیعت را مطالعه می‌کنیم به دو هدف:

(۱) آن را بهتر بشناسیم. صرف دانایی، صرف علم، خودش ارزشمند است.

(۲) ممکن است ما فردا بتوانیم با استفاده از یافته‌هایی که پیدا کرده‌ایم تاثیراتی بر تکنولوژی داشته‌باشیم و تکنولوژی را بهبود ببخشیم.

علاوه بر این، همواره در راه ساخت وسایل علمی که بر پا کننده‌ی آزمایشگاه علمی هستند، تکنولوژی به مرور پیشرفت می‌کند.

جالب است بدانید یکی از علت‌هایی که شبکه‌هایی شبیه به شبکه‌ی اینترنت به وجود آمدند، نیاز فیزیکدان‌ها در پایگاه‌هایی مانند سرن بود. دانشمندان می‌خواستند اطلاعات عظیمی که از برخورد ذرات توسط آشکارسازها حاصل می‌شود را مدیریت کنند و در دسترس سایر پژوهش‌گران قرار دهند. یعنی به دلیل سوالات نظری پیشرفت‌هایی در زمینه تکنولوژی نیز رخ داد، زیرا برای پاسخ به این سوالات به سراغ آزمایشاتی رفتند که در پی آن سوالات دیگری ایجاد شد و همین امر سبب پیشرفت تکنولوژی گشت.

چند نمونه از چالش‌های حوزه‌ی کاریتان را می‌گویید؟

یکی از چالش‌ها جواب دادن به همان سوال است که قبلاً شما پرسیدید. این که ما باید همواره به طور شخصی با خودمان صحبت کنیم و از خودمان بپرسیم، این کاری که دارم می‌کنم چقدر اهمیت دارد؟ آیا این کار تاثیر تکنولوژیک دارد؟ یا کنجکاوی نظری است؟ یا صرفاً می‌خواهم کاری کنم که کاری انجام داده باشم بدون این که دانش خودم یا دیگران را افزایش دهد و یا این که تاثیر مفیدی داشته باشد؛ این یک چالش روزانه است که بعضی وقت‌ها از خودم

نیز می‌پرسم، علت کارهایی که انجام می‌دهم چیست؟

ممکن است یک نفر بخواهد روی تابلویی چهار خط بکشد و بگوید من نقاشی می‌کنم، اما هیچ ارزش هنری‌ای نداشته باشد. در علم هم این اتفاق ممکن است بیافتد. ممکن است بعضی از پژوهش‌های علمی ارزش چندانی نداشته باشند یا درواقع پژوهش‌هایی به ظاهر علمی باشند. در این کار همیشه ما باید از خودمان بپرسیم، پژوهشی که در حال انجامش می‌باشم، آیا واقعاً یک مساله‌ی ارزشمند است یا تصور می‌کنیم که ارزشمند است؟ این یک مورد!

مساله‌ی بعدی این است که در جهان، نه فقط ایران، در کل جهان، باید مردم را قانع کرد که به علم بها دهند. خوش‌بختانه در کشورهای دیگر افرادی عموماً از قشر متوسط وجود داشتند که به این ارزش واقف بودند و سعی کردند با حمایت‌هایی که می‌کنند همواره محقق‌ها و پژوهشگران را دلگرم نگه دارند تا بتوانند پژوهش‌هایشان را در یک محیط آرام و یک بستر مناسب انجام دهند. این صرفاً مساله‌ی مالی نیست و آرامش فکری نیز را نیز شامل می‌شود. اما برخی اوقات می‌بینیم در دانشگاه‌های ایران دانشجویایی می‌آیند که علاقه‌مند به علم نیستند و گاهی این خیلی دلسرد کننده است.

برخی مواقع حواشی که به علت عدم برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در قسمت‌های مختلف کشور به وجود می‌آید تمرکز فکری پژوهشگران، نه فقط در حوزه‌ی فیزیک بلکه در تمامی رشته‌ها، پایین می‌آورد و این باعث کاهش کیفیت کار می‌شود.

بعضی وقت‌ها شما به مسائلی بر می‌خورید که حل کردن‌شان دشوار است. ساعت‌ها، روزها، هفته‌ها و یا ماه‌ها وقت می‌گذارید و هیچ نتیجه‌ای نمی‌گیرید، نتوانستید آن مساله را حل کنید یا نتوانستید به آن نتیجه‌ای که انتظار داشتید برسید. این موضوع بعضی مواقع دل‌سرد کننده است.

به خاطر مشکلاتی که همه‌مان می‌دانیم، ارتباط ما با پژوهشگران کشورهای دیگر قدری محدود است. هرچند که این روزها به خاطر اینترنت و ارتباطات مجازی شاید این وضع نسبت به مثلاً بیست یا پانزده سال پیش بهبود پیدا کرده باشد، اما هنوز هم ناکافی و ناکارآمد است و من فکر می‌کنم این یکی دیگر از چالش‌هایی است که ما در کارمان با آن مواجه می‌شویم.

ولی این مشکلات هرچقدر هم که زیاد باشد فیزیک آن‌قدر دوست داشتنی است که همچنان مردم روی آن کار می‌کنند.

بله! واقعاً همین‌طور است؛ در حال حاضر خیلی از محققان و پژوهشگرانی که در فیزیک یا خیلی از رشته‌های دانشگاهی، (در اینجا فیزیک مد نظر ماست، اما قطعاً عمومی‌تر است) در حال فعالیت هستند، فقط به خاطر علاقه به دانستن و علم فیزیک است در غیر این‌صورت بقیه‌ی موارد شاید آن‌قدر انگیزه را بالا نبرد.

ممکن است از زیبایی‌های گرانش و کیهان برایمان بگویید؟

این‌که من بخواهم از زیبایی‌های گرانش بگویم کمی سخت است. ممکن است شما یک نقاشی خیلی معروف را ببینید اما نتوانید هیچ ارتباطی با آن برقرار کنید، در صورتی که برای دیگران چنین نیست. این بدین معنا نیست که آن نقاشی بد است بلکه بدین معناست که شاید شما از آن خوشتان نیامده‌است.

