

7th



DELTA MAGAZINE

SCHOOL OF PHYSICS, IRAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

✚ به همراه مصاحبه با دکتر محمد حسین مهدیه

مرزهای تاریک
یک هویت مجهول

صفحه ۴۸

نور
مایع

صفحه ۴۶

فیزیک
علیه سرطان

صفحه ۴۲

حرکت به سوی
انرژی های پاک

صفحه ۳۴

DELTA PHYSICS MAGAZINE

*SCHOOL OF PHYSICS,
IRAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY*

[instagram.com/delta.magazine](https://www.instagram.com/delta.magazine)

delta.mag@outlook.com

deltamagazine.blog.ir

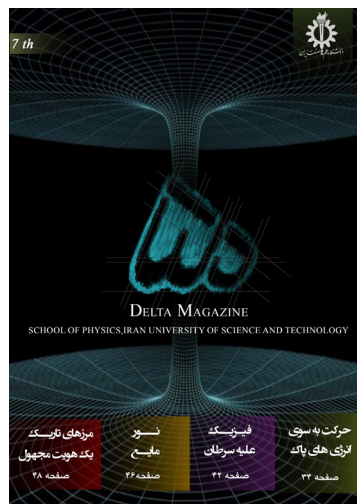
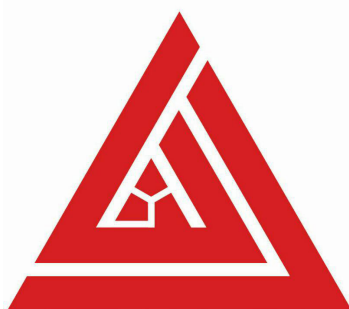
deltamag@iust.ac.ir



بسم الله الرحمن الرحيم

دلتا

نشریه تخصصی فیزیک / شماره ۷ / بهار ۱۳۹۷



صاحب امتیاز: سعید باقری

مدیر مسئول: محمد هادی حاجی زاده

سر دبیر: فاطمه هاشمی فر

مسئولین گروه علمی: دکتر امیرحسین احمدخان کردبچه و دکتر محمد واحدی

مدیر اجرایی: عارف بلالی

دبیر هیئت تحریریه: پگاه سرتیپی زاده

هیئت تحریریه: ملیکا کرمی، فاطمه فتاحی، لیلا برگمدی، فاطمه هاشمی فر، محمد هادی حاجی زاده، عارف بلالی، محسن رحیمی، پگاه سرتیپی زاده، فرزانه حبیبی، فائزه صابری، ریحانه نبی زاده، فاطمه فاتح پاک، ریحانه حمیدی مجلج، زینب محمودیان

همکاران این شماره: علی اندیشه، فرهاد ظفری، سمیه لطفی، ریحانه افقهی

مشاورین علمی این شماره: دکتر مهدی شایگان منش، دکتر همایون اشراقی، دکتر مسعود جزایری، دکتر روح الله عبدالوهاب، دکتر محمدرضا جعفر فرد

ویراستار ادبی: فاطمه هاشمی فر

صفحه آرا: فاطمه فتاحی

با تشکر ویژه از دکتر محمدحسین مهدیه و همه ی بزرگوارانی که ما را در این راه یاری کردند.

فهرست مطالب

- سخن سردبیر ۴
- دورفرستی از افسانه تا واقعیت ۶
- مصاحبه با دکتر محمدحسین مهدیه ۱۰
- شگفتی های نانوفناوری ۱۴
- حالت های ششگانه ی ماده ۱۷
- تولید پلاسما با لیزرهای پالسی ۲۰
- تکنولوژی ال ای دی های آبی ۲۶
- بمب هیدروژنی، سلاح نسل جدید ۳۰
- همجوشی هسته ای ۳۲
- هیتر سبز ۳۴
- معادله ی شرودینگر ۳۸
- نبرد با غول بیماری ها ۴۲
- نور مایع ۴۶
- مرزهای تاریک یک هویت مجهول ۴۸
- فیزیک در زندگی ۵۶
- فرهنگ علم ۶۰
- فیزیک شعبده باز ۶۱
- در دنیای فیزیکدانان چه می گذرد؟ ۶۲
- معرفی کتاب ۶۵
- وزن سایه ۶۶

- 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:

deltamag@iust.ac.ir

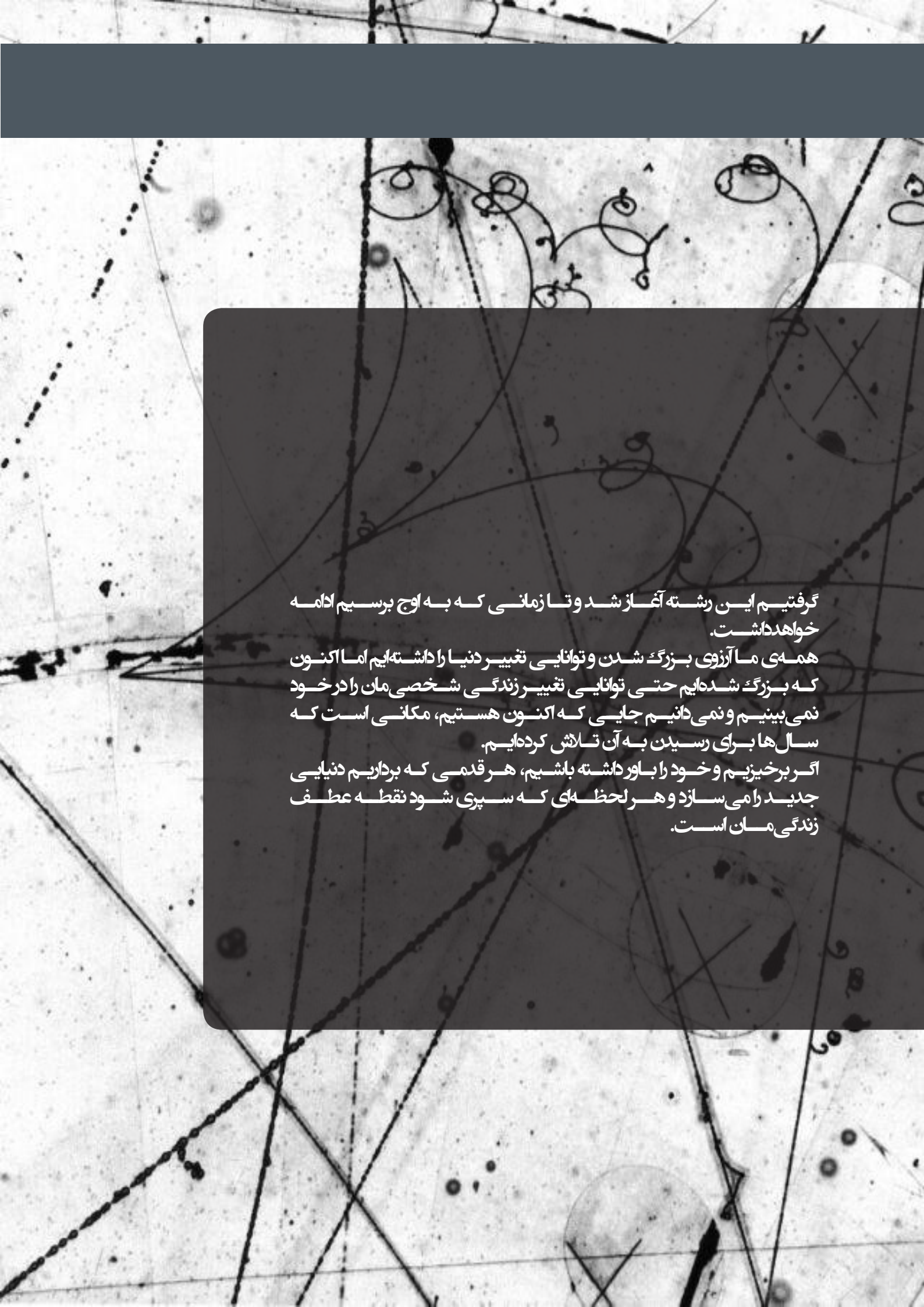
وَ أَنْ لَيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى وَ أَنَّ سَعْيَهُ سَوْفَ يُرَى
(النجم: ۳۹ و ۴۰)

((و نیست از برای انسان مگر کوشش و تلاشی که انجام داده است و قطعاً
ثمره کوشش و تلاش خود را خواهد دید.))

اولین حلقه از زنجیره‌ی گروه دلتا، با مجله‌ای در سال ۱۳۹۲ پا به عرصه وجود نهاد. سال‌های بعد نیز این گروه با همکاری دانشجویان پرتلاش و دغدغه‌مند به فعالیت خود ادامه داد تا از این رشته، ریشه‌ای محکم بسازد و اکنون بتوانیم نظاره‌گر به بارنشستن هفتمین ثمره‌ی آن باشیم.

از زمانی که اولین جرقه در ذهن فردی برای ایجاد گروه دلتا زده شد و نخستین شماره با کوششی فراوان و قالبی ابتدایی چاپ شد تا اکنون که گروهی مستحکم و همدل در تلاشند و تا آینده که روشنی‌اش، امروز نیز قابل تماشاست، هر زمان و هر قدم نقطه‌ی عطف‌مان بوده است و با تمام نواقص و کاستی‌ها به خود می‌بالیم که برای به حقیقت پیوستن رویاهایمان در تلاشیم.

اکثر ما در اواسط زنجیر زندگی‌مان هستیم، مسیری را طی کرده‌ایم و راهی نیز پیش رو داریم. هنگامی که برای اولین بار قلم را در دست



گرفتیم این رشته آغاز شد و تا زمانی که به اوج برسیم ادامه خواهد داشت.

همه‌ی ما آرزوی بزرگ شدن و توانایی تغییر دنیا را داشته‌ایم اما اکنون که بزرگ شده‌ایم حتی توانایی تغییر زندگی شخصی مان را در خود نمی‌بینیم و نمی‌دانیم جایی که اکنون هستیم، مکانی است که سال‌ها برای رسیدن به آن تلاش کرده‌ایم.

اگر برخیزیم و خود را باور داشته باشیم، هر قدمی که برداریم دنیایی جدید را می‌سازد و هر لحظه‌ای که سپری شود نقطه عطف زندگی مان است.



پگاه سرتیپ‌زاده

دانشجوی کارشناسی فیزیک
pegahsartipizadeh@gmail.com

اسکاتی منو انتقال بده!

طرفداران سریال تلوزیونی پیشتازان فضا علاقه فراوانی به درک چگونگی تله پورت دارند، در این سریال هنرپیشگان فیلم پس از قرار گرفتن در نقطه‌ای از سفینه اینترپرایز که ترانسپورتر نام دارد خود را در یک آن به اتاقی دیگر، سیاره‌ای دیگر و یا کهکشانی دیگر می‌فرستند. «دورفرستی» یا «تله پورت» توانایی انتقال آنی یک فرد یا یک شی به مکان دیگری است که می‌تواند مسیر تمدن را تغییر دهد، می‌تواند به گونه‌ای توقف ناپذیر قواعد تسلیحاتی را زیر و رو کند؛ ارتش‌ها می‌توانند نیروهای خود را پشت خط دشمن دورفرستی کنند، سیستم‌های ترابری امروزه از خودروها و کشتی‌ها گرفته تا هواپیماها و قطارها بی‌فایده خواهند شد. بشریت همیشه دغدغه‌ی افزایش سرعت انتقال اطلاعات را داشته است که می‌توان فیبرهای نوری را آخرین دستاورد بشر در این راه دانست، اما دانشمندان پیشرو، به فناوری فیبرهای نوری قانع نشدند و با اینکه شواهد موجود در فیزیک کلاسیک نشان داد که آخرین حد مجاز سرعت، سرعت نور است باز هم فکر انتقال اطلاعات را با سرعت فراتر از نور، یعنی انتقال آنی و در لحظه و در هر مسافتی حتی میلیاردها سال نوری آن طرف تر را در سر می‌پروراندند، البته که در این راه موفقیت‌های چشمگیری نصیبشان شده است.

عجیب اتم‌ها کشف کردند که الکترون‌ها می‌توانند مانند موج عمل کنند و با جذب انرژی در اتم‌ها پرش‌های کوانتومی انجام دهند. این ایده اولین بار توسط لویی دوبروی مطرح شد که الکترون‌ها می‌توانند رفتار موجی داشته باشند. (اینکه الکترون‌ها رفتار موجی دارند را می‌توان در آزمایش لوله‌ی پرتو کاتدی نیز به طور واضح مشاهده کرد. بدین ترتیب که الکترون‌ها را درون لوله‌ی پرتو کاتدی شلیک می‌کنیم و الکترون‌ها از درون سوراخ ریزی می‌گذرند، پس انتظار داریم که در محل برخورد الکترون‌ها به صفحه‌ی فلئوئورسانس با لکه‌های ریزی مواجه شویم اما چیزی که می‌بینیم حلقه‌های هم مرکز موج-وار هستند) که معادله‌ی موج آنها را اروین شرودینگر نوشت.

در طول سال‌ها انواع و اقسام اعتراضات از سوی دانشمندان نسبت به امکان‌پذیری دورفرستی مطرح شده است. برای دورفرستی یک شخص لازم است که مکان دقیق هر اتم را در بدن فرد زنده بدانیم، که طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ این کار غیر ممکن است. (چرا که اصل عدم قطعیت می‌گوید که شما نمی‌توانید هم مکان دقیق و هم سرعت هر الکترون را بدانید). بنا به نظریه‌ی نیوتونی، دورفرستی کاری غیر ممکن است. قوانین نیوتون براساس این دیدگاه‌اند که ماده از توپ‌های بیلیارد ریز و سفتی ساخته شده‌اند که اشیاء ناگهان ناپدید و در جای دیگر پدیدار نمی‌شوند. اما در نظریه‌ی کوانتوم این همان کاری است که ذرات انجام می‌دهند، دانشمندان به هنگام تحلیل خواص

دورفرستی از افسانه تا واقعیت

همگامی موج‌وار باقی بمانند حتی اگر آنها بسیار از هم دور شوند. با آنکه این دو الکترون چه بسا سال‌های نوری از هم دور باشند کماکان موج شرودینگر نامرئی مانند بند ناف آن دو را به هم متصل می‌کند، یعنی اگر بلایی سر یکی از الکترون‌ها بیاید آنگاه مقداری از آن اطلاعات فوراً به الکترون دیگر منتقل می‌شود. به این «اینفوگرافی» یا «درهم‌تنیدگی کوانتومی» می‌گویند. یعنی ذراتی که با همدوسی در حال ارتعاش‌اند دارای نوعی خط ارتباطی ژرف بین خود هستند. حال مفهوم درهم‌تنیدگی را با مثالی ساده روشن‌تر می‌کنیم؛ دو الکترون همدوس را که در هماهنگی نوسان می‌کنند در نظر بگیرید سپس می‌گذاریم که در جهت‌های مختلف از هم دور شوند، اسپین هر الکترون می‌تواند به سمت بالا و یا پایین باشد، (فرض می‌کنیم اسپین کل سیستم صفر باشد) طبق نظریه کوانتوم قبل از انجام اندازه‌گیری، اسپین الکترون نه در بالا و نه در پایین است بلکه در حالتی بین این‌ها

است، اما به محض انجام اندازه‌گیری روی یکی از الکترون‌ها، اسپین در حالتی مشخص قرار می‌گیرد (دقیقاً مثل وقتی که جای الکترون را روی تابع موج احتمال نمی‌دانیم اما به محض اندازه‌گیری، الکترون خودش را در آن مکان نشان می‌دهد، و این سوال مطرح می‌شود که آیا الکترون از قبل آنجا بوده و ما بطور

تصادفی مکان آنرا در اندازه‌گیری پیدا کرده‌ایم یا خیر، الکترون تا قبل از اندازه‌گیری آنجا نبوده) مثلاً اسپین بالاست، بدین ترتیب فوراً می‌دانیم که اسپین الکترون دوم پایین است. حتی اگر الکترون‌ها سال‌های نوری از هم دور باشند باز هم به محض مطلع شدن از اسپین الکترون اول، از اسپین الکترون دوم مطلع می‌شویم؛ در واقع شما سریعتر از سرعت نور از این آگاه می‌شوید، که اینشتین این را «حرکت شبخ‌وار در دوردست» نامید و به خیال خودش توانست با این پدیده ثابت کند که نظریه کوانتوم در اشتباه است چرا که چیزی نمی‌تواند سریعتر از نور حرکت کند (این موضوع که سرعت نور، بالاترین سرعت در گیتی است را خود اینشتین در نسبیت خاص اثبات کرد). در مقابل وی بر این عقیده بود که

اما این پرسش هنوز مطرح است که اگر الکترون را با موج توصیف می‌کنیم، پس خود آن موج‌ها چه هستند؟ مکس بورن فیزیکدان پاسخ داد که این موج‌ها، موج‌های احتمال‌اند، یعنی الکترون کماکان ذره است اما مثل موج رفتار می‌کند و احتمال یافتن آن ذره نیز با موج شرودینگر داده می‌شود.