درباره‌ی فیزیک هم همین این است؛ برای من این‌که بخواهم آن چیزی که به عنوان زیبایی در گرانش یا مثلاً کیهان می‌بینم به گونه‌ای توصیف کنم که زیبایی‌هایش مشخص شود کمی کار سختی است. شاید آن چیزی که به طور مشخص در گرانش برای من خیلی جذاب است اصل هم‌ارزی اینشتین است. اول بگویم گرانش یک نیروی خاص است به این معنا که جهان شمول است و روی تمام موجوداتی که جرم و انرژی دارند اثر می‌گذارد؛ با نیروی الکتریکی که فقط روی ذرات باردار اثر می‌گذارد تفاوت دارد و این نکته‌ی جالبی درباره‌ی گرانش است.

نکته‌ی بعدی که در زمینه‌ی گرانش برای من خیلی جذاب باشد اصل هم‌ارزی اینشتین است که درواقع به زبان ساده می‌گوید شما می‌توانید همواره با شتاب گرفتن، به شکل موضعی، گرانش به وجود آورید یا گرانش را از بین ببرید. درواقع خیلی ارتباط نزدیکی بین گرانش و این که شما یک ناظر غیر لخت باشید وجود دارد. اصل هم‌ارزی می‌گوید خیلی وقت‌ها شما نمی‌توانید با آزمایش‌هایی موضعی که انجام می‌دهید این دو موقعیت را از هم تفکیک کنید. مثال ساده‌اش این است که فرض کنید در اتاقک آسانسور هستید؛ یک اتاقک سربسته که نمی‌توانید بیرون را ببینید، حالا این‌که اتاقک روی کره‌ی زمین قرارگرفته باشد و همه‌ی اجسام داخل این اتاقک تحت گرانش زمین باشند با شرایطی که اتاق در فضای تهی، دور از زمین و بدون گرانش با شتابی برابر با $9/8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ شتاب بگیرد به صورت موضعی هم ارز است. یعنی آزمایش‌هایی که در بازه‌های مکانی و زمانی خیلی کوچک انجام می‌شود نمی‌تواند این دو وضعیت را از هم تفکیک کند.

به نظر من، این اصل خیلی زیبا و در عین حال خیلی عجیب است. این‌که تا کجا اعتبار دارد؟ آیا در سطوح کوانتومی هم، چنین اصلی یا اصل مشابهی برقرار است؟

از طرف دیگر، اصل هم‌ارزی شروعی است برای این‌که اینشتین یک توصیف هندسی از نیروی گرانش بیان کند؛ به جای این که بخواهد نیروی گرانش را به شکل نیرو مطالعه کند، آن را به هندسه‌ای که در فضا و زمان وجود دارد نسبت دهد؛ به طور مثال می‌گفتم اگر یک جسمی تحت تاثیر نیروی گرانش زمین باشد حرکت خاصی را انجام می‌دهد. اینشتین می‌گوید علت انجام آن حرکت خاص این است که، وجود جرم و انرژی‌های دیگر در کیهان باعث شده فضا و زمان شما خمیده شود و اجسامی که شما پرتاب یا رها می‌کنید در این فضا و زمان خمیده، مسیرهای خیلی خاصی را که گاهی کمینه هستند طی کند.

این موضوعات برای من جالبند و نمی‌دانم برای دیگران هم جالب باشند یا خیر؟! و به طور مشخص، در سال‌های اخیر معلوم شده‌است آن چیزی که اصطلاحاً به آن گرانش می‌گوییم، گرانش کلاسیک غیر کوانتومی، می‌تواند با جهان کوانتومی ما، که گرانش ندارد ارتباط داشته باشد. یک نوع ارتباط بین گرانش کلاسیک با آن چیزی که گرانش نیست و کوانتومی است وجود دارد و اصطلاحاً به آن تناظر گرانش/پیمانه می‌گویند. این موضوع خیلی جالب است زیرا به ما نشان می‌دهد که امکان دارد از موضوعاتی که درباره‌ی گرانش، سیاهچاله‌ها و کیهان، یاد گرفته‌ایم بتوانیم استفاده کنیم و به اطلاعاتی در باره‌ی فیزیک پدیده‌هایی کاملاً متفاوت دست‌یابیم.

تناظر گرانش/پیمانه ؟

بله! تناظر گرانش/پیمانه درواقع به بیان ساده ادعا می‌کند یک ارتباط غیر بدیهی بین نظریه‌های گرانش، نظریه‌ای که نیروی گرانش را توصیف می‌کند، مثل نسبیت عام اینشتین و نظریات پیمانه‌ای کوانتومی وجود دارد. نظریه‌های پیمانه‌ای در قسمت‌های مختلف فیزیک مثلاً در برهم‌کنش قوی هسته‌ای (QCD) و یا گاهی در مدل‌هایی از سیستم‌های ماده‌چگال ظاهر می‌شود.

یعنی به نظر می‌رسد که ممکن است روزی با مطالعه‌ی گرانش، ما مطالب بیش‌تری درباره‌ی ابررساناها یاد بگیریم؛ در صورتی که احتمالاً سی سال پیش مردم نمی‌توانستند هیچ ارتباطی بین ابررسانا و گرانش برقرار کنند.

در حال حاضر گرانش و کیهان با چه سوالاتی روبه‌رو هستند؟ یعنی سعی در جواب دادن به چه سوالاتی دارند؟

نظر افراد شاید با یک‌دیگر متفاوت باشد. به نظر من در زمینه‌ی کیهان‌شناسی موضوعی که مردم علاقه‌مند به پیدا کردن پاسخ آن هستند مساله‌ی انرژی تاریک است که احتمالاً بارها درباره‌اش شنیده‌اید و خوانده‌اید و ماجرای آن را می‌دانید. آن چیزی که باعث می‌شود جهان ما به شکل شتابدار منبسط شود! این سوالی است که فکر می‌کنم ذهن خیلی از کیهان‌شناس‌ها را به خودش مشغول کرده‌است و در کنار همین مساله، موضوع ماده‌ی تاریک است. به نظرمی‌رسد بخش عظیمی از کیهان ما را همین انرژی تاریک و ماده‌ی تاریک در بر گرفته و این که ماهیت این دو چه هستند محل سوال است. فکر کنم این یک چالش بزرگ و یک سوال جدی در کیهان‌شناسی است. به نظر می‌آید مدلی که ما برای کیهان داریم خیلی خوب دارد کار می‌کند با این فرض که ماده‌ی و انرژی تاریک داریم! اما خود این ماده‌ی تاریک و انرژی تاریک چیست؟ ماهیتش چیست؟ ذاتش چیست؟ این سوالی است که باید به آن جواب داد.

به نظر شما چند سال دیگر به این سوال پاسخ داده می‌شود؟

من هیچ ایده‌ای ندارم که چقدر طول می‌کشد، شاید ده یا بیست سال آینده بتوانیم درباره‌ی ماده‌ی تاریک به جواب برسیم اما درباره‌ی انرژی تاریک نظری ندارم.

کسانی که کیهان‌شناسی می‌خوانند چه دید و شخصیتی دارند؟ یعنی کیهان‌شناس‌ها دنیا را چگونه می‌بینند؟

به طور مشخص من کیهان‌شناس نیستم اما هر کدامشان احتمالاً به شکل خاص خودشان می‌بینند. واقعاً این طور نیست که آدم بخواهد بگوید فیزیکدان‌ها یا کیهان‌شناس‌ها افراد خیلی متفاوتی‌اند؛ من در بین جماعتی که با آن‌ها مراوده داشتم همه نوع طیف شخصیتی دیده‌ام اما خب طبیعتاً آدم‌هایی هستند که کمی کنجکاوترند.

برای کسی که می‌خواهد مطالعه در زمینه‌ی گرانش را شروع کند، چه کتاب‌هایی پیشنهاد می‌کنید؟

من توصیه می‌کنم که صرف نظر از این که بخواهند چه گرایشی از فیزیک را مطالعه کنند و ادامه دهند، درس‌های دوره‌ی کارشناسی و دروس پایه را به شکل خیلی جدی مطالعه کنند. درس‌های پایه مثل ریاضی فیزیک، مکانیک تحلیلی، مکانیک کوانتومی، فیزیک مدرن، الکترومغناطیس، ترمودینامیک و مکانیک آماری دروس خیلی جدی هستند که باید به آن‌ها توجه کنیم. وقتی که پایه درست و قوی باشد بعداً افراد آرام آرام راه خودشان را پیدا می‌کنند. اگر دوست دارید من اسم کتاب بیاورم البته نه در مورد گرانش و به طور مشخص برای کسانی که دانشجوی کارشناسی فیزیک هستند، کنار کتاب‌های درسی، کتاب‌های استاندارد که اساتیدشان به آن‌ها تدریس می‌کنند، من دوره کتاب‌های فاینمن را پیشنهاد می‌کنم. همچنین برای کسانی که در سال‌های پایین‌تری هستند یا این که دوست دارند مطالب را خیلی ساده‌تر و دم دستی‌تر بفهمند، شاید برای سال‌های آخر دبیرستان یا اوایل دانشگاه، مجموعه کتاب‌های فیزیک مفهومی هیوئیت را توصیه می‌کنم. این کتاب‌ها پایه‌اند و جزء کتاب‌های عمومی هستند. نمی‌خواهم کتاب تخصصی درباره‌ی گرانش پیشنهاد کنم. من معتقدم که اگر افراد دروس پایه را به خوبی یاد بگیرند، بعداً به راحتی می‌توانند مباحث پیشرفته‌تر را هم بیاموزند.

چیزی که می‌بینیم این است که دانشجویهای فیزیک معمولاً با علاقه وارد این رشته می‌شوند اما برای مقطع ارشدشان یا تغییر رشته می‌دهند و یا این که اگر ادامه می‌دهند به اجبار این است که: چون کارشناسی فیزیک دارم، ارشد نیز می‌خوانم. به نظر شما علتش چیست؟

می‌تواند عوامل متعددی داشته باشد. ساده‌ترین علتش این است که فکر می‌کنم اول کار خیلی‌ها با دید درستی نسبت به فیزیک وارد دانشگاه نشدند.

کسی که چند کتاب عامه‌فهم درباره‌ی فیزیک مطالعه کند و فکر کند که عاشق فیزیک است وقتی وارد دانشگاه شود می‌بیند آن چیزی که در دانشگاه به عنوان فیزیک یاد می‌دهند چیز متفاوتی است و ممکن است او را دل‌سرد کند. در

آن کتاب‌های عامه فهم خبری از معادلات ریاضی، دشواری‌های حل مساله و محاسبات کامپیوتری طولانی نیست؛ اما در دنیای واقعی فیزیک، در جهان آکادمیک این سوال‌ها، این مشکلات وجود دارد.

پس یک علت این است که درباره‌ی فیزیک اطلاع درستی نداشتند. باید یادتان باشد که هر کدام از آن جمله‌های قشنگی که مثلاً درباره‌ی سیاهچاله‌ها، درباره‌ی کیهان و درباره‌ی انفجار بزرگ و این نوع موضوعات می‌شنوید، حاصل ساعت‌ها کار، مطالعه، تحقیق، محاسبات و ضرب و تقسیم‌های زیادی بوده و دست آخر در یک جمله‌ی خیلی جذاب و زیبا خلاصه شده‌است. بعضی‌ها توقع دارند که در دانشگاه فقط آن جملات قشنگ آموزش داده‌شود اما در حقیقت برای این که آن جملات قشنگ مفهومی دقیقشان را نشان بدهند و به کار بیایند احتیاج است که ریاضیات قوی و جدی پشتشان باشد؛ عده‌ای تحمل این دشواری را ندارند؛ پس از فیزیک زده می‌شوند.

عده‌ی دیگری هستند که به شکل تصادفی وارد رشته‌ی فیزیک شده‌اند و در هنگام انتخاب رشته برای پر شدن فرم، رشته فیزیک را هم انتخاب کرده‌اند. این افراد از آن دسته‌ای هستند که یا از روی کم توجهی و یا ناخواسته راه را کاملاً اشتباه آمده‌اند؛ تکلیفشان مشخص است و خب طبیعی است که خسته یا دل‌سرد شوند.

افراد دسته‌ی سوم این گونه هستند که از ابتدا می‌دانستند فیزیک چیست و بعد وارد این رشته شدند. سپس خود را در محیط دانشگاه و آکادمیک بزرگ‌تری دیدند. با دوستانشان صحبت کردند و با رشته‌ها و گرایش‌های دیگری آشنا شدند. فهمیدند کارهای دیگری هم هست که در زندگی انجام دهند، آن‌ها هم جذابند؛ اگر نگویم جذاب‌تر از فیزیک، در حد فیزیک جذابیت دارند؛ بعضی وقت‌ها شاید جذاب‌تر هم باشند. آن‌ها هم رفته رفته ممکن است به موضوعات دیگر متمایل شوند.