آزمایش EPR

در سال ۱۹۳۵ آلبرت اینشتین و دو تن از همکارانش بوریس پودولسکی و ناتان روزن، مقاله‌ای به قصد رد کردن و کنار گذاشتن همیشگی نظریه‌ی مکانیک کوانتوم و احتمال ارائه دادند، زیرا نظریه‌ی کوانتوم اینشتین را قانع نکرده بود و او معتقد بود که نظریه‌ی کوانتوم کامل نیست و نمی‌تواند توضیح کاملی از واقعیت ارائه دهد.

آزمایش فکری پارادوکس EPR به این صورت بود که

می‌گفت: برای اینکه نظریه کوانتوم نظریه‌ای کامل تلقی شود، باید تمام عناصر واقعیت فیزیکی را تشریح کند، برای مثال؛ اگر یک جسم متحرک، مکان و تکانه دارد نظریه باید مقدار کامل این‌ها را به ما بگوید. بر طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ که در سال ۱۹۲۷ مطرح شد شما تنها در صورتی می‌توانید با قطعیت مکان یک ذره را تعیین کنید

که تکانه آن معلوم نباشد برعکس اینشتین با این اصل موافق نبود، و می‌گفت: «از این اصل دو نتیجه می‌توان گرفت: یا مکان و تکانه به طور همزمان وجود ندارند، یا اینکه نظریه کوانتوم به عنوان توصیفی از واقعیت کامل نیست.»

پس نظریه مکانیک کوانتوم باید عناصر یا متغیرهایی را که مقدار این‌ها (مکان و تکانه) را همزمان به ما می‌گویند، در برگیرند. با وجود اینکه این کار برای اجسام بزرگ مانند یک خودرو راحت است؛ اما در دنیای ریز کوانتومی به این سادگی‌ها نیست.

• قسمت دیگر آزمایش EPR مربوط به درهم‌تنیدگی کوانتومی است. اگر دو الکترون در آغاز با هماهنگی ارتعاش کنند (حالت موسوم به همدوسی) می‌توانند در

میچیو کاکو می‌گوید: «بسیاری از چیزهایی که در فیلم پیش‌تازان فضا یا سفر ستاره‌ای (Star Trek) ملاحظه می‌کنید از جمله تله پورت واقعاً عملی خواهند شد. شما حتماً عبارت «اسکاتی منو انتقال بده، رو بخاطر دارید. ما قبلاً به این جمله می‌خندیدیم. ما فیزیکدانان قبلاً به کسانی که در مورد دورنوردی یا نامرئی شدن یا مانند آنها، صحبت می‌کردند می‌خندیدیم، اما الان دیگر اینکار را نمی‌کنیم چرا که متوجه شدیم در این مورد اشتباه می‌کرده‌ایم.»

نور فرابنفش دورفرستی شدند در ۱۹۹۷ در دانشگاه اینس بروک انجام شد.

در سال ۲۰۰۴ فیزیکدان‌ها در دانشگاه وین توانستند ذرات نور را در فاصله‌ای ۶۰۰ متری در زیر رودخانه‌ی دانوب با استفاده از کابل فیبر نوری دورفرستی کنند.

ولی این آزمایشات، دانشمندان را قانع نکرد چرا که آنها با فوتون‌های نور انجام شده‌اند. ما به دنبال دورفرستی خود اتم هستیم. سرانجام در سال ۲۰۰۴ دورفرستی کوانتومی با اتم‌های واقعی انجام شد.

« در هم‌تنیدگی ، یعنی به مفهومی آنچه بر سر ما بیاید خود به خود بر چیزهایی در فواصل دوردست گیتی، هم‌زمان تأثیر می‌گذارد، چون توابع موج‌ها احتمالاً در آغاز زمان در هم تنیده بوده‌اند. »

فیزیکدان‌ها در انستیتوی ملی استانداردها و فناوری در واشینگتن با موفقیت سه اتم بریلیم را در هم‌تنیده و خواص یک اتم را به دیگری منتقل کردند. این آزمایشات موفقیت چشمگیری را در دورفرستی به ارمغان آورد. بعد از آن هم فیزیکدان‌ها توانستند در سال ۲۰۰۶ برای نخستین بار شی ماکروسکوپی، شامل باریکه‌ای نور با گازی از اتم‌های سزیم که شامل تریلیونها تریلیون اتم بود، در هم تنیده کنند؛ اینکار در انستیتو نیلس بور در کپنهاگ و انستیتو ماکس پلانک در آلمان انجام شد.

دورفرستی بدون در هم تنیدگی

در سال ۲۰۰۷ فیزیکدان‌ها روشی پیشنهاد کردند که برای دورفرستی به در هم‌تنیدگی نیاز نباشد.

استون بردلی و همکارانش، باریکه‌ای از اتم‌های روبیدیم را گرفته، تمام اطلاعات آن‌ها را به باریکه‌ی نور تبدیل کرده، این باریکه را به کابل فیبر نوری فرستاده، سپس باریکه‌ی اصلی اتم‌ها را در مکانی دورتر بازسازی می‌کنند. (در جلوتر این بحث بیشتر توضیح داده می‌شود).

دکتر بردلی، روش جدید خود را « دورفرستی کلاسیک » نامید، با اینکه روش او نیز شدیداً به نظریه کوانتوم وابسته است.

کلید این دورفرستی بدیع حالت جدیدی از ماده موسوم به حالت «چگالیده ی بوز اینشتین» (BEC) است. که یکی از سردترین موادی است که در تمام دنیا وجود دارد. در طبیعت سردترین دمای یافت شده، ۳K بالای صفر مطلق است. ولی (BEC) یک میلیونوم تا یک میلیاردیوم درجه بالای صفر مطلق است که فقط در آزمایشگاه می‌توان با آن رو به رو شد.

باید عنصری « یک متغیر پنهان » از یک نظریه‌ی بنیادین وجود داشته باشد که نتایج هر دو اندازه‌گیری را پیشاپیش تعیین کند.

• در دهه‌ی ۱۹۸۰ آلن آسپه و همکارانش در فرانسه این آزمایش را با دو آشکارساز به فاصله‌ی ۱۳ متر انجام دادند و اسپین‌های فوتون‌های گسیل شده از اتم‌های کلسیم را اندازه گرفتند، و نتایج دقیقاً با نظریه‌ی کوانتوم هم‌خوانی داشت. • آیا براستی اطلاعات سریع تر از نور حرکت می‌کنند؟ بله. اطلاعات سریع تر از نور حرکت می‌کنند اما

این اطلاعات تصادفی‌اند و در نتیجه بدرد نخور. مثلاً در یک جعبه دو توپ قرمز و آبی می‌اندازید و بعد بدون نگاه کردن و بطور تصادفی یک توپ را بیرون می‌آورید، می‌بینید که قرمز است حالا شما سریع تر از نور می‌فهمید که توپ دیگر آبی است اما این اطلاعات بی فایده‌اند.

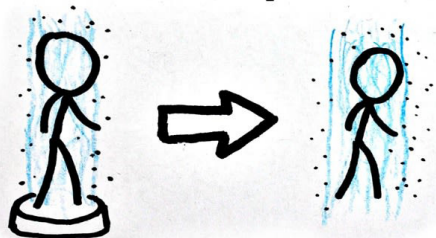
• یکی از محققان دانشگاه سوئینبرن در سیدنی می‌گوید: «تله پرت کوانتومی مانند یک ماشین فاکس پیشرفته عمل می‌کند، به طوری که حالت کوانتومی از یک مکان به مکان دیگر منتقل می‌شود.»

• امروزه محققان ثابت کرده‌اند که برای جلوگیری از لو رفتن اطلاعات در مسیر انتقال باید به شیوه‌ایی از آزمایش معروف EPR ، و نوع خاص در هم‌تنیدگی آن استفاده کرد. در این آزمایش‌های دورفرستی فیزیکدان‌ها با دو اتم A و C کار را آغاز می‌کنند. فرض کنید که می‌خواهیم اطلاعات را از اتم A به اتم C دورفرستی کنیم. اتم سوم B را وارد می‌کنیم که از آغاز با C در هم‌تنیده‌اند، اکنون اتم A در تماس با اتم B قرار داده می‌شود به طوری که اطلاعات موجود در اتم A به اتم B منتقل می‌شود، در این فرآیند A و B در هم‌تنیده می‌شوند اما چون B و C از آغاز در هم‌تنیده بوده‌اند اطلاعات از درون A به درون C منتقل شده‌اند. توجه کنید که اطلاعات موجود در اتم A از بین رفته و این اطلاعات در جای دیگری (اتم C) پدیدار شده‌اند. توجه کنید که خود اتم به مکان دیگری نمی‌رود بلکه اطلاعات درون اتم است که منتقل می‌شود مثل اسپین و قطبش آن.

دورفرستی‌های انجام شده تا به امروز

نخستین نمایش دورفرستی کوانتومی که در آن فوتون‌های

Quantum Teleportation



جلوگیری کند، درست مثل فیلم‌های علمی تخیلی، ولی مشکلات فنی پیش روی چنین شاهکاری بی-تردید بسیاری‌اند. تنها برقراری همدوسی بین فوتون‌های ریز نور و اتم‌های منفرد، برخی از برترین آزمایشگاه‌های فیزیک در دنیا را به خود مشغول کرده است. برقراری همدوسی کوانتومی اشیای واقعا ماکروسکوپی، مثل یک آدم، بی‌تردید مدت‌های مدید به طول می‌کشد. راستش احتمالا قرن‌های متمادی یا حتی بیشتر طول می‌کشد تا بتوان اشیای عادی را دورفرستی کرد، تازه اگر بشود. البته این را باید متذکر شد که مسئله حیات همچنان وجود دارد. یعنی شاید بتوان یک شخص مرده را عینا در فاصله‌ی دور بازسازی کرد ولی حیات را مثل یک شی مادی نمی‌توان منتقل کرد.

پذیرفتن نظریه‌ها چهار مرحله دارد:

۱. چرت و پرتی بی‌ارزش است؛
۲. جالب است ولی گزراه؛
۳. درست است، ولی کاملا بی اهمیت؛
۴. من همیشه همین را گفتم.

وقتی ماده‌ها تا نزدیک صفر مطلق سرد شوند، اتم‌های آنها سریعا به پایین ترین حالت انرژی فرو می‌افتند، به طوری که تمام اتم‌های آنها در هماهنگی با هم ارتعاش می‌کنند و همدوس می‌شوند.

توابع موج تمام اتم‌های ماده BEC به گونه‌ای، شبیه به یک « ابر اتم » گنده می‌شود، که در آن تمام اتم‌ها در هماهنگی ارتعاش می‌کنند. این حالت عجیب از ماده توسط اینشتین و ساتین‌درانات بوز در ۱۹۲۵ پیش‌بینی شد اما تا زمانی که سرانجام BEC در ۱۹۹۵ در آزمایشگاه MIT و دانشگاه کلرادو ساخته شد، هفتاد سال گذشت.

کارکرد وسیله‌ی دورفرستی بردلی و همکارانش بدین صورت است. نخست آنان با مجموعه‌ای از اتم‌های رویدیم ابرسرد در حالت BEC آغاز می‌کنند. سپس آنان باریکه‌ای از ماده را درون BEC می‌فرستند (که آن نیز از اتم‌های رویدیم ساخته شده). اتم‌های درون باریکه نیز سریعا به پایین‌ترین حالت انرژی خود می‌روند، به طوری که اضافه انرژی را به صورت تپی از نور رها می‌کنند. سپس باریکه‌ی نور حاصل به درون کابل فیبر نوری می‌رود. این باریکه‌ی نور در برگیرنده‌ی تمام اطلاعات کوانتومی لازم برای تشریح باریکه‌ی اولیه‌ی ماده است (مانند مکان و سرعت تمام اتم‌های آن). بعد این باریکه‌ی نور به BEC دیگری برخورد می‌کند که در نتیجه باریکه‌ی نور را به باریکه‌ی ماده اصلی تبدیل می‌کند.

این شیوه‌ی تازه دورفرستی بسیار نویدبخش است، چرا که شامل درهم‌تنیدگی اتم‌ها نیست. ولی این روش هم دشواری‌های خود را دارد. نخست این که بسیار به خواص BEC ها وابسته است که ساخت آن‌ها در آزمایشگاه سخت است. گذشته از آن خواص BEC ها کاملا عجیب غریب است، زیرا آن‌ها طوری رفتار می‌کنند که گویی یک اتم گنده هستند. در اصل اثرات کوانتومی عجیبی را که تنها در سطح اتمی شاهدیم می‌توانیم با چشم غیر مسلح با BEC مشاهده کنیم. زمانی این امکان‌ناپذیر تصور می‌شد. بالاخره کی می‌توان انتظار داشت که بتوانیم خودمان را دورفرستی کنیم؟؟؟

با دانستن پیشرفت‌های بدست آمده بالاخره کی می‌توان انتظار داشت که بتوانیم خودمان را دورفرستی کنیم؟ فیزیکدان‌ها امید دارند که در سال‌های آتی مولکول‌های پیچیده را دورفرستی کنند. پس از آن شاید مولکول DNA یا حتی چه بسا ویروس، طی دهه‌های آینده دورفرستی شود. در اصل چیزی وجود ندارد که از دورفرستی انسان

منابع

۱- کتاب «فیزیک ناممکن‌ها» از میچو کاکو

۲. <http://khabaronline.ir>
۳. <http://bigbangpage.com>
۴. <http://fa.m.wikipedia.org>
۵. <http://hupa.com>
۶. <http://tebyan.net>

دانشجوی کارشناسی فیزیک
reyhanehhamidi@yahoo.com



در هفته‌ی دوم اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ خدمت استاد ارجمند، **دکتر محمدحسین مهدیه** رسیدیم تا ضمن استفاده از تجربیات و گفته‌های ایشان، مطالبی برای مطالعه دانشجویان محترم از طریق نشریه علمی دلتا فراهم کنیم.

دکتر محمدحسین مهدیه، تحصیلات لیسانس و فوق لیسانس خود را در دانشگاه صنعتی شریف به اتمام رساندند و سپس مقطع دکتری خود را در دانشگاه اسکس انگلستان در زمینه لیزر و پلاسما گذراندند. ایشان از سال ۱۳۷۶ در دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه علم و صنعت استخدام و مشغول به تدریس و تحقیق شدند. ایشان در سال ۱۳۸۴ به مرتبه دانشیاری و در سال ۱۳۸۹ به مرتبه‌ی استاد تمام ارتقا مرتبه یافتند. در زمینه آموزش ایشان در مقطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی تدریس داشته‌اند. به عنوان مثال در مقطع کارشناسی دروسی نظیر فیزیک پایه، الکترومغناطیس، مکانیک کوانتومی و فیزیک پلاسما، فیزیک لیزر و کاربردهای لیزر، اپتیک کاربردی و آکوستیک و آزمایشگاه‌های فیزیک پایه ۳، مدرن، اپتیک و لیزر توسط ایشان ارائه شده‌است.

همچنین در مقطع تحصیلات تکمیلی دروس مکانیک کوانتومی پیشرفته و الکتروپدینامیک کلاسیک (در مقطع کارشناسی ارشد)، فیزیک لیزر پیشرفته، فیزیک پلاسمای پیشرفته، کاربردهای لیزر و برهم کنش پرتو لیزر با مواد و پلاسما توسط ایشان تدریس شده‌است.

• لطفاً در مورد بازار کار رشته فیزیک توضیح دهید.