توصیه‌ای که من می‌توانم بکنم این است که حتماً دانشجویان سال‌های پایین یا حتی در دوره‌های دبیرستان و سال‌های قبل‌تر با شاخه‌های مختلف، زمینه‌های و موضوعات متفاوت مواجه شوند و ببینند که علاقه‌ی واقعیشان چیست؟

قسمت دیگرش هم که متأسفانه واقعیت دارد، هرچند که شاید خوب نباشد من درباره‌اش بگویم، این است که بعضی وقت‌ها به طور موردی در بعضی از دانشگاه‌ها یا موسسات رفتارهایی نامناسب چه اخلاقی و چه علمی از بعضی‌ها می‌بینیم که باعث می‌شود افراد از یک موضوع یا یک درس زده شوند. این مسائل باعث می‌شود که بعضی‌ها از فیزیک یا علم روی برگردانند. واقعیت انکارناپذیر دیگر این است که در سن جوانی، خیلی‌ها با این تفکر که علم برای علم؛ من می‌خواهم علم یاد بگیرم وارد فیزیک و یا رشته‌های دیگر می‌شوند. چند سال را در آن رشته می‌گذرانند؛ آرام آرام با واقعیت‌های زندگی بیش‌تر آشنا می‌شوند؛ مسائل مالی برایشان جدی‌تر می‌شود و رفته رفته به این نتیجه می‌رسند که شاید در فیزیک پول زیادی نباشد و بعد بگویند که پول هم چیز خوبی است و باید دنبال پول هم بود و این خودش باعث می‌شود که به آرامی از فیزیک فاصله بگیرند و سراغ بقیه چیزها بروند. واقعیت امر این است که در کشورما، پذیرش دانشگاه‌هایمان در علوم پایه در سال‌های اخیر بسیار زیاد بوده‌است؛ ما خیلی بیش‌تر از تعداد مورد نیازمان دانشجوی فیزیک و ریاضی داشتیم و به همین دلیل افرادی که علاقه، انگیزه و استعدادشان در زمینه‌ی فیزیک کمتر بوده وارد دانشگاه‌ها شدند و این کمی محیط دانشگاه‌ها را نامناسب کرده‌است.

من فکر می‌کنم اگر این تعدیل اتفاق بیافتد، افرادی که واقعاً علاقه دارند، استعداد و انگیزه‌اش را دارند و حاضر هستند دشواری‌های فیزیک را تحمل کنند، وارد رشته‌ی فیزیک می‌شوند و آن موقع محیط آکادمیکی که به وجود می‌آید برای همه شیرین‌تر خواهد بود. آن زمان تعداد این ریزش‌ها کمتر می‌شود هرچند که به نظر من هیچ ایرادی ندارد که یک نفر سه سال، چهار سال درس بخواند و بعد بفهمد که به چیز دیگری علاقه دارد و یک رشته‌ی دیگر را مطالعه کند یا از آن رشته خارج شود.

استاد به مساله‌ی پول و درآمد اشاره کردید، دانشجویهای فیزیک چه‌گونه می‌توانند از رشته‌شان پول دربیاورند؟

روش اول این که طبق راهکارهای سنتی که در سال‌های گذشته می‌گفتند: ما فیزیک می‌خوانیم لیسانس می‌گیریم فوق لیسانس می‌گیریم دکترا می‌گیریم می‌رویم هیئت علمی دانشگاه می‌شویم عمل کنیم. نه تنها در ایران، فکر کنم در اکثر کشورهای دنیا این راه بسیار دشوار شده‌است؛ به این علت که دانشگاه‌ها تعداد زیادی هیئت علمی دارند و رقابت خیلی سنگینی برای هیئت علمی شدن وجود دارد. استخدام در آموزش و پرورش به عنوان دبیر شبیه همان وضعیتی است که هیئت علمی‌ها دارند.

در روش دوم ممکن است شما بگویید که می‌توانید وارد موسسات، شرکت‌ها یا صنایع مختلف شوید که به طور مستقیم یا غیر مستقیم بخواهید از تخصصتان استفاده کنید. زمانی در ایران، انرژی اتمی بسیار معروف بود اما تنها گزینه نبود؛ صایران، صنایع اپتیک و از این دست شرکت‌ها نیز بودند و فیزیکی‌ها می‌توانستند با رشته‌ی خودشان به طور مستقیم وارد شوند و کارکنند.

من به طور کلی این موضوع را به سه دسته تقسیم می‌کنم:

۱- افرادی می‌خواهند وارد موسسات آکادمیک و آموزشی شبیه آموزش و پرورش و دانشگاه شوند؛ این کار خیلی دشوار شده‌است اما غیر ممکن نیست!

۲- بخش دیگری از افراد می‌خواهند وارد صنایع شوند؛ چه صنایع دولتی و چه صنایع خصوصی و شرکت‌های مرتبط؛ این هم مستلزم آن است که صنایع‌مان در کشور رونق داشته باشد؛ درواقع هم شرکت‌ها و کارخانه‌ها و کارگاه‌هایی وجود داشته باشد که بتواند افراد را استخدام کند و هم خود افرادی که رشته‌ی فیزیک مطالعه می‌کنند کمی مطالعات جانبیشان را درباره‌ی این‌که در صنعت چه اتفاقی می‌افتد بیشتر کنند؛ اطلاعات کسب کنند و بعد رفته رفته ممکن است کار خودشان را پیدا کنند. به‌طور مشخص در سال‌های اخیر، در آمریکا مخصوصاً، تعداد زیادی از کسانی که زمینه‌ی فیزیک نظری کار می‌کردند جذب صنایع یا شرکت‌هایی که کارهای کامپیوتری از قبیل تحلیل داده‌ها و یا آنچه گاهی علوم داده گفته می‌شود، شدند. این افراد نیاز بازار را سنجیدند؛ تخصص خودشان چیست؟ چه چیزهایی بلدند؟ بلد هستند محاسبات فیزیکی انجام دهند؛ بلدند کد نویسی کنند. سپس سعی کردند مهارت‌های تکمیلی را هم یاد بگیرند و وارد این فضا شدند.

۳- واقعیت امر این است که یک دسته هم امکان دارد کلاً فیزیک و زمینه‌های مربوط به فیزیک را کنار بگذارند وارد کار دیگری شوند؛ بازهم به نظر من هیچ ایرادی ندارد که کسی لیسانس فیزیک بگیرد و بعداً مثلاً یک کارگاه کفاشی پایه گذاری کند؛ چه ایرادی دارد؟ در دنیا هم این اتفاق می‌افتد. قرار نیست هر کسی که از دانشگاه فارغ‌التحصیل شد لزوماً در رشته‌ی خودش مشغول به کار شود. شرایط ایده‌آل این است که هر کس در تخصصی که دارد کار کند اما واقعیت چیزی دیگری است. چیزی که در کشور ما نامناسب است تعداد این افراد است و آن هم به این بر می‌گردد که ما با ظرفیت نامناسبی در رشته‌ی فیزیک دانشجوی پذیرش می‌کنیم.

به نظر شما لازم است یک دانشجوی فیزیک چه مهارت‌هایی داشته باشد؟

اولین مهارتی که فکر می‌کنم دانشجوی فیزیک لازم است پیدا کند این است که هنر فهمیدن، حل و طرح مساله را یاد بگیرد. یک دانشجوی خوب به طور طبیعی با مطالعاتی که انجام می‌دهد و تمرین‌هایی که حل می‌کند این مهارت را به صورت طبیعی یاد می‌گیرد. اما اگر به عنوان مهارت‌های خاص بخواهیم به این موضوع نگاه کنیم، فکر می‌کنم که دانشجوهای فیزیک ما در ایران، احتیاج دارند که بیش‌تر در زمینه‌ی برنامه‌نویسی مهارت کسب کنند. یعنی جا دارد که بهتر بتوانند از کامپیوتر، چه به عنوان یک کاربر ساده‌ی کامپیوتر، چه به عنوان یک برنامه‌نویس کامپیوتر، استفاده کنند. مسئله‌ی دیگری که ممکن است بتواند بعضی وقت‌ها مفید باشد و به نظرم در ساختار آکادمیک ما جایش خالی است؛ این است که دانشجوهای فیزیک نیازمند اطلاعاتی نظیر اقتصاد یا نقشه‌کشی صنعتی هستند.

سوال‌های من به اتمام رسید. آیا شما در ادامه نکته‌ای دارید؟

حرف خاصی ندارم، فقط این که دوست دارم بگویم دانشجویان در سنین بیست و دو-سه سالگی، دانشجوهای دوره‌ی کارشناسی، در دوره‌ای هستند که ممکن است فاز افسردگی را تجربه کنند. این فازهای افسردگی همواره اتفاق می‌افتد؛ چه سال‌های آخر دبیرستان، چه سال‌های آخر کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکترا و سوالاتی در ذهنتان ایجاد خواهد کرد «خب من تا الآن چیزهایی یاد گرفتم، وقت گذاشتم؛ هزینه‌ای کردم، حالا باید بعد از آن چه کار کنم؟» به نظرم کاملاً طبیعی است که آدم برای آینده تصمیماتی بگیرد. وقتی این دوران با مشکلات اقتصادی و اجتماعی پیرامونمان همراه شود، وضع خیلی دل‌سردکننده‌تر می‌شود و آدم را بیش‌تر از قبل ناراحت می‌کند. آن چیزی که می‌خواهم بگویم این است، شرایطی که در آن هستیم شرایط دشواری است اما آن قدرها هم که بعضی وقت‌ها تلقین می‌شود، وضع، غیر قابل حل و غیر قابل درمان نیست.

توقعشان را نسبت به کمک دیگران پایین بیاورند و در واقع توقعشان از خودشان را بالا ببرند. سعی داشته باشند خودشان راه را پیدا کنند. اگر فکر می‌کنند جایی نیست که آن‌ها را استخدام کند هیچ ایرادی ندارد؛ بیاییم فکر کنیم با آن چیزهایی که تا الآن یاد گرفته‌ایم چه کاری می‌توانیم انجام دهیم که حتی چند نفر را هم استخدام کنیم. اگر فکر می‌کنید قسمتی از راه را اشتباه رفته‌اید، بررسی کنید که آیا می‌توانم از همین‌جای راه، راه درست را انتخاب کنم و به سمت آن حرکت کنم؟ در راه راست قرار بگیرم؟ یا این‌که بهتر است الان که دیگر به اشتباه (خواسته یا ناخواسته) از آن هدف اصلیتان فاصله گرفتید یک هدف ثانویه انتخاب کنید که برایتان در دسترس باشد. در کل امیدوارم که دانشجوها بیش‌تر امیدوار باشند.

موشک

مقدمه

کلمه موشک می‌تواند به معنای مختلفی باشد. اکثر مردم فکر می‌کنند یک وسیله‌ی بلند و نازک است که به فضا پرتاب می‌شود درحالی‌که موشک می‌تواند یک نوع موتور باشد، یا وسیله‌ای که از آن موتور استفاده می‌کند.

به طور کلی موشک نوعی هواگرد است که نیروی پیش‌رانه خود را از موتور موشک می‌گیرد. موشک‌ها به سه صورت: هواپیما، فضاپیما و موشک هدایت شونده ساخته می‌شوند و به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند: زمین به هوا، هوا به هوا، سطح به هوا، سطح به سطح. هریک از این گروه‌ها نیز بر اساس برد، نوع سوخت و نوع سیستم هدایت به زیرگروه‌هایی تقسیم می‌شوند.

اولین موشک‌ها

شاید برای‌تان جالب باشد که بدانید، حدود ۸۰۰ سال پیش در چین موشک‌های آتش‌بازی اولین موشک‌های بشر بودند، البته نه خیلی شبیه به موشک‌های امروزی! اولین موشک مدرن بشر که از سوخت مایع استفاده می‌کرد موشک بالیستیک V۲ بود که آلمان نازی سال ۱۹۴۲ در جنگ جهانی دوم ساخت. با شکست آلمان و پایان جنگ این موشک‌ها و طرح‌های مربوط به آن به همراه سازندگان به دست نیروهای آمریکا و شوروی افتادند و این زمینه را برای ساخت دیگر موشک‌های بالیستیک نظامی و موشک‌های مورد استفاده در صنعت فضانوردی در هر دو کشور فراهم کرد.



ساختار کلی موشک‌ها چگونه است؟

امروزه تعداد متنوعی از موشک‌ها موجود است و اغلب آن‌ها اختلاف‌های عمده‌ای باهم دارند. با این حال موشک‌ها در قسمت‌های اصلی تشکیل دهنده شبیه به هم هستند.

هر موشک از چهار قسمت اصلی به نام ۱-سازه ۲-سیستم هدایت ۳-سیستم حمل بار ۴-سیستم نیروی محرکه تشکیل می‌شود.

۱-سازه یا قاب: شبیه به بدنه یک هواپیما است. از مواد بسیار قوی اما سبک وزن مانند تیتانیوم یا آلومینیوم ساخته شده است.