شاید بهتر باشد این سوال را در دو بخش پاسخ دهیم. اگر سوال این است که بازار کار فارغ التحصیلان فیزیک در شرایط فعلی چگونه است؛ پاسخ این است که نه تنها فیزیک بلکه بسیاری از رشته‌های دیگر هم بازار کار مناسبی ندارند. البته فیزیک به دلیل موضوع و پیچیدگی‌هایش وضعیت بدتری دارد. در واقع به خصوص در مورد بازار کار رشته فیزیک در جامعه ما و در شرایط فعلی خیلی نمی‌شود حساب باز کرد چون مجموعه‌های لازم را برای این کار نداریم. حالا اگر بخواهیم این سوال را ریشه‌یابی کنیم و علل آن را پیدا کنیم بحث دیگری است. یعنی سوال دیگری را پاسخ دهیم و این که برای داشتن بازار کار چه باید کرد موضوع دیگری است. در واقع باید عرض کنم برای داشتن بازار کار، بخش خصوصی باید فعال باشد و به این بخش باید تکیه کنیم، نه بخش دولتی. فیزیک ذاتاً رشته‌ای است که بیشتر باید درگیر تحقیقات باشد. در کشور ما به دلیل این که تحقیقات اغلب دولتی بوده بخش خصوصی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است بنابراین بازار کار فیزیکدانان فقط چند بخش دولتی محدود می‌باشد. اگر بخش خصوصی یعنی شرکت‌های دانش

بنیان در کشور بازارشان داغ باشد کسانی که فیزیک خواندند به خصوص فیزیکدان‌های تجربی بازار کار پیدا می‌کنند. فعالیت در زمینه ساخت ابزار و تجهیزات High Tech نیازمند سه مولفه است: نیروی انسانی، تجهیزات و بودجه و نهایتاً وجود مشتری محصول تولید شده. ما از نظر نیروی انسانی مستعد واقعاً غنی هستیم اما متأسفانه آموزش نامناسب در دانشگاه‌ها و بی‌هدف بودن آن‌ها باعث شده‌است که نیروی انسانی کارا و قابل را در خروجی نداشته باشیم. مدرک گرایی آفتی است که جامعه دانشگاهی را فرا گرفته‌است و این آفت به ایجاد بازار کار صدمه خواهد زد. اشکال دیگر ورود بی رویه کالای آماده به کشور می‌باشد. وقتی هر وسیله و ابزار و تجهیزاتی را که در جامعه نیاز باشد با قیمت کم از کشور چین وارد کنند هیچگاه شرکت دانش‌بنیان بازاری در داخل نخواهد داشت و به تبع آن نیروی انسانی نیز جذب نخواهد شد. بنابراین سرمایه‌گذاری در این زمینه کاهش پیدا می‌کند و نتیجه این می‌شود که تحصیل کرده‌ها آینده خود را در خروج از کشور ببینند. وقتی سرمایه‌گذاری در زمینه تامین تجهیزات وجود نداشته باشد شرکت دانش‌بنیانی هم شکل نمی‌گیرد. شاید دانشگاه‌ها برای شروع بتوانند

المللی چاپ کرده‌ایم. دو دانشجوی دکترا با این موضوع فارغ‌التحصیل شده‌اند. همچنین روی ایجاد پلازما با لیزرهای پر شدت مدت‌هاست که کار می‌کنیم و در این زمینه نیز حدود ۱۰ دانشجوی کارشناسی ارشد و دکترا فارغ‌التحصیل شده‌اند و مقالات خوبی در این زمینه در مجلات بین‌المللی به چاپ رسانده‌ایم. در این زمینه با یک گروه ژاپنی از دانشگاه سوکا آشنا شدیم که روی ساخت سنسورهای فیبر نوری کار می‌کردند و برای یک قسمت نیاز به شکست اپتیکی با لیزر داشتند و از ما کمک خواستند و ارتباط بین‌المللی خوبی برقرار شد. برای مدت حدود ۱ ماه از من دعوت کردند تا در گروهشان کار کنم و کلاس‌هایی را هم برای دانشجویان ارشد و دکترا آن‌ها برگزار کردم. با گروه دانشگاه یورک انگلستان هم مدت‌ها ارتباط داشتم و در زمینه تولید اشعه ایکس با لیزرهای پرتوان با آن‌ها کار می‌کردم. به دعوت این دانشگاه چندین ماه در چندین مرحله به دانشگاه یورک رفتم و با آن‌ها ارتباط نزدیک داشتم. در حدود ۱۰ دانشجوی ارشد و دکترا نیز پایان‌نامه‌هایشان در این زمینه انتخاب کردم و همه آن‌ها فارغ‌التحصیل شده‌اند. در حدود ۸ سال است که در زمینه ساخت ذرات نانویی کلوییدی با استفاده از لیزر کار می‌کنیم. تا به حال ۳ دانشجوی دکترا و ۶ دانشجوی ارشد در این زمینه پایان‌نامه‌هایشان را انتخاب کردند و فارغ‌التحصیل شدند. البته ۷ نفر از دانشجویان دکترا و ارشد همچنان روی موضوع کار می‌کنند و ده‌ها مقاله در این زمینه تا به حال در مجلات بین‌المللی و کنفرانس‌های بین‌المللی به چاپ رسانده‌ایم.

• فیزیک چیست و ما چرا فیزیک می‌خوانیم؟ هدف فیزیک چیست؟

فیزیک پاسخگوی سؤالاتی است که به طبیعت بر می‌گردد. فیزیک علل وقایعی که در طبیعت می‌افتد را توصیف می‌کند. مثلاً فیزیکدان‌ها به دنبال این هستند که بفهمند عالم چگونه به وجود آمده‌است؛ دنبال این هستند که بفهمند روند شکل‌گیری عالم چه‌طور بوده‌است. از کجا آغاز شده و به کجا خواهد رفت. در خارج از زمین ما چه خبر است و چه می‌گذرد؟ البته بخش دیگری از فیزیک جنبه کاربردی دارد و بر اساس قوانین طبیعت ابزاری ساخته می‌شود که بی‌نظیر است. این بخشی از فیزیک در دنیا نقش مهمی در اقتصاد دارد و شاید بتوانم بگویم در بعضی موارد حرف اول را می‌زند و

این اشکال را رفع کنند. یعنی ما با استفاده از تجهیزات پیشرفته‌ای که در دانشگاه‌ها وجود دارد با کمک اساتید و دانشجویان بتوانیم شرکت‌های دانش‌بنیانی را شکل دهیم که بتوانند در آینده با پیدا کردن مشتری‌های خود کم‌کم مستقل شوند و با سرمایه خود کار را ادامه دهند. پروژه‌ها و پایان‌نامه‌ها را هم در این مسیر قرار دهیم تا به جای این‌که دنبال فقط چاپ مقالات بی‌حاصل آی اس آی (برای جامعه فعلی) باشیم به دنبال انجام پروژه‌هایی باشیم که محصول آن در ابتدا مشتری داخلی و در مرحله‌ی بعد مشتری خارجی داشته باشد. به این ترتیب دروس آموزشی هم شکل کاربردی‌تر و جهت‌مندتری می‌یابد. این ایده در شرایط فعلی شاید بتواند مشکل را تا حدودی حل کند. نکته دیگری که جامعه فیزیک را متحول خواهد کرد. من از سال گذشته تلاشی برای این ایده کردم اما متأسفانه ایده من مشتری دانشجویی نداشت. بنده سال گذشته اطلاعیه‌ای برای دانشجویان کارشناسی روی تابلوهای دانشکده زدم و از علاقه‌مندان به مهندسی اپتیک، مهندسی لیزر و مهندسی پلازما دعوت کردم برای اخذ پایان‌نامه کارشناسی به منظور طراحی سیستم‌های اپتیکی، لیزری و پلاسمایی مراجعه کنند، اما فقط یک دانشجوی مراجعه داشت.

• شما خودتان در چه زمینه‌ای در حال حاضر فعالیت پژوهشی دارید؟

بنده در راستای مختلف پایان‌نامه‌ها را جهت داده‌ام. یک بخش از فعالیت‌های تحقیقاتی ما جنبه کاربردی‌تر دارد. این بخش بیش‌تر به اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی مختلف بر می‌گردد که بر مبنای روش اپتیکی است و با استفاده از لیزر کار می‌کند. به عنوان مثال صافی سنجی (اندازه‌گیری صافی و یا زبری اجسام)، اندازه‌گیری ابعاد ذرات ریز (نانویی و میکرویی)، سرعت سنجی (سیالات به‌خصوص سیالات گازی) و ضخامت سنجی و دما سنجی دقیق نمونه پروژه‌هایی بوده‌است که در آزمایشگاه اندازه‌گیری‌های دقیق اپتیکی و لیزری انجام شده‌است. در آزمایشگاه دیگری که در کنار این آزمایشگاه قرار دارد عمدتاً در زمینه‌هایی کار می‌کنیم که بر مبنای برهم کنش لیزر با مواد است. مثلاً ایجاد ناصافی‌های نانویی و میکرونی روی سطوح نیمه رساناها و فلزات که در ساخت سلول خورشیدی کاربرد دارد، چندین سال است که فعال بوده‌ایم. در این زمینه مقالات خوبی در مجلات بین

در واقع ابزار بزرگ و مهم برای تحول اقتصادی است چون با استفاده از فیزیک می‌توان محصولات با تکنولوژی بالا یا به اصطلاح فرنگی‌ها تجهیزات Hight tech تولید کرد. شرکت‌های بزرگ که در این زمینه کار می‌کنند برای انجام برنامه‌هایشان عمدتاً فیزیکدان استخدام می‌کنند و مجموعه‌ای تحت عنوان: research and development دارند که کسانی که در این مجموعه‌ها وارد می‌شوند عمدتاً باید فیزیک بلد باشند. در دنیا باهوش‌ترین افراد به سمت رشته‌ی فیزیک می‌روند و با علاقه در آن کار می‌کنند و ایده‌های نو می‌سازند.

• لطفاً تحصیل در ایران و خارج از کشور در رشته فیزیک را مقایسه کنید، تحصیل در خارج از کشور برای چه کسانی مناسب‌تر است؟

اگر قرار باشد تحصیل مشکلات ما را حل کند فرقی نمی‌کند داخل باشید یا خارج، هر جا که امکانات آموزشی مناسبی داشته باشد خوب است. هر کجا که بروید نحوه‌ی فکر کردن و کار کردن آن‌ها را می‌بینید و تجربه‌ی خیلی خوبی است. در داخل کشور سطح کارشناسی نسبتاً خوب است. گرچه توجه بی‌رویه به تحصیلات تکمیلی و عمده کردن چاپ مقاله، افت تحصیلات دانشگاهی را به وجود آورده و این باعث شده است که به دوره‌های کارشناسی ما از جمله کارشناسی فیزیک توجه کم‌تری شود اما هنوز در سطح کارشناسی وضع‌مان بد نیست. لازم است بگویم که اگر قرار است دوره تحصیلات تکمیلی خوبی داشته باشیم باید به دوره کارشناسی اهمیت لازم را بدهیم تا دانشجویان قوی برای دوره تکمیلی داشته باشیم. در مقایسه با فارغ التحصیلان مثلاً ۲۰ سال قبل دانشجویان کارشناسی ما به شدت افت داشته‌اند و به همین دلیل در سطح ارشد و دکترا دانشجویان ضعیف‌تر شده‌اند؛ این مشکل که هر روز هم بیش‌تر می‌شود باعث خواهد شد که فعالیت در سطح تحصیلات تکمیلی از کیفیت لازم برخوردار نباشد. متأسفانه در دوره تحصیلات تکمیلی هم کنترل‌های لازم نیست و معلوم نیست استانداردهای لازم برای آموزش و تحقیقات در این مقطع رعایت شود. به نظر من با این شیوه و شرایطی که پیش رفته‌ایم و همچنان می‌رویم شاید بیش‌تر مدرک تولید می‌کنیم تا فارغ‌التحصیلانی که کارایی لازم را برای رفع مشکلات در فیزیک را داشته باشند. در خارج از کشور هم باید به دنبال دانشگاه‌های خوب و کشورهای باشیم

که امکانات خوبی دارند و می‌توانند فارغ‌التحصیلان با کیفیت تولید کنند. در خارج از کشور لزوماً دانشگاه‌ها در زمینه فیزیک از داخل بهتر نیستند. اما بسیاری از دانشگاه‌ها در خارج از کشور در اروپا و آمریکا از کیفیت بسیار بالایی برخوردار هستند و اگر در این دانشگاه‌ها تحصیل کنید خیلی خوب خواهد بود. اما فراموش نکنید که در حالت کلی همه چیز به خود فرد بستگی دارد. شما اگر در بهترین دانشگاه‌ها هم باشید اما تلاش نکنید هیچ ورودی‌ای برای شما نخواهد داشت و محصولی به دست نمی‌آورید. باید توانایی خود را بشناسید و طبق آن اهداف را مشخص کنید و رشد کنید. خارج از کشور تقریباً همه چیز تعریف شده و مشخص است و یک روند استاندارد را دنبال می‌کنند به همین دلیل دنباله‌ی این تلاش، پیشرفت است.

• تاثیر جنسیت در موفقیت در فیزیک چقدر است؟

به نظر من هیچ تاثیری ندارد و به عشق و علاقه‌ی آدم‌ها به فیزیک برمی‌گردد. در هر دو گروه بوده‌اند کسانی که بسیار موفق عمل کردند و یا بالعکس، دستاوردی نداشتند. باز هم به خود فرد، انگیزه و علاقه‌اش به کار کردن در فیزیک برمی‌گردد.

• اگر یک دانشجوی کارشناسی فیزیک در سال آخر تحصیل در انتخاب گرایش دچار مشکل شود چه کار کند؟

گرایش خیلی در قدم اول مهم نیست و در اغلب دانشگاه‌های خارج از کشور نیز در دوره کارشناسی گرایش مطرح نیست و دانشجویان باید مطالب پایه‌ای فیزیک و قوانین فیزیکی را در همه بخش‌های فیزیک یاد بگیرند. تا جایی که من خبر دارم در کشور خودمان هم از دو سال گذشته با برنامه جدید وزارت علوم گرایش در فیزیک برداشته شده است. پس گرایش از این منظر مهم نیست که نگران آن باشیم. اما اگر سوال این است که دانشجوی فیزیک در کدام شاخه فیزیک وارد شود و کار کند این بحث دیگری است. برخی دانشجویان از ابتدا به یک موضوعاتی از فیزیک گرایش پیدا می‌کنند. مثلاً علاقه‌مند به نجوم می‌شوند. یا مثلاً به ابزار اپتیکی و لیزری علاقه‌مند می‌شوند؛ یا علاقه‌مند به یک زمینه کاملاً نظری و ریاضیاتی در فیزیک می‌شوند. این دانشجویان در بقیه مسیر تحصیلی این گرایش‌ها را بیش‌تر

پروژه را در دوره کارشناسی داشته باشند یکی از وظایف اساتید راهنما این است که دانشجویان را در این زمینه آشنا کنند و به آن‌ها آموزش دهند. متأسفانه دانشجویان فیزیک کم‌تر به پروژه ۳ واحدی فیزیک توجه کرده‌اند بنابراین در این مورد هم مشکلاتی به‌وجود آمده‌است. علی‌الاصول چه در دروس که برخی اساتید از دانشجویان انتظار دارند تا سمناری داشته باشند و چه در پروژه کارشناسی (یا حتی ارشد) وظیفه اساتید است تا دانشجو را توجیه کنند و حداقل‌هایی را به دانشجویان آموزش دهند. البته استادی اگر مسئولیت دانشجویی را برعهده گرفت باید خودش در آن زمینه مسلط باشد و یکی از وظایفش این است که دانشجو را در زمینه مربوطه راهنمایی کند و تجربیات خود را منتقل کند چون دانشجو تجربه‌اش کم است و این مشکل توسط استاد راهنما برطرف شود.

با آرزوی موفقیت و آرامش روزافزون برای جناب آقای دکتر محمدحسین مهدیه باز دیگر از ایشان به خاطر وقتی که در اختیار تیم دلتا قرار دادند تشکر می‌کنیم.