۲-سیستم هدایت: سیستم هدایت یک موشک شامل سنسورهای بسیار پیچیده، رایانه‌ها، رادارها و تجهیزات ارتباطی است و دو نقش اصلی دارد: ایجاد ثبات برای موشک و کنترل موشک حین حرکت

۳-سیستم حمل بار: بستگی به مأموریت موشک دارد. می‌تواند حامل کلاهک جنگی برای استفاده نظامی باشد یا حامل ماهواره یا موارد دیگر. پس از جنگ جهانی دوم بسیاری از کشورها موشک‌های بالستیک هدایت شده را با استفاده از کلاهک هسته‌ای به دست آوردند. همان موشک‌ها برای راه‌اندازی ماهواره‌ها با طیف گسترده‌ای از مأموریت‌ها اصلاح شد. ارتباطات، نظارت بر آب و هوا، جاسوسی، اکتشافات سیاره‌ای و ... ۴-سیستم نیروی محرکه یا موتور: کار این قسمت ایجاد نیروی محرکه لازم برای اینکه موشک مسافت مشخصی را طی نماید، می‌باشد. مانند بیشتر موتورها. موتور موشک‌ها سوخت می‌سوزاند.

به طور کلی پیش از پرتاب، زیر سامانه‌های موشک برای آمادگی گمارشی بازرسی می‌شوند و برنامه پرواز یا مسیر پرواز به رایانه هدایت‌گر، داده می‌شود. هنگام سوختن سوخت، سوخت‌های مایع یا جامد نیروی پیشران را برای پرتاب موشک فراهم می‌کنند. اگر موشک چند مرحله‌ای باشد، هر مرحله هنگامی که سوخت آن مرحله تمام شده و یا نزدیک به تمام شدن باشد، نیروی پیشران خود را به پایان رسانده و سپس از بدنه موشک جدا شده و مرحله دیگر آغاز به سوختن می‌کند. سامانه هدایت و کنترل، موشک را در مسیر درست پاییده و می‌راند. پس از آنکه مرحله پایانی، نیروی پیشران خود را به پایان رساند، بار مفید در جایگاه از پیش، پیشبینی شده خود رها می‌شود. در برخی از سامانه‌ها بار مفید به بدنه موشک چسبیده و با آن به سوی هدف حرکت می‌کند.

موشک‌های حامل ماهواره و موشک‌های گمانه زنی (جاسوسی) برای قرار دادن ماهواره‌ها در مدار و یا گردآوری داده‌های دانشوری از لایه‌های بالایی اتمسفر به کار می‌روند. تفاوت ویژه میان این موشک‌ها با موشک‌های بالستیک جنگی در بار مفید و کاربرد مورد نظر آن‌ها است. با افزایش



کاربردهای موشک

همان‌طور که اشاره شد اولین موشک مدرن، برای استفاده در جنگ ساخته شد. اما بعد از دسترسی آمریکا و شوروی به موشک‌ها و طراحان آن‌ها اوضاع تغییر کرده و نگاه‌ها از استفاده جنگی به سمت کاربردهای دیگری مانند استفاده فضایی چرخید.

ساتل‌های فضایی، موشک‌های حامل ماهواره و دیگر کاربردهای آن در خارج از جو، کاربردهای غیرنظامی موشک‌ها هستند. در حال حاضر دو هدف اصلی از ساختن موشک وجود دارد که عبارتند از هدف نظامی و هدف تحقیقاتی در فضا.

ایران و موشک‌ها

از سال‌های دفاع مقدس و پس از آن تا به امروز، ایران به مدد زحمات ارزشمند دانشمندان و مهندسين ایرانی پیشرفت‌های چشمگیری در صنعت موشکی داشته است، هم در زمینه موشک‌های فضایی حامل ماهواره و هم در زمینه نظامی. شایان ذکر است که پیشرفت عظیم کشور در تسلیحات موشکی مرحوم شهید حسن تهرانی مقدم، پدر علم موشکی ایران است.

منابع:

www.waltonaero.wikidot.com

www.coolcosmos.ipac.caltech.edu

www.airspacemag.com

www.nasa.gov

www.m-missile.blogfa.com



بارها و سامانه‌های جنگ افزاری و الگوریتم‌های پیشگر متفاوت، موشک‌های حامل ماهواره و موشک‌های گمانه زنی می‌توانند به عنوان موشک‌های بالستیک جنگی بکار رود. در اصل بسیاری از ماهواره برها و موشک‌های حامل کیهانی کنونی گونه پیشرفته موشک‌های بالستیک پیشین هستند

به دلیل اینکه سامانه‌های موشکی کامل، بسیار بزرگ هستند کم پیش می‌آید که یک موشک سرهم شده و آماده از کارخانه سازنده به یگان‌های رزمی و یا خریدار داده و جابه‌جا گردد. به جای آن، زیر سامانه‌ها و بخش‌های بدنه جدا جدا که به آسانی توانایی سرهم شدن را داشته باشد در بسته‌ها و یا جعبه‌های استاندارد با کشتی و یا ... برای خریدار و یا یگان‌های خواهان فرستاده می‌شوند و در آنجا سرهم‌بندی شده و آماده‌ی به کار گیری می‌شوند.

موتور موشک‌ها چگونه کار می‌کنند؟

شاید به نظر پیچیده بیاید، اما اگر تا به حال بادکنکی را باد کرده باشید و بدون بستن ته آن رهايش کرده باشید شما یک موتور موشک ساخته اید!

موتور موشک از یک قانون علمی استفاده می‌کند که اکثر ما آن را می‌دانیم. قانون سوم حرکت نیوتن. می‌گوید: هر عملی، عکس‌العملی برابر و در جهت مخالف دارد. برای درک بهتر به شلنگ‌های آب پر فشار که آتش‌نشان‌ها در آتش سوزی‌ها استفاده می‌کنند نگاه کنید. این شلنگ‌های بزرگ مقدار زیادی آب را با سرعت زیاد پرتاب می‌کنند. برای ثابت نگه داشتن آن‌ها به نیروی زیادی نیاز است. بطوری که چندین آتش‌نشان این کار را انجام می‌دهند. حال اگر آتش‌نشان‌ها هنگام باز شدن شیرهای متصل به شلنگ روی تخته اسکیت ایستاده باشند در لحظه‌ی خارج شدن آب از دهانه شلنگ با سرعت زیاد به عقب حرکت خواهند کرد. این همان کاری است که موتور موشک انجام می‌دهد.