فعالیت‌های تحقیقاتی دکتر مهدیه در فیزیک کاربردی و تجربی می‌باشد و در موضوع اپتیک - فتونیک - لیزر و پلاسما می‌باشد. تا به حال بیش از ۶۰ پایان‌نامه کارشناسی ارشد و حدود ۱۰ پایان‌نامه دکتری با راهنمایی استاد پایان یافته‌است. در حال حاضر ۴ دانشجوی دکترا و ۵ دانشجوی کارشناسی ارشد فعالیت خود را تحت نظر آقای دکتر مهدیه انجام می‌دهند. اغلب این پایان‌نامه‌ها در زمینه فیزیک تجربی (و بعضاً محاسباتی) بوده‌است که در آزمایشگاه تحقیقاتی؛ اندازه‌گیری‌های دقیق لیزری و اپتیکی؛ و همچنین آزمایشگاه تحقیقاتی؛ برهم‌کنش لیزر با مواد و پلاسما؛ اجرا شده و یا در حال اجرا می‌باشند.

ایشان از همان دوران دانشجویی و در مقطع کارشناسی علاقه‌ی زیادی به فیزیک داشتند و بیش‌تر روی فیزیک کاربردی تمرکز کرده و بر اساس علاقه، زمینه گرایش اپتیک و پلاسما را برگزیده‌اند. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان عبارت است از:

Laser and plasma interactions and related subjects
Laser induced breakdown and related subjects
Laser gas (or vapor) interactions and related subjects
Laser Resonator Design

دنبال می‌کنند و با افزایش دانش آن‌ها علاقه هم احتمالاً بیش‌تر می‌شود. سایر دانشجویان هم به نظر من به‌صورت طبیعی بعد از یکی دو سال که در فیزیک تحصیل می‌کنند احساس خواهند کرد که کدام زمینه را بیش‌تر دوست دارند. مثلاً زمینه‌هایی که به کوانتوم مربوط می‌شود یا زمینه‌هایی که با الکترومغناطیس و کلاسیک مرتبط است. دانشجویان باید سعی کنند در اخذ هر درسی این سوال را داشته باشند که آیا با این درس رفاقتی پیدا کرده‌اند یا نه. البته از منظر دیگر که می‌تواند کمک کند تا دانشجویان راحت‌تر گرایش خود را پیدا کنند این است که دانشجویان تلاش کنند و به این سوال پاسخ دهند تمایل به چه کاری دارد. می‌خواهند ادامه تحصیل دهند یا وارد بازار کار شوند. اگر بخواهند ادامه تحصیل دهند، طبیعتاً بهتر است قبل از ورود به این دوره و بعد از دوره کارشناسی مشخص کنند که به چه زمینه‌ای علاقه‌مند هستند. تجربی دوست دارند یا نظری؟ در کدام بخش تجربی و یا نظری بیش‌تر دوست دارند کار کنند. به نظر من بعد از دوره کارشناسی این سوال دیگر باید پاسخ معلوم باشد. از طرف دیگر اگر دانشجویی می‌خواهد وارد بازار کار شود خیلی دچار مشکل نمی‌شود چون کسی که به این مرحله رسیده‌است که بازار کار را انتخاب کرده یعنی قبلاً به این موضوع فکر کرده‌است که در چه موضوعی وارد بازار کار شود. در واقع اگر دانشجویان در سال‌های آخر تحصیل هنوز نمی‌دانند که چه گرایش و موضوعی را در فیزیک دوست دارند شاید بهتر باشد با افراد با تجربه‌تر مثل اساتید و یا فارغ‌التحصیلان قدیمی صحبت کنند تا اشکال کارشان را پیدا کنند والا به‌صورت طبیعی به نظر من باید در سال‌های آخر دوره کارشناسی دانشجویان علاقه‌مندی‌های خود در فیزیک را یافته‌باشند.

• یکی از مشکلاتی که اکثر دانشجویان کارشناسی دچار آن می‌شوند مسئله‌ی سرچ است. اساتید در این باره صحبت می‌کنند و فقط از دانشجویان مقاله یا پروژه می‌خواهند؛ این در حالی است که دانشجویان نمی‌دانند از کجا شروع کنند و مطالب مورد نیاز خود را چگونه از اینترنت استخراج کنند. لطفاً کمی درباره‌ی سرچ و روش تحقیق برایمان بگویید.

در رشته‌های دیگر درسی به نام روش تحقیق وجود دارد که اساتید ارائه می‌کنند و دانشجو آموزش می‌بیند. در فیزیک چنین درسی ارائه نمی‌شود. البته اگر دانشجویان درس

عارف بالایی
محسن رحیمی

دانشجویان کارشناسی فیزیک
a_balali@physics.iust.ac.ir
mohs_rahimi@physics.iust.ac.ir

شگفتی‌های نانوفناوری در پزشکی و کشف جرایم



فناوری نانو، زیست‌شناسی و ژنتیک مولکولی، فناوری اطلاعات و علوم شناختی چهار زیرساخت انقلاب سوم علمی-صنعتی جاری را تشکیل می‌دهند. همپوشانی این چهار حوزه در ساختاری واحد، با محوریت فناوری نانو، به پیدایش فناوری همگرا منجر شده‌است. در جهانی که در حال پیشرفت و توسعه روز افزون است، هیچ صنعتی نمی‌تواند بدون تکیه بر همکاری‌ها و تحقیقات چند رشته‌ای پیشرفت نماید. در این مقاله سعی شده است به دو مورد از کاربردهای نانوفناوری و پیشرفت‌های آن در پزشکی و کشف جرایم پرداخته شود.

مقاله نانوفناوری نامی است که بر پروژه‌ای که در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فاینمن^۱ استاد فیزیک نظری انستیتو Caltech در کالیفرنیا مطرح شده بود، نهاده شد. فناوری نانو در حقیقت توانایی ساخت، کنترل و استفاده از ماده در ابعاد نانومتری است. این اندازه در مواد مختلف متفاوت است، اما به طور معمول مواد نانو به موادی که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر باشد گفته می‌شود.

هدف فناوری نانو در پزشکی، ارائه امکانات آسیب‌شناسی و درمان آن‌ها در مقیاس‌های بنیادی، یعنی مولکولی و یا حتی زیرمولکولی است. در حیطه داروسازی نیز نانوفناوری دارای کاربردهای بسیار اساسی است و هدف راهبردی در این حوزه، طراحی بیمار-محور و بیماری-محور داروهای هوشمند و هدف‌گیر است. این داروها از قدرت عمل‌کنندگی مشخصی برخوردارند و قابلیت حس محیط آسیب دیده در بافت و تصمیم‌گیری در

۱. Richard Feynman

روش متداول برای آشکارسازی اثر انگشت استفاده از گردهای سفید بوده است که در صورت چرب بودن دست‌های مجرم، این گردها به آثار چربی باقیمانده چسبیده و اثر انگشت را نمایان می‌ساخت؛ ولی اگر مجرم دست‌هایش را شسته یا از دستکش استفاده می‌کرد احتمال آشکارسازی بسیار ضعیف می‌شد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ استاندارد جدیدی برای این کار ایجاد شد؛ چسب مخصوصی را حرارت می‌دادند تا بخار حاصل از آن بر روی آثار انگشت مورد نظر بنشیند و برای چشم غیرمسلح قابل رؤیت باشد. بدین ترتیب فناوری جدید، به روش گردهای سفید برتری داشت و قادر بود کم‌ترین آثار باقی‌مانده بر روی مواد، شامل آمینو اسیدها و گلوکز را نشان دهد. تنها محدودیت این فناوری زمان بود؛ به طوری که هر چه زمان بیشتری از اثرات باقی‌مانده می‌گذشت، ترکیبات



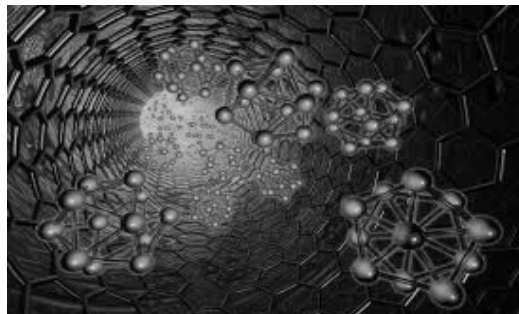
شیمیایی کم‌تری بر جا می‌ماند.

امروزه روش‌های جدید مبتنی بر فناوری نانو این امکان را می‌دهد که حتی در صورت برجای ماندن اثری از عرق دست انگشت‌نگاری لازم با موفقیت انجام شود. دانشمندان با استفاده از نانومهندسی و با ساخت اشکال جدید ذرات (مثل میله‌ای، مکعبی، کروی و هرمی) در جستجوی راهی برای آشکارسازی غیرقابل رؤیت‌ترین اثرات انگشت هستند. این ذرات با استفاده از تغییر در طول موج نوری که بر سطوح می‌تابد، علائم پراکنده را قابل شناسایی می‌سازند.

کاربرد نانو ذرات برای بزرگ‌نمایی اثر انگشت پنهان

۱. نانو ذرات طلا و نقاط کوانتومی ZnS و CdS آشکارسازی مطمئن و سریع اثر انگشت را باید قادران دو توسعه در فناوری نانو بود. در این روش آشکارسازی اثر انگشت، ابتدا سطح علامت‌گذاری شده با محلول

مورد چگونگی انتقال خود و مقدار مورد نیاز^۲ و اجتناب از اثرگذاری جانبی و حساسیت آفرینی را با خود حمل



می‌کنند.

طراحی مواد مورد استفاده در بسته‌بندی دارو نیز یکی از موضوعات بسیار مهم پژوهشی در نانوپزشکی دارویی است. برخی از داروهای سودمند، بسیار سمی هستند و اگر قبل از رسیدن به هدف مشخص، کپسول آن‌ها باز شود می‌توانند باعث بروز اثرات جانبی و یا تقلیل قدرت عملکرد خود شوند. پژوهش‌های حاضر در این زمینه نشان می‌دهد که اگر مواد مورد استفاده در ساخت کپسول دارو در برگیرنده نانوذرات (در اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) باشند، در مقایسه با موادی که در برگیرنده ذرات بزرگ‌تر (میکرونی) هستند، دارای نسبت سطح به حجم بزرگ‌تر بوده، اندازه حفره‌های موجود در جداره کپسول کوچک‌تر شده و کپسول از قدرت حلالیت بهینه‌تری برخوردار خواهد بود. این مزیت‌ها باعث ارتقاء قابلیت نفوذ و پخش دارو توسط کپسول می‌شود.

نانوفناوری و آشکارسازی اثر انگشت

فناوری نانو با توجه به قابلیت‌های فراوان آن در تشخیص و آشکارسازی سریع و دقیق، نوید آن را داده‌است که در آینده نزدیک با کمک این فناوری گام‌های مؤثرتری در راستای جلوگیری از وقوع جرم و شناسایی متخلفان برداشته شود. استفاده از فناوری نانو در انگشت‌نگاری می‌تواند راه‌حل‌های جدید و علمی برای آشکارسازی و بهبود آثار پنهان انگشت ارائه نماید که در غیر این صورت کشف نشده باقی خواهند ماند. با مروری بر فعالیت‌های انجام شده توسط محققان دانشگاه فناوری سیدنی استرالیا، کینگز کالج لندن و دانشگاه انگیل شرقی، به معرفی کارایی این فناوری در آشکارسازی جرائم پرداخته می‌شود.

می شود. اخیراً محققان استرالیایی استفاده از ذرات اکسید روی نانو ساختار را به عنوان پودر فلورسانت برای شناسایی اثر انگشت پنهان، مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق گفته این محققان پودر ساخته شده از نانوذرات اکسید روی می‌تواند یک تصویر تمیزتر و واضح‌تر از اثر انگشت حتی روی سطوح مرطوب، با استفاده از یک سوسپانسیون از ذرات ریز در محلول، آشکارسازی کند که جهت آشکارسازی اثر انگشت‌های پنهان روی سطوح غیرمتخلخل مرطوب نیز مؤثر است. در هر کدام از این کاربردها، اثر انگشت‌ها به دلیل تفاوت رنگ بین این پودر سفید و سطح پس‌زمینه آشکار می‌شوند. شکل استفاده از پودر اکسید روی جهت آشکارسازی اثر انگشت را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق تحت عنوان «یک ارزیابی از اکسید روی نانو ساختار به عنوان یک پودر فلورسانت برای شناسایی اثر انگشت» در مجله Journal of Material Science منتشر شده است.

نتیجه‌گیری

پایه‌ریزی علوم و فناوری نانو، نه فقط برای کشورهای صنعتی پیشرفته، بلکه بیشتر از آن‌ها، برای کشورهای در حال توسعه نظیر ایران می‌بایست به مثابه یک اولویت درجه اول ملی تلقی شود. برنامه‌ریزی موزون و سنجیده در این مورد می‌تواند منجر به پیشرفت این رشته در کشور شده و این امر بی‌شک ثمرات اجتماعی و اقتصادی مطلوب خود را به همراه خواهد داشت.

سوسپانسیون نانو ذرات طلا که توسط یون‌های سیترات پایدار شده باشد، پوشش داده می‌شود که تحت محیط اسیدی، ذرات طلا به مولکول‌های بار مثبت اثر انگشت می‌چسبند، سپس خطوط اثر انگشت با محلول یون‌های نقره تحت واکنش شیمیایی، احیا شده و سپس اثرات تیره فلز نقره در محل خطوط برجسته اثر انگشت پدیدار می‌شود. ولی محلول طلا بسیار ناپایدار است و تکرار روش از یک آزمایش به آزمایش دیگر مشکل است.

دانیال ماندلر^۳، جوزف آلموگ^۴ و همکارانش محلول سنتی طلا را با محلول مشابه پایدارتری جایگزین کردند که در این محلول نانو ذرات طلا از طریق تارهای مویی به زنجیره‌های بلند هیدروکربن متصل شده و در محلول بنزن و اتر به صورت معلق پایدار باقی می‌ماند و در اثر برهم‌کنش آبریزی به آثار باقی‌مانده از اثر انگشت چسبیده و سپس طبق روش متداول، فرایند آشکارسازی ادامه می‌یابد. این فرایند عکس‌هایی با کیفیت بالا را فقط با سه مرتبه غوطه ور کردن در محلول ارائه می‌دهد. تیم فوق با استفاده از سوسپانسیون نانو ذرات سولفات روی و سلناید کادمیوم پایدار شده به وسیله آمین‌های زنجیره‌ای، روشی را برای آشکارسازی اثر انگشت بر روی سطوح غیرمتخلخل نیز توسعه داده‌اند. در این روش از محلول نانو ذرات طلا، که تحت شرایط برهم‌کنش آبریزی، نانو ذرات طلا به اثر انگشت می‌چسبند استفاده می‌شود ولی در این حالت ذرات نانو تحت نور ماورای بنفش آشکار شده و نقش واضح فلورسنتی به علت وجود نانو ذرات سولفات روی و سلناید کادمیوم ارائه می‌دهند که احتیاج به مرحله آشکارسازی بعدی ندارد.

در این فرایند دو نوع نانو ذره مختلف پخش شده در محلول آلی، نانو ذره طلای پایدار شده با نرمال آلکان تیول‌ها^۵ و نقاط کوانتومی^۶ پایدار شده با نرمال آلکان آمین^۷، ترجیحاً به برجستگی‌های پنهان اثر انگشت می‌چسبند، سپس توسط آشکارساز فیزیکی نقره (Ag-PD) و یا تحت تابش نور ماورای بنفش آشکار می‌شوند.