گاز داغ حاصل از سوختن سوخت را با فشار به بیرون می‌رانند و با نیروی عکس‌العمل ایجاد شده از آن پرتاب می‌شود.

فاطمه هاشمی فر
کارشناسی فیزیک

hashemifar.f@gmail.com

فیزیک در سینما

How To Train Your Dragon

چگونه اژدهای خود را تربیت کنید



اما اژدهایان زره‌پوشی که در فیلم‌های هالیوودی می‌بینید، قطعاً افسانه هستند. ستون فقرات، شاخ‌ها یا هر قسمت استخوانی دیگر اژدها، می‌تواند وزن آن را متفاوت سازد و مانع پروازش شود. پس این را بدانید که علم هنوز تمام پاسخ‌ها را درباره این که چه‌طور آن وزن سنگین به هوا برمی‌خیزد، پیدا نکرده‌است.

هم‌چنین بزرگی بیش از حد یک اژدها می‌تواند دردسرهای دیگری نیز برایش داشته باشد. یک ستون معمولی، که تحت فشار است، اگر وزن بیش از حدی بر آن اعمال شود فرو می‌ریزد. حداکثر وزن ستون، ارتباط مستقیمی با مساحت برش عرضی آن دارد، ولی هرگز تحت تاثیر طول ستون قرار نمی‌گیرد. اما بالا بردن بسیار زیاد ارتفاع ستون، مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. یعنی هر چه ستون بلندتر باشد، به علت این که فاقد پایداری کشسانی است، بیش‌تر احتمال فروریزی دارد. وقتی ستون توانایی خود را از دست بدهد، حتی تحت فشار بارهای بسیار کم‌تر نسبت به آن چه ستون‌های کوتاه‌تر می‌توانند تحمل کنند، دچار شکست می‌شود و به‌طور ناگهانی درهم می‌ریزد و به این صورت برای استخوان‌های یک اژدها محدودیتی ایجاد می‌شود. اگر یک پرنده‌ی کوچک را در نظر بگیریم و شروع به بزرگ کردن آن بکنیم، قطعاً می‌توانیم یک اژدها بسازیم اما

اژدها، موجودی افسانه‌ای است که یک ویژگی جالب دارد. این جاندار می‌تواند از دهان خود آتش خارج کند و با آن دشمنانش را از بین ببرد. اما آیا در دنیای واقعی می‌توان جانوری مشابه اژدها و با چنین قابلیت‌های معرفی کرد یا این که خارج کردن آتش از دهان تنها متعلق به اسطوره‌هاست؟

به‌طور کلی دانشمندان به این توافق رسیده‌اند که برخی از پرندگان امروزی، بازماندگان دایناسورهایی‌اند که می‌توانستند پرواز کنند. بنابراین هیچ شکی در این که یک اژدها می‌تواند پرواز کند وجود ندارد. اما سوال این‌جاست که آیا آن‌ها می‌توانستند به اندازه کافی بزرگ باشند تا به انسان‌ها و حیوانات آسیب بزنند؟ پاسخ مثبت است. در مقطعی از زمان این‌طور بوده‌است.

بقایای یک پرنده بزرگ گوشت‌خوار با قدمت ۷۰ میلیون سال در مغولستان کشف شده‌است. این پرنده از کودکان دایناسورهای دیگر تغذیه می‌کرده و طول بال‌هایش ۱۱ متر (به اندازه یک هواپیمای کوچک) بوده‌است. دانشمندان تخمین می‌زنند این دایناسور احتمالاً یکی از بزرگ‌ترین پرندگان جهان بوده و جالب آن که این پرنده روی زمین با بال‌ها و پاهای خود راه می‌رفته و طعمه‌ها را به‌وسیله بال‌هایش شکار می‌کرده‌است.

آسیب‌های شعله آتش دوام بیاورد. زیست‌شناسان معتقدند تمامی حیوانات در مقابل آتش آسیب پذیرند و با وجود آن‌که برخی از آن‌ها قادر هستند تا با درجه بالای گرما تطابق پیدا کنند، اما در مقابل آتش همچنان کاری از پیش نمی‌برند.

با وجود غنای ادبیات با محوریت اژدها در فرهنگ‌های مختلف و ساخت فیلم‌ها و مستندات متعدد در خصوص این موجود افسانه‌ای، باید اذعان داشت که تاکنون نشانه‌ای از وجود اژدها یافت نشده‌است و این موجود متعلق به دنیای فانتزی و تخیل است. پس ابتدا باید به دنبال راهی برای ساخت اژدها بود و بعد به مشکل تربیت آن پرداخت!

منابع:

کتاب فیزیک در سینما، نویسنده: تام راجرز، مترجم: نادیا زکالوند، انتشارات سوره‌مهر

- Scale: The Universal Laws of Life, Growth, and Death in Organisms, Cities, and Companies Reprint, Geoffrey West
- thoughtco.com
- livescience.com
- nationalgeographic.com

متاسفانه این اژدها خیلی زود می‌میرد؛ زیرا در فرآیند بزرگ شدن حجم و تعداد سلول‌ها با توان سه رشد می‌کنند اما طول رگ‌های خونی و استخوان‌ها رشدی متناسب با توان دو را تجربه می‌کنند، بنابراین فرآیند بزرگ شدن تا جایی می‌تواند ادامه یابد که اکسیژن کافی به همه سلول‌ها برسد و اسکلت استخوانی نیز توان تحمل وزن را داشته باشد.

اژدهایان چه گونه می‌توانستند آتش تولید کنند؟

تا به امروز، اثری از حیوانی که بتواند آتش ساطع کند، یافت نشده‌است. با این حال، غیر ممکن نیست که یک حیوان بتواند از خودش آتش خارج کند. نوعی از سوسک‌ها هیدروکینون و هیدروژن پراکسید را در شکم خود ذخیره می‌کنند و وقتی مورد تهدید واقع می‌شوند، آن‌ها را از خود خارج می‌سازند. ترکیب‌شیمیایی این گازها در هوا، متجاوز را با مخلوطی از هوا و مایعی جوشان دفع می‌کند. در واقع موجودات زنده همواره ترکیبات قابل اشتعال، واکنش‌پذیر و کاتالیزور تولید می‌کنند. به‌عنوان مثال، پراکسید هیدروژن توسط اسیدها برای هضم غذا و کاتالیزورها برای بهبود واکنش‌های شیمیایی تولید می‌شود.