۲. نانو ذرات اکسید روی

پودر اکسید روی به عنوان یک پودر فلورسانت برای شناسایی اثر انگشت روی سطوح غیرمتخلخل استفاده

۳. Daniel Mandler

۴. Joseph Almog

۵. n-alkanethiols

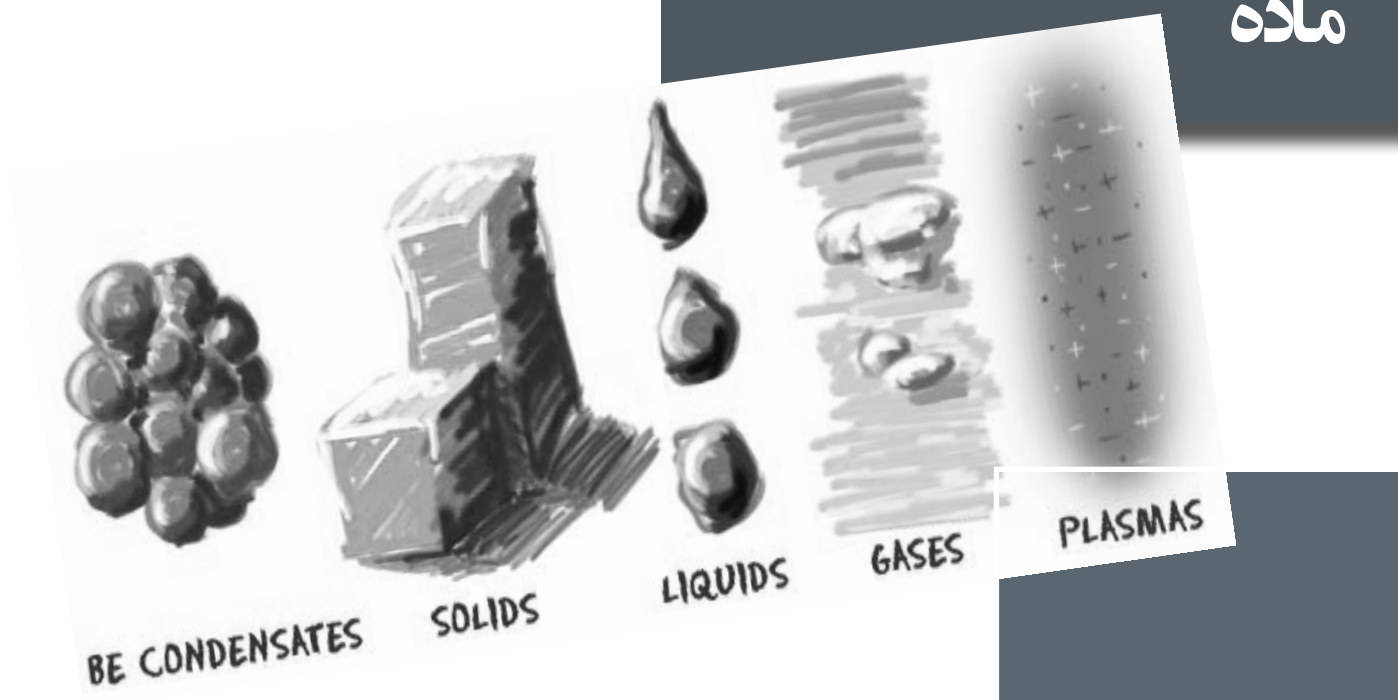
۶. CdSe/ZnS

۷. n-alkaneamine

منابع

۱. فصلنامه کیسون؛ مقاله کاربرد تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان
۲. فریما آگند، نادر نادری، آشکارسازی اثر انگشت مبتنی بر فناوری نانو
۳. دکتر هاشم رفیعی تبار، فناوری نانو و کاربردهای آن در پزشکی و داروسازی، منتشر شده در «پژوهش در پزشکی (مجله پژوهشی دانشکده پزشکی)»، تابستان ۸۴، صفحات ۱۱۱ تا ۱۱۵

حالت های ۶ گانه ماده



آنچه که ما تا کنون در کتابهای راهنمایی و دبیرستان و دانشگاه آموخته ایم این است که ماده دارای سه حالت، جامد، مایع و گاز است اما امروزه دانشمندان سه حالت جدید ماده را شناسایی کرده اند که نمیتوان آنها را جزو هیچکدام از حالت های قبلی طبقه بندی کرد، در ادامه شرح مختصری از این حالات را با هم می خوانیم.

در حالت جامد، نیروهای بین مولکولی، بقدری قویتر از انرژی جنبشی هستند که باعث سخت شدن جسم در نتیجه عدم جاری شدن آن میگردند. جامدات شکل و حجم معینی دارند. در جامدات فاصله مولکولها مانند فاصله آنها در مایع است. جامدات نمیتوانند مانند وضعیتی که حالات مایع و گاز دارند، آزادانه به اطراف حرکت کنند. بلکه، در جامد، مولکولها در مکانهای خاصی قرار میگیرند و فقط میتوانند در اطراف این مکانها حرکت نوسانی رفت و برگشتی بسیار کوچک انجام دهند.

در حالت مایع نیز مولکولها بهم نزدیک بوده، بطوریکه نیروهای مابینشان قویتر از انرژی جنبشی آنان میباشد. از طرف دیگر، نیروها آنقدر قوی نیستند که قادر به ممانعت از حرکت مولکولها گردند. از این روست که جریان مایع از ظرفی به ظرف دیگر شدنی است، اما نسبت سرعت جاری شدن آب در مقایسه با مایعات دیگر از قبیل روغنها و گلسیرین بسیار متفاوت است که این تفاوت در سرعت جاری شدن، میزان مقاومت یک مایع در مقابل جاری شدن، یعنی گرانیروی آن خوانده می شود که خود تابعی از شکل، اندازه مولکولی، درجه حرارت و فشار می باشد. بنابراین مایعات حجم معین و شکل نامعینی دارند.

فاصله مولکولها در مایعات در مقایسه با گازها بسیار کم است. در مایعات مولکولها به اطراف خود حرکت می کنند و به سهولت روی هم می لغزند و راحت جریان (شارش) پیدا می کنند.

گازها کم چگالند و ساده متراکم می شوند و نه تنها شکل ظرف خود را می گیرند بلکه آنقدر منبسط می شوند تا ظرف را کاملاً پر کنند.

اما اگر بخواهیم گازها را بهتر بشناسیم می توانیم بگوئیم که حالت فیزیکی مواد در شرایط فشار و درجه حرارت طبیعی، بستگی به اندازه مولکولی و نیروهای بین آنها دارد. اگر مقدار کمی از یک گاز، در یک تانک نسبتاً بزرگی قرار گیرد، مولکولهای آن با سرعت در سرتاسر

تانک پخش می شوند. پخش سریع مولکولهای گاز دلالت بر آن میکند که نیروهای موجود میان مولکولها، به مراتب ضعیفتر از انرژی جنبشی آن است و از آنجایی که ممکن است مقدار کمی از یک گاز در سرتاسر تانک یافت شود، نشان دهنده آن است که مولکولهای گاز باید نسبتاً از هم فاصله گرفته باشند. بنابراین گازها شکل و حجمشان بستگی به ظرفی دارد که در آن جای دارند. در حالت گازی، مولکولها آزادانه به اطراف حرکت کرده و با یکدیگر و نیز با دیواره ظرف برخورد می کنند. فاصله مولکولها در حالت گازی در حدود چند ده برابر فاصله آنها در حالت مایع و جامد است.

حالت چهارم ماده «پلازما» شبیه گاز است و از اتمهایی تشکیل شده است که تمام یا تعدادی از الکترونهای خود را از دست داده اند (یونیده شده اند).

بیشتر مواد جهان در حالت پلازما هستند مانند خورشید که از پلازما تشکیل شده است. پلازما اغلب بسیار گرم است و می توان آن را در میدان مغناطیسی به دام انداخت.

اما در تعریفی کلی از پلازما باید گفت که : پلازما حالت چهارمی از ماده است که دانش امروزی نتوانسته آنها را جزو سه حالت دیگر بپندارد و مجبور شده آنها را حالت مستقلی به حساب آورد. این ماده با ماهیت محیط یونیزه، ترکیبی از یونهای مثبت و الکترون با غلظت معین می باشد که مقدار الکترونها و یونهای مثبت در یک محیط پلازما تقریباً برابر است و حالت پلاسمای مواد، تقریباً حالت شبه خنثایی دارد. پدیده های طبیعی زیادی از جمله آتش، خورشید، ستارگان و غیره در رده حالت پلاسمایی ماده قرار می گیرند.

پلازما شبیه به گاز است، ولی مرکب از ذرات باردار متحرکی به نام یون است. یونها بشدت تحت تاثیر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی قرار می گیرند. مواد طبیعی در حالت پلازما عبارتند از انواع شعله، بخش خارجی جو زمین، اتمسفر ستارگان، بسیاری از مواد موجود در فضای سحابی و بخشی از دم ستاره دنباله دار و شفقهای قطبی شمالی که نمایش خیره کننده ای از حالت پلاسمایی ماده است که در میدان مغناطیسی جریان می یابد.

ماده‌ی چگال بوز- اینشتین

حالت پنجم با نام ماده‌ی چگال بوز- اینشتین (Bose-Einstein condensate) که در سال ۱۹۹۵ کشف شد، در اثر سرد شدن ذراتی به نام بوزونها (Bosons) تا دماهایی بسیار پایین پدید می‌آید. بوزون‌های سرد در هم فرومی‌روند و ابر ذره‌ای که رفتاری بیشتر شبیه یک موج دارد تا ذره‌های معمولی، شکل می‌گیرد. ماده‌ی چگال بوز- اینشتین (BEC) شکننده است و سرعت عبور نور در آن بسیار کم است.

ماده‌ی چگال فرمیونی

حالت تازه هم ماده‌ی چگال فرمیونی (Fermionic condensate) است. «دبورا جی» (Deborah Jin) از دانشگاه کلورادو و گروهش در اواخر پاییز ۱۳۸۲، موفق به کشف این شکل تازه‌ی ماده شدند. آنها این ماده‌ی تازه را با سرد کردن ابری از پانصد هزار اتم پتاسیم با جرم اتمی ۴۰ تا دمایی کمتر از یک میلیونیم درجه بالاتر از صفر مطلق پدید آوردند. این اتم‌ها در چنین دمایی بدون گرانشی جریان می‌یابند و این، نشانه ظهور ماده‌ای جدید بود. در این حالت اتم‌های پتاسیم بدون آنکه چسبندگی میان آنها وجود داشته باشد، بصورت مایع جریان یافتند. حالت چگالیده فرمیونی تا حدی شبیه چگالش بوز- اینشتین است.

هر دو حالت از اتم‌هایی تشکیل شده‌اند که این اتم‌ها در دمای پایین به هم می‌پیوندند و جسم واحدی را تشکیل می‌دهند. در چگالش بوز- اینشتین اتم‌ها از نوع بوزون هستند در حالیکه در چگالش فرمیونی اتم‌ها فرمیون (Fermions) هستند.

تفاوت میان بوزون‌ها و فرمیون‌ها چیست؟

رفتار بوزون‌ها به گونه‌ای است که تمایل دارند با هم پیوند برقرار کنند و به هم متصل شوند. یک اتم در صورتی که حاصل جمع تعداد الکترون، پروتون و نوترون‌هایش زوج باشد، بوزون است. بعنوان مثال اتم‌های سدیم بوزون هستند زیرا اتم‌های سدیم در حالت عادی یازده الکترون، یازده پروتون و دوازده نوترون دارند که حاصل جمع آنها عدد زوج ۳۴ می‌شود. بنابراین اتم‌های سدیم این قابلیت را دارند که در دماهای پایین به هم متصل شوند و حالت چگالیده بوز- اینشتین را پدید آورند اما از طرف

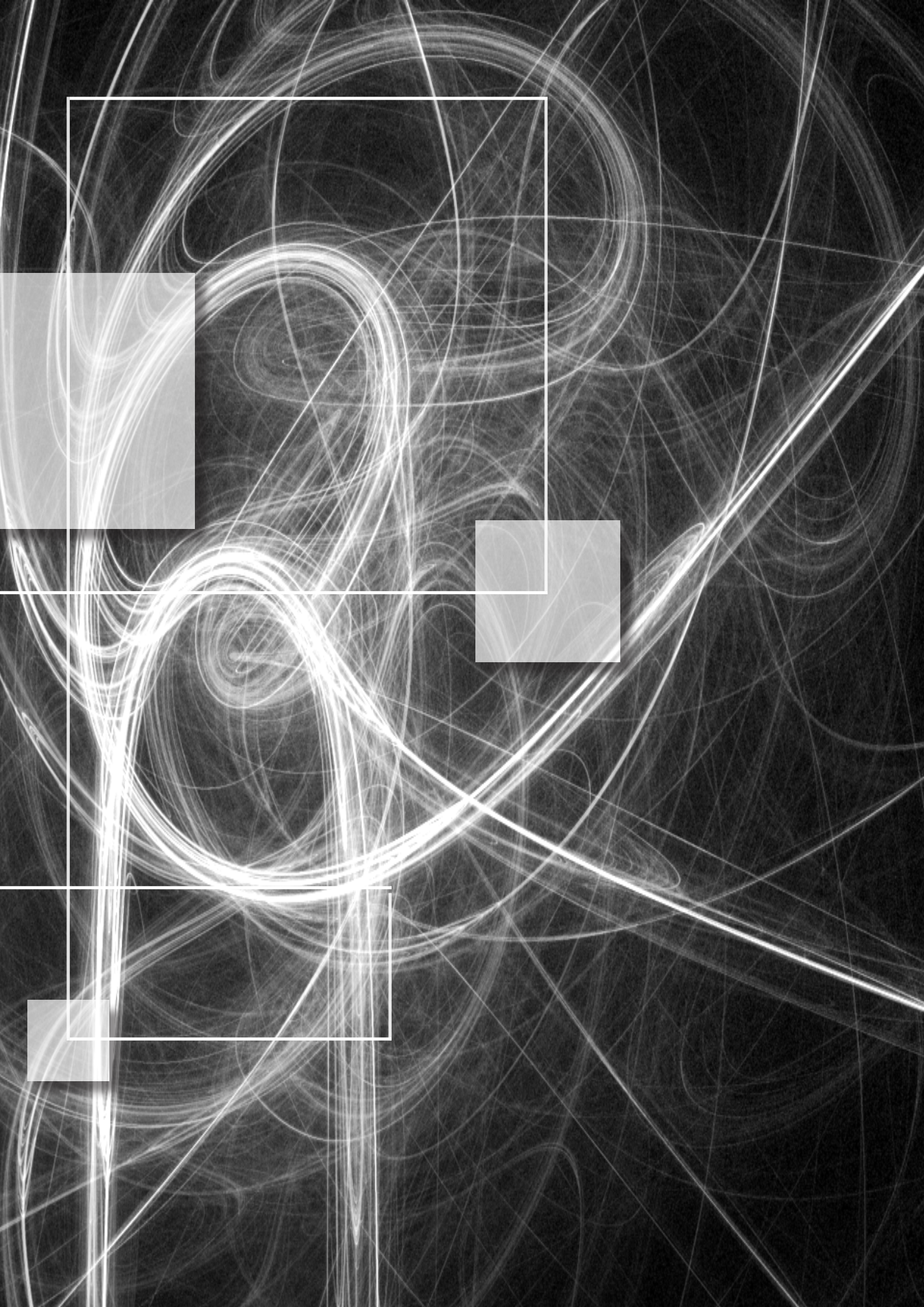
دیگر فرمیون‌ها منزوی هستند. این ذرات طبق اصل طرد پائولی هنگامی که در یک حالت کوانتومی قرار می‌گیرند همدیگر را دفع می‌کنند و اگر ذره‌ای در یک حالت کوانتومی خاص قرار گیرد مانع از آن می‌شود که ذره‌ی دیگری هم بتواند به آن حالت دسترسی یابد.

هر اتم که حاصل جمع تعداد الکترون، پروتون و نوترون‌هایش فرد باشد فرمیون است. به عنوان مثال، اتم‌های پتاسیم با عدد جرمی ۴۰ فرمیون هستند زیرا دارای ۱۹ الکترون، ۱۹ پروتون و ۲۱ نوترون هستند و حاصل جمع این سه عدد برابر ۵۹ می‌شود. دکتر جین و همکارانش بر پایه همین خاصیت انزوا طلبی فرمیون‌ها روشی را پیش گرفتند و از میدانهای مغناطیسی کنترل شونده‌ای برای انجام آزمایش‌ها استفاده کردند. میدان مغناطیسی باعث می‌شود که اتم‌های منفرد با هم جفت شوند و میزان جفت شدگی اتم‌ها در این حالت با تغییر میدان مغناطیسی قابل کنترل است. انتظار می‌رفت که اتم‌های جفت شده پتاسیم خواص همانند بوزون‌ها داشته باشند اما آزمایش‌ها نشان دادند که در بعضی از اتم‌ها که میزان جفت شدگی ضعیف بود، هنوز بعضی از خواص فرمیونی خود را از دست نداده بودند.

در این حالت یک جفت از اتم‌های جفت شده می‌تواند به جفت دیگری متصل شود و این جفت شدگی به همین ترتیب ادامه یابد تا این که سرانجام باعث تشکیل حالت چگالیده فرمیونی شود.