چرا هیچ حیوانی قادر به خارج کردن آتش از دهان خود نیست؟ در پاسخ باید گفت که در حال حاضر هیچ جانداری بر روی زمین وجود ندارد که قادر باشد در مقابل

با عرض سلام و ادب

به منظور ارتقا سطح علمی مجله، لطفاً نام بهترین و فنی‌ترین مقاله دانشجویی را صرف نظر از موضوع آن در کادر زیر بنویسید.



از توجه و لطف شما بسیار سپاس‌گزاریم

مجله علمی دلتا



Physicists can predict the jumps of Schrodinger's cat (and finally save it)

Yale researchers have figured out how to catch and save Schrödinger's famous cat, the symbol of quantum superposition and unpredictability, by anticipating its jumps and acting in real time to save it from proverbial doom. In the process, they overturn years of cornerstone dogma in quantum physics.

The discovery enables researchers to set up an early warning system for imminent jumps of artificial atoms containing quantum information. A study announcing the discovery appears in the June 3 online edition of the journal *Nature*.

Schrödinger's cat is a well-known paradox used to illustrate the concept of superposition—the ability for two opposite states to exist simultaneously—and unpredictability in quantum physics. The idea is that a cat is placed in a sealed box with a radioactive source and a poison that will be triggered if an atom of the radioactive substance decays. The superposition theory of quantum physics suggests that until someone opens the box, the cat is both alive and dead, a superposition of states. Opening the box to observe the cat causes it to abruptly change its quantum state randomly, forcing it to be either dead or alive.

The quantum jump is the discrete (non-continuous) and random change in the state when it is observed.

The experiment, performed in the lab of Yale professor Michel Devoret and proposed by lead author Zlatko Minev, peers into the actual workings of a quantum jump for the first time. The results reveal a surprising finding that contradicts Danish physicist Niels Bohr's established view—the jumps are neither abrupt nor as random as previously thought.

For a tiny object such as an electron, molecule, or an artificial atom containing quantum information (known as a qubit), a quantum jump is the sudden transition from one of its discrete energy states to another. In developing quantum computers, researchers crucially must deal with the jumps of the qubits, which are the manifestations of errors in calculations.

The enigmatic quantum jumps were theorized by Bohr a century ago, but not observed until the 1980s, in atoms.

"These jumps occur every time we measure a qubit," said Devoret, the F.W. Beinecke Professor of Applied Physics and Physics at Yale and member of the Yale Quantum Institute. "Quantum jumps are known to be unpredictable in the long run."

"Despite that," added Minev, "We wanted to know if it would be possible to get an advance warning signal that a jump is about to occur imminently."

Minev noted that the experiment was inspired by a theoretical prediction by professor Howard Carmichael of the University of Auckland, a pioneer of quantum trajectory theory and a co-author of the study.

In addition to its fundamental impact, the discovery is a potential major advance in understanding and controlling quantum information. Researchers say reliably managing quantum data and correcting errors as they occur is a key challenge in the development of fully useful quantum computers.

The Yale team used a special approach to indirectly monitor a superconducting artificial atom, with three microwave generators irradiating the atom enclosed in a 3-D cavity made of aluminum. The doubly indirect monitoring method, developed by Minev for superconducting circuits, allows the researchers to observe the atom with unprecedented efficiency.

Microwave radiation stirs the artificial atom as it is simultaneously being observed, resulting in quantum jumps. The tiny quantum signal of these jumps can be amplified without loss to room temperature. Here, their signal can be monitored in real time. This enabled the researchers to see a sudden absence of detection photons (photons emitted by an ancillary state of the atom excited by the microwaves); this tiny absence is the advance warning of a quantum jump.

"The beautiful effect displayed by this experiment is the increase of coherence during the jump, despite its observation," said Devoret. Added Minev, "You can leverage this to not only catch the jump, but also reverse it."

This is a crucial point, the researchers said. While quantum jumps appear discrete and random in the long run, reversing a quantum jump means the evolution of the quantum state possesses, in part, a deterministic and not random character; the jump always occurs in the same, predictable manner from its random starting point.

"Quantum jumps of an atom are somewhat analogous to the eruption of a volcano," Minev said. "They are completely unpredictable in the long term. Nonetheless, with the correct monitoring we can with certainty detect an advance warning of an imminent disaster and act on it before it has occurred."

More information: To catch and reverse a quantum jump mid-flight, *Nature* (2019). DOI: [10.1038/s41586-019-1287-z](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1287-z), <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1287-z>

Journal information: **Nature**

DELTA PHYSICS MAGAZINE

SCHOOL OF PHYSICS,
IRAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Breaking the symmetry in the quantum realm

For the first time, researchers have observed a break in a single quantum system. The observation—and how they made the observation—has potential implications for physics beyond the standard understanding of how quantum particles interact to produce matter and allow the world to function as we know it. The researchers published their results on May 31st, in the journal Science.

More information: Yang Wu et al, Observation of parity-time symmetry breaking in a single-spin system, Science (2019). DOI: 10.1126/science.aaw8205

Journal information: Science

Fiber-optic probe can see molecular bonds

In "Avengers: Endgame," Tony Stark warned Scott Lang that sending him into the quantum realm and bringing him back would be a "billion-to-one cosmic fluke."

In reality, shrinking a light beam to a nanometer-sized point to spy on quantum-scale light-matter interactions and retrieving the information is not any easier. Now, engineers at the University of California, Riverside, have developed a new technology to tunnel light into the quantum realm at an unprecedented efficiency.

More information: High external-efficiency nanofocusing for lens-free near-field optical nanoscopy, Nature Photonics, DOI: 10.1038/s41566-019-0456-9 ,

Journal information: Nature Photonics

Discovery of field-induced pair density wave state in high temperature superconductors

Superconductors are quantum materials that are perfect transmitters of electricity and electronic information. Although they form the technological basis of solid-state quantum computing, they are also its key limiting factor because conventional superconductors only work at temperatures near -270°C . This has motivated a worldwide race to try to discover higher temperature superconductors. Materials containing CuO_2 crystal layers (cuprates) are, at present, the best candidate for highest temperature superconductivity, operating at approximately -120°C . But room temperature superconductivity in these compounds appears to be frustrated by the existence of a competing electronic phase, and focus has recently been on identifying and controlling that mysterious second phase.

More information: S. D. Edkins et al, Magnetic field-induced pair density wave state in the cuprate vortex halo, Science (2019). DOI: 10.1126/science.aat177



instagram.com/delta.magazine



delta.mag@outlook.com



www.deltamagazine.blog.ir