منابع

<http://hasanomid.tebyan.net/default.aspx>
<http://tebyan.net>

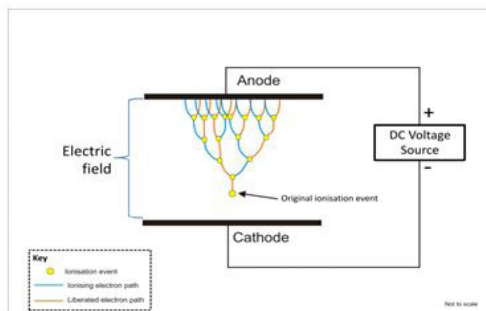


تولید پلاسما با لیزرهای پالسی و تعیین تجربی دما و چگالی الکترون‌ها

دکتر محمدحسین مهدیه

عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران
mahdm@iust.ac.ir

پلاسما مجموعه‌ای از ذرات باردار می‌باشد که با یونیزه شدن اتم‌ها (یا مولکول‌ها) با روش‌های مختلف به وجود می‌آیند. اساساً افزایش انرژی داخلی یک ماده جامد آن را تبدیل به مایع و با افزایش بیشتر انرژی داخلی به گاز تبدیل می‌گردد. افزایش بیشتر انرژی داخلی می‌تواند منجر به یونیزه شدن اتم‌های خنثی در آن ماده گردد و پلاسما ایجاد شود. پلاسماها دارای مشخصات ویژه‌ای می‌باشند. مثلاً در پلاسما ذرات باردار رفتار دسته جمعی دارند. ساده‌ترین ابزار تولید پلاسما استفاده از تخلیه الکتریکی در یک محیط اتمی (یا مولکولی) نظیر یک گاز می‌باشد.



تخلیه الکتریکی بین دو الکترود متصل به منبع تغذیه الکتریکی و شکل‌گیری پلاسما

در تخلیه الکتریکی - دو الکتروود فلزی به یک منبع تغذیه الکتریکی وصل می‌شود و در اختلاف پتانسیل معینی - پلاسما با ایجاد تخلیه الکتریکی تولید می‌شود. در این فرآیند الکترون‌های آزاد موجود در الکتروودها (یا محیط بین دو الکتروود) تحت تاثیر میدان الکتریکی - شتاب می‌گیرند. در صورتی که انرژی الکترون‌های آزاد به اندازه کافی بزرگ باشد (بیش از انرژی یونیزاسیون اتم) با برخورد غیر الاستیک با اتم‌های محیط - انرژی خود را به اتم‌ها منتقل می‌کنند و آن‌ها را یونیزه می‌کنند. با یونیزه شدن اتم‌ها - الکترون‌های بیش‌تری آزاد می‌گردند و الکترون‌های آزاد تولید شده مجدداً تحت تاثیر میدان الکتروستاتیک بین دو الکتروود - شتاب گرفته و با برخورد با اتم‌های خنثی دیگر - تعداد بیش‌تری از اتم‌ها را یونیزه می‌کنند. بدین ترتیب با یک اثر بهمنی تعداد قابل توجهی الکترون و یون ایجاد می‌گردد و پلاسما (مجموعه ذرات باردار) شکل می‌گیرد.

فرآیند یونیزاسیون با استفاده از میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی هم امکان پذیر است. امواج الکترومغناطیسی با شدت بالا دارای میدان الکتریکی قوی می‌باشند. امواج الکترومغناطیسی با میدان الکتریکی قوی - امکان یونیزاسیون اتم‌ها و تولید پلاسما را دارند. لیزرها منابع نوری با شدت بالا (و میدان الکتریکی قوی) می‌باشند. در برهم کنش پرتو یک لیزر پرتوان با مواد (نظیر فلزات یا دی‌الکتریک‌ها) امکان تولید پلاسما وجود دارد. مثلاً در برهم کنش پرتو یک لیزر پالسی با سطح یک فلز، انرژی پرتو لیزر در سطح ماده جذب و موجب افزایش دمای ماده و هم‌چنین ایجاد پلاسما می‌گردد.

در صورتی که شدت پرتو لیزر افزایش یابد فرآیند یونیزاسیون به‌صورت شدیدتر در محل تابش دهی رخ خواهد داد و در نتیجه پلاسمایی داغ با چگالی بالا تشکیل می‌گردد. البته در شدت‌های لیزری پایین، فرآیند غالب گرم شدن ماده و ذوب و تبخیر ماده می‌باشد که در اثر فشار بالا در ماده (نسبت به فشار محیط اطراف) - ماده بخار به سمت بیرون پرتاب می‌شود که به آن «ماده برداری لیزری» می‌گویند. بنابراین ماده برداری لیزری می‌تواند در اثر فرآیندهای تبخیر و جوش از سطح خارجی هدف مورد تابش صورت گیرد. درحالی‌که در شدت‌های بالا به علت انتقال انرژی به لایه‌های پایین‌تر هدف، فرآیندی ماده برداری ممکن است از طریق تولید پلاسما و پدیده دیگری بنام انفجار فاز^۱ نیز رخ

۱. Phase explosion.

دهد. الکترون‌هایی که از یونیزه شدن ماده‌ی هدف تولید شده‌اند با جذب انرژی از پرتو لیزر، با فرآیندهای برخوردی می‌توانند بر حجم یونیزه شده‌ی ماده‌ی هدف بیافزایند. حجم به‌وجود آمده از مواد پرتاب شده از سطح را پلوم پلاسمایی^۲ گویند. پلوم پلاسمایی حاوی ذرات خنثی و هم‌چنین به‌طور قابل توجهی ذرات باردار برانگیخته شامل الکترون‌ها و یون‌ها می‌باشد که در پی کاهش سطح انرژی آن‌ها از طریق تابش فوتون، می‌توان پلاسما را به عنوان چشمه‌ی امواج الکترومغناطیس مورد بررسی قرار داد.

فرآیند تولید پلاسما با استفاده از پرتو لیزر به‌طور کلی در مواد رسانا، نیمه‌رسانا و دی‌الکتریک‌ها امکان‌پذیر است که تحت عنوان شکست اپتیکی معرفی می‌گردد. فرآیند شکست اپتیکی دارای کاربردهای مختلفی در پزشکی، طیف‌سنجی فروشکست القایی لیزری، تحقیقات هم‌جوشی و Laser micro-fabrication می‌باشد. با استفاده از روش‌های مختلفی مانند تداخل سنجی، عکس‌برداری سریع، سایه‌نگاری، پراکندگی تامسون، لانگموئر پروب و طیف‌سنجی نثری اپتیکی مشخصه‌یابی پلاسما توسط محققان گزارش شده‌است.

در آزمایشگاه تحقیقاتی «اندازه گیری‌های دقیق اپتیکی و لیزری» و «برهم کنش لیزر با مواد و پلاسما» دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران - با استفاده از لیزر پالسی پرتوان پلاسما تولید و مشخصات آن (نظیر دما و چگالی پلاسما) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. یکی از فعالیت‌های این آزمایشگاه از سال‌های گذشته مطالعه شکست اپتیکی و تولید پلاسما با استفاده از لیزر پر انرژی پالسی نانوثانیه در محیط‌های هوا - آب - محیط‌های کلوییدی با ذرات نانویی و محیط‌های دی‌الکتریک شفاف نظیر پلیمرهای PMMA بوده‌است. به علاوه فلزات مختلف نظیر مس - آلومینیم - نقره - تیتانیم - و قلع مورد تابش دهی و پلاسما روی سطح آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پلاسمای سیلیکان به عنوان یک نیمه‌رسانا که کاربردهای متعددی در صنعت و پزشکی دارد نیز از جنبه‌های متنوع دیگری در این آزمایشگاه بوده‌است که مورد تحقیق بوده‌است. در این نوشتار به عنوان نمونه فقط نتایج یکی از تحقیقات صورت گرفته معرفی می‌گردد. در این تحقیق - با استفاده از برهم کنش لیزر نانوثانیه با هدف مس در هوا، پلاسما تولید شده‌است و تعیین دما و چگالی الکترون‌های پلاسما به کمک روش

۲. Plasma plume.

($z=0$) برای اتم‌های خنثی و $z=1$ برای یون‌های یک بار یونیزه)، T دمای پلاسما، $P_z(T)$ تابع پارش، $g_{n,z}$ و $E_{n,z}$ به ترتیب تبهگنی و انرژی تراز بالا و k_B ثابت بولتزمن است. از طرفی در پلاسمای نازک با طول L با استفاده از انتگرال شدت خطوط گسیلی (تعداد گذار بر واحد حجم بر واحد زمان)، شدت خطوط طیفی I_z گسیل شده در گذار از تراز بالای انرژی n به تراز پایین انرژی m با رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$I_z = \frac{hc}{4\pi\lambda_{nm,z}} A_{nm,z} N_{n,z} L \quad (2)$$

که $A_{nm,z}$ احتمال گذار، h ثابت پلانک، c سرعت نور و $\lambda_{nm,z}$ طول موج گذار خط نام دارد. با ترکیب روابط (۱) و (۲) شدت خطوط طیفی به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$I_z = (hc N_z g_{n,z} A_{nm,z} / 4\pi\lambda_{nm,z} P_z) \exp(-E_{n,z} / k_B T) \quad (3)$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از طرفین رابطه (۳)، رابطه‌ای به فرم (۴) حاصل خواهد شد.

$$\ln\left(\frac{I_z \lambda_{nm,z}}{g_{n,z} A_{nm,z}}\right) = -\frac{E_{n,z}}{k_B T} + \ln\left(\frac{hc N_z L}{4\pi P_z(T)}\right) \quad (4)$$

با استفاده از رابطه‌ی (۴) و رسم نمودار $\ln(I\lambda/gA)$ بر حسب انرژی E_n خطی با شیب $1/k_B T$ - به دست می‌آید که از روی آن می‌توان دمای الکترون را محاسبه کرد. به دست آوردن دما با روش ذکر شده به روش نمودار بولتزمن معروف است.

نتایج

در شکل ۷ طیف پلاسمای حاصل از برهم کنش لیزر با هدف مسی در شدت لیزر $5/21 \text{ GW/cm}^2$ نشان داده شده است. در مراحل مختلف تشکیل تا سرد شدن پلاسما، به علت تغییرات دمایی و چگالی، نوع گذار غالب متفاوت است. به طور مثال در مراحل ابتدایی تشکیل پلاسما به علت دمای زیاد آن، علاوه بر وجود گذارهای مقید-مقید، گذارهای آزاد-آزاد و آزاد-مقید حضور دارند. معمولاً در بررسی دمای پلاسما با استفاده از طیف گسیلی روش‌هایی مانند استفاده از زمان تاخیر به کار برده می‌شود تا از شدت طیف پیوسته‌ی ثبت شده کاسته شود چرا که در روش بولتزمن نیاز به شدت نسبی خطوط گذار مقید-مقید است و محاسبات با تابش پیوسته ممکن است دمای پلاسما را غیر واقعی نشان دهد. در روش مورد استفاده در این تحقیقات جهت محاسبه و کاستن طیف پیوسته، از تابع شش جمله‌ای به صورت این

طیف سنجی نشری اپتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. به دلیل گستردگی مطالب - در این نوشتار تنها به اندازه گیری دما و نتایج آن اکتفا می‌شود.

در این روش با بررسی طیف حاصل از پلاسمای تولید شده، دمای پلاسما و وابستگی آن به انرژی لیزر به کمک روش بولتزمن محاسبه گردید و نهایتاً دمای الکترون استخراج گردیده است. در این تحقیق دو رویکرد در آنالیز اطلاعات طیف مورد استفاده قرار گرفته است. در رویکرد اول طیف تشعشع شده پلاسما با در نظر گرفتن تابش پیوسته و تابش خط به طور ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. در رویکرد دوم فقط طیف تابشی خط پلاسما در آنالیز طیفی استفاده شده است و سهم طیف تابشی پیوسته حذف شده است.

آزمایش

طرحواره‌ای از چیدمان آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است. با استفاده از پرتو لیزر پالسی Nd:YAG با طول موج 1064 nm و طول پالس 10 ns - فرآیند فروشکست اپتیکی بر روی سطح هدف مسی ایجاد شده است. پرتو لیزر توسط یک لنز دوتاییه با فاصله‌ی کانونی چندین سانتی متر بر روی سطح نمونه متمرکز گردید. طیف گسیلی از پلاسما، با استفاده از سیستم اپتیکی مناسب جمع‌آوری شده، سپس از طریق یک رابط (فیبر نوری)، اطلاعات به دستگاه طیف‌سنج AvaSpec-Dual مجهز به CCD انتقال داده می‌شود. پس از آن با استفاده از نرم افزار مخصوص، اطلاعات جهت آنالیز و تحلیل به نمایش درآمده و ثبت می‌گردد. در این آزمایش، شکست اپتیکی و ایجاد پلاسما برای نمونه مس در هوای با فشار اتمسفر و دمای اتاق مورد بررسی قرار گرفته است.

مبانی نظری

نحوه تعیین دمای الکترون

دمای گونه‌های تشکیل دهنده پلاسما یکی از پارامترهای مهمی است که از روی خطوط طیفی (شکل ۶) می‌توان آن را اندازه گیری نمود. به طوری که شناخت آن برای درک بیشتر فرآیندهای یونیزاسیون، برانگیختگی مهم می‌باشد. زمانی که پلاسما در شرایط تعادل ترمودینامیکی موضعی (LTE) باشد، چگالی جمعیت در هر تراز انرژی با استفاده از توزیع بولتزمن به صورت زیر داده می‌شود:

$$N_{n,z} = \left(\frac{N_z g_{n,z}}{P_z(T)} \right) \exp\left(-\frac{E_{n,z}}{k_B T} \right) \quad (1)$$

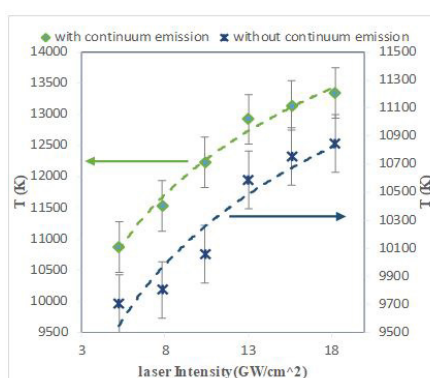
در این رابطه زیرنویس z به مرحله یونیزاسیون مربوط است

رابطه استفاده شده است.

$$y = -2 \times 10^{-11} x^6 + 7 \times 10^{-8} x^5 - 0.0001 x^4 + 0.1066 x^3 - 53.578 x^2 + 14165 x - 2 \times 10^6$$

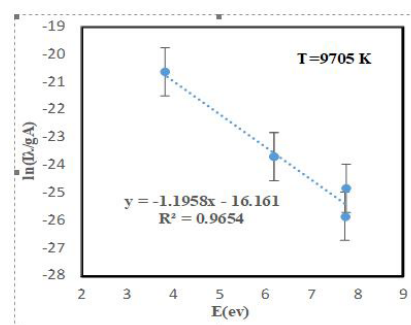
به کمک اطلاعات موجود در پایگاه داده‌ی مرجع NIST می‌توان اطلاعات مربوط به خطوط طیفی مس را استخراج کرد. با استفاده از اطلاعات خطوط طیفی جدول زیر و روش بولتزمن می‌توان دمای پلاسمای تولید شده از نمونه‌ی مس را محاسبه کرد. شکل زیر نیز دمای اندازه‌گیری شده مربوط به پلاسما با کاستن تابش پیوسته و استفاده از ۵ خط اتم مس (Cu I) برای شدت لیزر ۵,۲۱ GW/cm² را نشان می‌دهد.

$\lambda (nm)$	$A_{mn} (\times 10^{-7} s^{-1})$	$E_n (eV)$	g_n
۴۲۷/۵۱	۳/۴۵	۷/۷۳۷	۸
۴۶۵/۱۱	۳/۸	۷/۷۴	۸
۵۱۰/۵۵	۰/۲	۳/۸۱۶۶	۴
۵۱۵/۳۲	۶/۰	۶/۱۹۱	۴
۵۲۱/۸۲	۷/۵۰	۶/۱۹۲	۶



مقایسه روند تغییرات دمای الکترون برای دو حالت: در نظر گرفتن تابش پیوسته (نمودار سبز) و با کاستن آن از طیف (نمودار آبی) به انرژی لیزر با روش بولتزمن.

نتایج به‌دست آمده از آزمایش نشان می‌دهد: دما در حضور تابش پیوسته بیش‌تر از زمانی است که تابش پیوسته از طیف کم گردید. هم‌چنین دمای پلاسمای تولید شده به انرژی لیزر بستگی دارد و با افزایش شدت لیزر، دمای پلاسمای تولید شده نیز افزایش می‌یابد.



با تکرار محاسبات در شدت‌های مختلف لیزر، مقایسه روند تغییرات دمای الکترون برای دو حالت: در نظر گرفتن تابش پیوسته و بدون در نظر گرفتن آن، برحسب انرژی لیزر نیز در شکل نشان داده شده‌است. مشاهده می‌شود، دمای به‌دست آمده برای طیف شامل تابش پیوسته، بیش‌تر از طیفی می‌باشد که تابش پیوسته از آن کم شده‌است. در واقع در ابتدای فرآیند فروشکست اپتیکی و تشکیل پلاسما، الکترون‌های آزاد بیش‌تری در اثر برهم‌کنش لیزر با ماده در محیط وجود داشته، به‌طوری‌که در پلاسما گذارهای آزاد-آزاد و آزاد-مقید نیز اتفاق می‌افتند. در نتیجه با در نظر

منابع

- [۱] Stafe, M., A. Marcu, and Mahdiah, M. and H.H. Shokoh, Optical transmission and reflection of aluminum film irradiated by nanosecond laser beam and experimental studying of phase-explosion. *Applied Physics A*, ۸(۱۰۶-۲۰۱۲): p. ۱۰۴-۹۹۵.
- [۲] ISSAC, R.C., Evolution and Dynamics of Plasma Generated from Solid Targets by Strong Laser Fields in International School of Photonics. September ۱۹۹۸, Cochin University of Science & Technology Cochin ۲۲ ۶۸۲, INDIA
- [۳] El Sherbini, A., H. Hegazy, and T.M. El Sherbini, Measurement of electron density utilizing the H α -line from laser produced plasma in air. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, ۵(۶۱-۲۰۰۶): p. ۵۳۹-۵۳۲.
- [۴] Habbema, L., et al., Minimally invasive non-thermal laser technology using laser-induced optical breakdown for skin rejuvenation. *J Biophotonics*, ۲(۵-۲۰۱۲): p. ۹-۱۹۴.
- [۵] Thiagarajan, M. and S. Thompson, Optical breakdown threshold investigation of ۱۰۶۴ nm laser induced air plasmas. *Journal of Applied Physics*, ۷(۱۱۱-۲۰۱۲): p. ۰۷۳۳۰۲.
- [۶] Mahdiah, M.H., M. Akbari J, and Z. Bababei. Optical transmission and reflection of a plasma produced in nanosecond laser induced air breakdown. ۲۰۱۵.
- [۷] Zhang, H., et al., Investigation of ۱,۰۶ μm laser induced plasma in air using optical interferometry. *Optics Communications*, ۹(۲۰۰۹۲۸۲): p. ۱۷۲۳-۱۷۲۰.
- [۸] Oh, S.Y., et al., Experimental study of laser-induced air plasma using a Nomarski interferometer. *Japanese Journal of Applied Physics*, ۷(۵۴-۲۰۱۵): p. ۰۷۶۱۰۱.
- [۹] Freeman, J.R., et al., Comparison of optical emission from nanosecond and femtosecond laser produced plasma in atmosphere and vacuum conditions. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, ۸۷-۲۰۱۳: p. ۵۰-۴۳.
- [۱۰] Hussein, A., et al., The role of laser wavelength on plasma generation and expansion of ablation plumes in air. *Journal of Applied Physics*, ۱۴(۱۱۳-۲۰۱۳): p. ۱۴۲۳۰۵.
- [۱۱] Hauer, M., et al., Laser ablation of polymers studied by ns-interferometry and ns-shadowgraphy measurements. *Applied Surface Science*, ۲۰۹-۲۰۸-۲۰۰۳: p. ۱۱۲-۱۰۷.
- [۱۲] Mendys, A., et al., Investigations of laser-induced plasma in argon by Thomson scattering. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, ۱۰-۹(۶۶-۲۰۱۱): p. ۶۹۷-۶۹۱.
- [۱۳] Hendron, J.M., et al., Langmuir probe measurements of plasma parameters in the late stages of a laser ablated plume. *Journal of Applied Physics*, ۵(۸۱-۱۹۹۷): p. ۲۱۳۴-۲۱۳۱.
- [۱۴] Hanif, M., M. Salik, and M.A. Baig, Quantitative studies of copper plasma using laser induced breakdown spectroscopy. *Optics and Lasers in Engineering*, ۱۲(۴۹-۲۰۱۱): p. ۱۴۶۱-۱۴۵۶.
- [۱۵] Luo, W., et al., Diagnostics of air plasma ablated by ۱۰۶۴ nm laser pulses. *Chinese Optics Letters*, ۹-۲۰۱۱(s۱): p. ۱۰۳۰۳.
- [۱۶] Eliezer, S., The interaction of high-power lasers with plasmas. ۲۰۰۲: CRC Press.

لازم است از آقای علی رضا ضرغامی دانشجوی کارشناسی ارشد و آقای حسین مظفری دانشجوی دکترا که در انجام آزمایش ها فعالیت ارزشمندی داشتند تشکر گردد. همچنین از دکتر اسماعیل اسلامی که در انجام این پژوهش با در اختیار قرار دادن طیف سنج همکاری خوبی با من داشتند تشکر و قدردانی می نمایم.



LED چیست؟

واژه LED از عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود منتشر کننده نور گرفته شده است. دیود نوردهنده از دو نیمه هادی نوع N و P ساخته شده است. هرگاه این دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان به اندازه کافی باشد، دیود از خود نور تولید می کند. نور تولیدی در محل اتصال نیمه هادی های N و P ایجاد می شود. LED ها معمولاً از آلومینیوم-گالیوم-آرسنید ساخته می شوند که در فرم خالص، هیچ الکترون آزادی برای رسانش جریان الکتریکی ندارد. پس باید با الکترون آزاد یا حفره تغذیه شود تا رسانا تر شود.

نیمه رسانای نوع n: الکترون های اضافی دارد در نتیجه الکترون های آزاد از مناطق منفی به مثبت می روند. حامل های بار در این نوع نیمه رساناها الکترون ها هستند.

نیمه رسانای نوع p: به الکترون ها اجازه می دهند که بین حفره ها حرکت کنند. حامل های بار در این نوع نیمه رساناها حفره ها هستند.

چون حفره ها در انرژی کمتری قرار دارند وقتی الکترون آزاد داخل حفره می افتد انرژی اضافی خود را به صورت فوتون آزاد می کند. گاف انرژی نیمه رسانا اختلاف انرژی بین حفره و الکترون است و همچنین بیشترین انرژی که توسط فوتون آزاد می شود و این رنگ فوتون را مشخص می کند.

گاف انرژی مستقیم و غیر مستقیم:

نیمه رسانا با گاف انرژی مستقیم: نیمه رسانایی که در آن حالت کمترین انرژی در باند رسانش و حالت بیشترین

جایزه نوبل فیزیک ۲۰۱۴ به سه فیزیکدان ژاپنی که در سال ۱۹۹۴ موفق به ساخت LED هایی با نور آبی شدند اهدا شد. این سه تن ایسامو آکاساکی^۱ و هیروشی آمانو^۲ از دانشگاه ناگویا ژاپن و شوجی ناکامورا^۳ از دانشگاه کالیفرنیا هستند.

LED های قرمز و سبز در دهه ۱۹۶۰ ساخته شده بودند و تنها ساخت LED با نور آبی با مشکل همراه بود. این امر تبدیل به چالشی برای دانشمندان و صنعت گران شده بود که حل شدن آن به ۳۰ سال زمان نیاز داشت تا توسط این سه فیزیکدان حل شود.

با توجه به این که نور سفید از ترکیب سه نور قرمز، آبی و سبز شکل می گیرد، بدون تولید LED های آبی امکان ساخت نور سفید با استفاده از LED ها به سادگی وجود نداشت. با فراهم شدن امکان ساخت نور سفید، LED ها شروع به تصرف جایگاه لامپ های فلورسنت و تنگستنی نمودند. با کمک این اختراع می توان شاهد ظهور لامپ های LED متفاوتی بود که نه تنها با محیط زیست سازگارترند بلکه جایگزین مناسبی نیز برای نورهای قدیمی خواهند بود. لامپ های رشته ای، قرن بیستم میلادی را روشن کردند و اکنون لامپ های ال ای دی روشن کننده قرن ۲۱ خواهند بود. دیودهای قرمز و سبز از مدت ها قبل ابداع شده بودند اما در این میان بدون نور آبی، ساخت لامپ های سفید امکان پذیر نبود و این معما در حدود سه دهه بدون جواب باقی مانده بود.

۱. Isamu Akasaki

۲. Hiroshi Amano

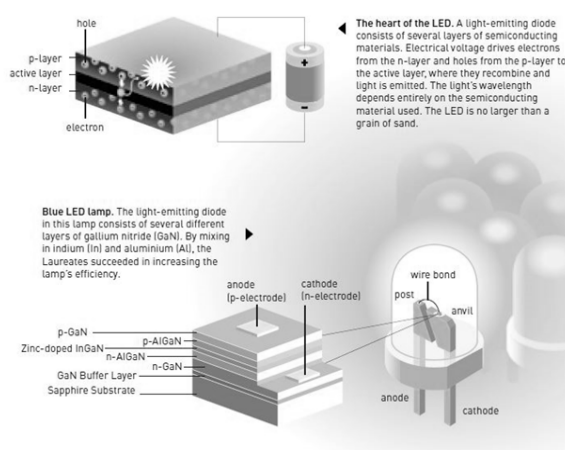
۳. Nakamura shuji

تکنولوژی LED های آبی

یک فیزیکدان قطعات^۶ در شوروی مطالعه شد؛ که در دهه های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ مقالات زیادی در مجلات بین المللی در ارتباط با موضوع الکترو لومینسنس از کریستال Sic چاپ کرد.

این پیشرفت ها قبل از فرمول بندی تئوری مدرن ساختار الکترونیکی مواد حالت جامد رخ داده بود.

فهمیدن فیزیک نیمه رساناها و پیوندهای p-n طی دهه های ۱۹۴۰ ارتقا پیدا کرد و به اختراع ترانزیستور در آزمایشگاه های تلفن بل در آمریکا (۱۹۴۷) انجامید و مشخص شد که پیوند p-n می تواند جایی برای تابش نور باشد. در سال ۱۹۵۱، K. Lehouec و همکارانش از یک آزمایشگاه مهندسی گروه سیگنال در آمریکا از این ایده ها برای توضیح الکترو لومینسنس در Sic استفاده کردند که در نتیجه ی تزریق حامل ها به یک پیوند دنبال شده توسط باز ترکیب تابشی حفره ها و الکترون ها بود. اگرچه انرژی فوتون دیده شده کم تر از انرژی گاف Sic بود، آن ها توصیه کردند که باز ترکیب تابشی تقریباً به خاطر ناخالصی یا اختلالات شبکه اتفاق می افتد. در سال های ۱۹۵۵ و ۱۹۵۶، J.R. Haynes در آزمایشگاه های تلفن بل نشان داد که الکترو لومینسنس دیده شده در ژرمانیم سیلیکون به خاطر باز ترکیب حفره ها و الکترون ها در پیوند p-n بود.



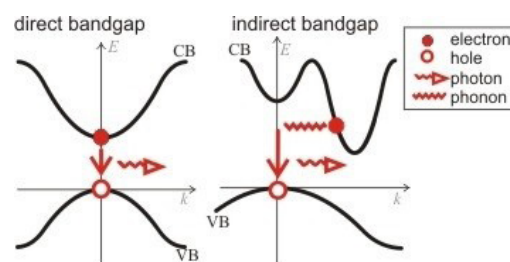
قدم های آغازین ساخت LED آبی

ثابت شد که قدم اول دستیابی به طور قابل توجهی مشکل است. اولین تلاش ها با ZnSe و SiC با گاف های انرژی غیر مستقیم و بزرگ به دستیابی به تابش

device physicist^۷

انرژی در باند ظرفیت اندازه حرکت یکسانی دارند بنابراین گذارهای اپتیکی بین حفره ها و الکترون ها مجاز است.

نیمه رسانا با گاف انرژی غیر مستقیم: حالت کم ترین انرژی با حالت بیش ترین انرژی دارای اندازه حرکت های متفاوت اند و گذارهای اپتیکی بین حفره و الکترون بدون تغییر در اندازه حرکت ممنوع است.



LED ها منابع نوری نازک بر پایه ی ترکیبات نیمه رسانا با محدوده طول موج فروسرخ تا فرابنفش هستند.

اولین LED ها در طول دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در تعدادی از آزمایشگاه ها مورد مطالعه قرار گرفته و ساخته شدند که نور را در طول موج های مختلف، از فرو سرخ تا سبز، ساطع می کردند. اما سه دهه دیگر برای دستیابی به نور آبی به طول انجامید. این مسئله نیازمند تکنیک های پیشرفته تری برای ساخت کریستال هایی با کیفیت بالا بود، در کنار توانایی کنترل ناخالص سازی نوع p نیمه رسانا با گاف های بزرگ که به وسیله ی گالیم نیتريد (GaN) در اواخر دهه ی ۱۹۸۰ به دست آمد. ارتقای LED آبی کارآمد همچنین نیازمند ساخت آلیاژهای گالیوم نیتريد با ترکیبات مختلف و ادغام آن ها در ساختارهای چند لایه ای مثل هیتر و جانکشن ها^۸ و چاه های کوانتومی بود.

اولین گزارش نور تولید شده به وسیله ی برق توسط تابش از یک قطعه حالت جامد از کار H.J. Round در Marconi electronics به دست آمد. او ولتاژی به دو سمت دو رابط روی کریستال Sic اعمال کرد. در ولتاژهای کم، نور زرد دیده شد ولی نورهای بیش تری در ولتاژهای بالاتر ساطع می شدند. الکترو لومینسنس^۹ نیز توسط O. Losef

۸. Heterojunctions: خط اتصال بین دو بلور نیمه رسانای متفاوت با گاف

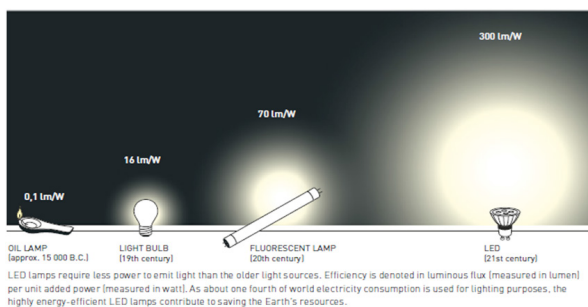
های انرژی نامساوی

۹. Electroluminescence

شده بودند به وسیله‌ی ناخالصی فلزهای واسطه آلوده شدند و در تبدیل نوع p به‌خاطر حضور هیدروژن پیچیدگی‌هایی با ناخالصی گیرنده به‌وجود آمد، اما نقش هیدروژن در آن زمان درک نشد. J.I.Pamkove دانشمندی در این زمینه، در یک مقاله نوشت: «باوجود پیشرفت‌های زیاد در مطالعه‌ی GaN در طول دو سال اخیر، کارهای زیادی برای انجام مانده‌است. این اهداف بزرگ در تکنولوژی GaN باید مدنظر باشند: ۱. ترکیب تک کریستال‌های بدون آسیب ۲. تلفیق گیرنده‌های کم‌عمق در تراکم بالا

کاربردها

تکنولوژی روشنایی اخیراً به سمت انقلابی در حرکت است مانند گذار از لامپ‌های رشته‌ای و فلئورسنت به LEDها. لامپی که در سال ۱۸۷۹ توسط توماس ادیسون اختراع شد بازده کمی در حدود ۱۶lm/W داشت که بیان‌گر تبدیل حداکثر درصد انرژی از برق به شکل نور بود. یک لومن واحدی است که برای توصیف شار نور استفاده می‌شود. لامپ فلئورسنت که حاوی جیوه است و توسط P.Cooper Hewitt در سال ۱۹۰۰ اختراع شده به بازده حدود ۷۰lm/W می‌رسد. LEDهای سفید مستقیماً به بیش از ۳۰۰lm/W می‌رسند که بیان‌گر بیش از ۵۰٪ بازدهی Wallplug است.



LEDها که از دهه‌های گذشته در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، عموماً برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی مدیا مورد استفاده قرار گرفتند. اما در حال حاضر LEDها به نحوی ساخته می‌شوند که نور را در جهت خاصی متمرکز می‌کنند و به صورت چیپ‌های کوچکی

نور موثری کمک نکرد. ماده‌ای که پیشرفت در تولید LEDها را ممکن ساخت گالیم نیتريد (GaN) بود. GaN نیمه رسانایی با ساختار کریستالی Wurtzite هگزائگونال معدنی شامل روی سولفید که در کریستال‌های نیمه آمورف هر می یافت می‌شود که می‌تواند با وجود تفاوت بین ثابت‌های شبکه روی یک زیرلایه از یاقوت کبود (Al_2O_3) با Sic رشد داده شود. GaN می‌تواند با سیلیکون Si به نیمه‌رساناهای نوع n و با منیزیم به نیمه‌رسانای نوع p تبدیل شود. متأسفانه این تبدیل توسط روند رشد مختل شده و در نتیجه GaN شکننده می‌شود. به‌طور کل، اختلالات در کریستال GaN باعث رسانش الکتریکی خوبی می‌شود، این یعنی ماده به‌طور طبیعی نوع n است. GaN گاف انرژی مستقیمی دارد که با طول موج فرابنفش مطابقت می‌کند.

در اواخر دهه ۱۹۵۰، امکان تکنولوژی تولید نور جدید با استفاده از GaN که گاف انرژی آن به تازگی اندازه‌گیری شده بود، به‌طور جدی در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی Philips ملاحظه شد. H.G. Grimmeiss و H. Koelmans فوتولومینیسنس^۷ مطلوبی از GaN روی یک محدوده طیفی وسیع با استفاده از فعالسازی‌های مختلف به‌دست آوردند، اگرچه در آن زمان رشد بلورهای GaN خیلی سخت بود. فقط کریستال‌های کوچک به شکل یک پودر قابل ساخت بودند که در آن اتصال p-n قابل ساخت نبود. محققان در Philips تصمیم گرفتند که به جای آن روی Gap تمرکز کنند. کریستال‌های GaN به‌طور کارآمدتری در اواخر ۱۹۶۰ با رشد GaN روی یک زیرلایه توسط تکنیک رشد برآرایی فاز بخار هیدرید^۸ (HVPE) ساخته شدند. تعدادی از آزمایشگاه‌ها در آمریکا و ژاپن و اروپا روی تکنیک‌های رشد و تبدیل GaN به نیمه‌رسانای نوع n یا p با هدف توسعه‌ی LED آبی مطالعه کردند ولی مشکلات ماده هنوز به نظر برطرف نشدنی بود. سختی سطح، کنترل شده نبود، موادی که با تکنیک HVPE رشد داده

photoluminescence.^۷

۸. گونه‌ای اپیتکسی است که در ساخت گونه‌هایی از نیمه‌رساناها مانند GaN، GaAs، InP کاربرد دارد. گازهای بکار رفته معمولاً شامل آمونیاک، هیدروژن، کلرید هستند.

کامپیوتر و تلویزیون و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. دیودهای GaN آبی و فرابنفش همچنین در DVD های چگال که تکنولوژی پیشرفته ای جهت ذخیره موسیقی، تصویر و فیلم دارند، استفاده می شوند. قطعات کاربردی آینده می تواند شامل استفاده از تابش فرابنفش AlGaIn, GaN برای تصفیه آب شود. (نور فرابنفش DNA باکتری ها و ویروس ها را نابود می سازد). در کشورهایی با سیستم ناکافی یا ناموجود برق رسانی، برق تولید شده از پنل های خورشیدی در طول روز در باتری ها ذخیره شده و در شب LED ها را روشن می کند. به این ترتیب شاهد یک گذار مستقیم از چراغ نفتی به LED سفید هستیم.

منابع

1. H.J. Round, Electr. World, 308 ,49 (1907)).
2. O.V. Losev, Telegrafi ya i Telefoniya bez Provodov (1927) 485 ,44); Phil. Mag. (1928) 1024 ,6); Compt. Rendu Acad. Sci. (1940) 363 ,39); USSR patent (1929) 12191).
3. K. Lehovc, C.A. Accardo & E. Jamgochian, Phys. Rev. 603 ,83 (1951)).
4. G.A. Wolff, R.A. Hebert & J.D. Broder, Phys. Rev. (1955) 1144 ,100).
5. R. Braunstein, Phys. Rev. 1892 ,99 (1955)).
6. J.R. Haynes, Phys. Rev. 1866 ,98 (1955)); J.R. Haynes & W.C. Westphal, Phys. Rev. (1956) 1676 ,101).
7. J.I. Pankove, Phys. Rev. Lett. ,9 (1962) 285-283); J.I. Pankove & J.E. Berkeyheiser, Proc. IRE, -1976 ,50 (1962) 1977); R.J. Keyes & T.M. Quist, Proc. IRE, (1962) 1823-1822 ,50).
8. R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Soltys & R.O. Carlson, Phys. Rev. Lett. (1962) 368-366 ,9).
9. M.I. Nathan, W.P. Dumke, G. Burns, F.H. Dill & G. Lasher, Appl.

آسیب نمی رسانند. LED های سفید قابلیت تولید همه رنگ را داشته و علاوه بر آن از انرژی بسیار کمی در مقایسه با سایر لامپ ها و LED های قدیمی، برای تولید روشنایی استفاده می کنند. به همین دلیل روز به روز استفاده از آن ها بیش تر شده است. به گفته این کارشناس با توجه به مزایای استفاده از لامپ های ال ای دی پیش بینی می شود تا کم تر از ۵ سال آینده شاهد تحولات عمده ای در عرصه محصولات روشنایی و حتی تصویری باشیم.

لامپ های LED همچنین شماره ها را روی ساعت های دیجیتالی نشان می دهند، اطلاعات را از کنترل تلویزیون می فرستند و نور آن ها نشان می دهد که چه زمانی تلویزیون روشن است. LED ها همچنین تصاویر را روی تلویزیون های پلاسما نشان می دهد و با توجه به مصرف پایین و شدت نور بسیار عالی در رنگ های مختلف در روشنایی و چراغ های خودرو کاربرد وسیعی دارند. فانوس های LED نیز که در چراغ های راهنمایی به منظور صرفه جویی در مصرف برق و کاهش خطای دید رانندگان قرار گرفته یکی دیگر از کاربردهای لامپ های LED است. البته لامپ های LED امروزه در لپ تاپ ها نیز به کار برده می شوند و باعث روشنایی و وضوح بیشتر تصویر می شوند.

LED های سفید مورد استفاده در نور پردازی غالباً بر پایه ی آبی هستند که یک فسفر را برانگیخته می کنند و نور آبی به سفید تبدیل می شود. این LED های سه رنگ برای بازده روشنایی بیش تر می توانند جایگزین ترکیب LED های آبی و فسفر شوند.

جایگزین کردن لامپ های رشته ای و فلوئورسنت با LED ها باعث کاهش شدیدی در نیاز به برق برای نورپردازی می شود. از آن جا که ۳۰-۲۰ درصد برق مورد استفاده در صنعت نورپردازی مورد استفاده قرار می گیرند. اخیراً تلاش های قابل توجهی برای جایگزین کردن تکنولوژی قدیمی نورپردازی با LED ها در حال انجام است.

امروزه LED های بر پایه ی GaN تکنولوژی برتری برای بازتابش از کریستال مایع به دست داده است که در بسیاری از موبایل ها، تبلت ها، لپ تاپ ها، صفحه های

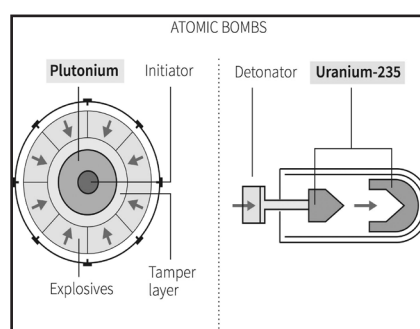
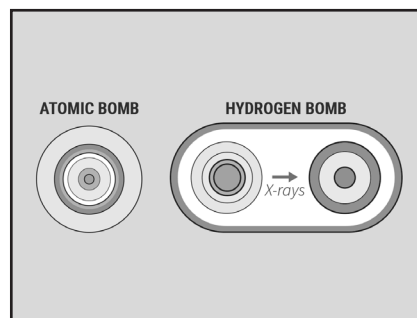
بمب هیدروژنی سلاح نسل جدید

بمب گرما هسته‌ای که بمب هیدروژنی نیز نامیده می‌شود از نظر نحوه تولید انرژی تفاوت زیادی با بمب اتمی مرسوم دارد. در بمب گرما هسته‌ای انرژی موقعی آزاد می‌شود که دو هسته اتمی سبک (مانند هیدروژن) با هم ترکیب می‌شوند تا هسته سنگین‌تری را به وجود آورند (که به این فرآیند همجوشی هسته‌ای گفته می‌شود) اما در بمب اتمی مرسوم انرژی زمانی آزاد می‌شود که یک هسته اتمی سنگین (مانند اروانیوم یا پلوتونیم) به دو هسته اتمی سبک‌تر تقسیم می‌شود (که اصطلاحاً شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود). قدرت بمب هیدروژنی می‌تواند صدها و حتی هزاران برابر قدرت بمب اتمی معمولی باشد. به همین دلیل قدرت بمب‌های اتمی معمولی بر حسب کیلو تن (هر کیلو تن معادل قدرت هزار تن تی‌ان‌تی) و قدرت بمب‌های هیدروژنی بر حسب مگاتن (هر مگاتن معادل قدرت یک میلیون تن تی‌ان‌تی) بیان می‌شود.

فرایند هم‌جوشی هسته‌ای همان فرایندی است که در مرکز خورشید روی می‌دهد و نور و حرارت خورشید را تولید می‌کند. محاسبات ریاضی نشان می‌دهد که قدرت همجوشی‌های هسته‌ای در خورشید در هر ثانیه معادل ۹۲ میلیارد مگاتن است.

نحوه فرآیند همجوشی هسته‌ای

هسته‌های اتمی تحت شرایط معمول دارای بار الکتریکی مثبت هستند و به شدت یکدیگر را می‌رانند. تحت دمای چندین میلیون درجه این هسته‌ها به سرعت کافی برای غلبه بر نیروی دافعه الکتریکی می‌رسند و به اندازه کافی به هم نزدیک می‌شوند. در فواصل بسیار نزدیک نیروی جاذبه کوتاه‌برد قدرتمندی وجود دارد که هسته‌ها را به



در این بمب ها تشعشات رادیواکتیو تا مدت ها در محیط باقی خواهند ماند.

اگر پوسته مرحله دوم از موادی ساخته شود که نوترون به راحتی از آن عبور کند، مقادیر زیادی نوترون به اطراف پخش خواهد شد که به این بمب ها اصطلاحاً بمب نوترونی گفته می شود. در بمب نوترونی طراحی به گونه ای انجام می شود که قدرت انفجار تا حد امکان پایین باشد و تابش نوترونی به حداکثر برسد. در یک بمب هیدروژنی تنها حدود ۵ درصد قدرت انفجار از تابش حاصل می شود در حالی که در بمب نوترونی ۴۰ درصد قدرت بمب ناشی از تابش نوترونی است.

نوترون ها به اشیای فیزیکی آسیب نمی زنند اما به راحتی از زره عبور کرده و سلول زنده (حتی میکروب ها و ویروس ها) را تخریب می کنند و در نتیجه شعاع کشندگی بمب افزایش می یابد. قدرت پرتو نوترونی به ازای هر ۵۰۰ متر ده برابر کاهش می یابد. عبور نوترون از مواد مختلف باعث می شود این مواد به مدت کوتاهی رادیواکتیو شوند. اثرات بمب نوترونی بعد از ۲۴ ساعت از محیط برطرف می شود.

هم جذب می کند و نیروی دافعه الکتریکی قادر به غلبه بر آن نیست. بنابراین در این فرآیند دو هسته اتمی سبک تحت نیروی اتمی کوتاه-برد با هم ترکیب می شوند و هسته سنگین تری را به وجود می آورند. و در اثر آن مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می شود. هسته اتم های هیدروژن نامزدهای ایده آلی برای فرآیند هم جوشی هسته ای هستند زیرا به خاطر کم بودن تعداد پروتون ها در هسته آن، بار مثبت کمتری دارند و غلبه بر نیروی دافعه الکتریکی آن ها آسان تر است. هسته های هیدروژنی که با هم ترکیب می شوند قسمت بسیار اندکی (حدود ۰,۰۰۶۳) از جرم خود را از دست می دهند تا در یک هسته بزرگ تر با هم تناسب پیدا کنند. این مقدار جرم بر اساس فرمول مشهور انیشتین ($E=mc^2$) به طور کامل به انرژی تبدیل می شود.

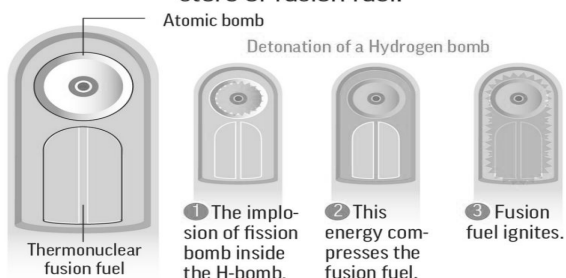
مراحل بمب هیدروژنی

در یک بمب گرما هسته ای، فرآیند انفجار با انفجار اولیه مقدار نسبتاً کمی مواد منفجره معمولی شروع می شود. این انفجار (به همراه شلیک نوترون) باعث انفجار مقداری اورانیوم می شود. نیرو و گرمای این انفجار از طریق محفظه اطراف اورانیوم به سمت قسمت دوم بمب هدایت می شود که حاوی ایزوتوپ های هیدروژن (که اصطلاحاً سوخت قابل هم جوشی نامیده می شود) است. دمای میلیونی ایجاد شده باعث شروع فرآیند هم جوشی هسته ای هیدروژن می شود. کل این فرآیند در کسری از ثانیه روی می دهد.

در برخی از بمب ها برای افزایش قدرت انفجار، پوسته مرحله دوم نیز از اورانیوم ساخته می شود تا نوترون های آزاد شده در فرآیند هم جوشی هسته ای باعث شکافت اتم های این پوسته شوند. البته

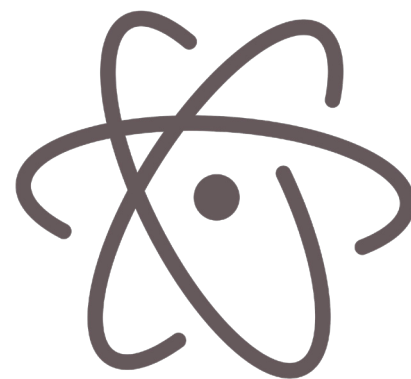
How a thermonuclear H-bomb works

An H-bomb uses an atomic fission bomb to initiate the detonation of the far more destructive store of fusion fuel.



منابع

https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_bomb
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sun>



عملی که طی آن هسته‌های سبک برای تشکیل یک هسته سنگین‌تر به هم برخورد می‌کنند و طی این برخورد انرژی آزاد می‌شود، همجوشی نامیده می‌شود. در واقع گداخت هسته‌ای، همجوشی هسته‌ای، فوژیون یا فیوژن فرآیندی عکس عمل شکافت هسته‌ای است و در آن به جای شکافتن اتم‌های بزرگ به اتم‌های کوچک، اتم‌های کوچک به یکدیگر جوش داده می‌شوند تا اتم‌های بزرگ به وجود آیند. برای اینکه همجوشی امکان‌پذیر باشد هسته‌هایی که در واکنش وارد می‌شوند باید دارای انرژی جنبشی کافی باشند تا بر میدان الکترواستاتیکی پیرامونشان فائق آیند. بنابراین دماهای وابسته به واکنش‌های همجوشی فوق‌العاده بالاست.

یک اعتقاد قدیمی

مقدار کافی دوترون است در واکنش همجوشی استفاده کنیم معادل ۳۰۰ گالن گازوئیل انرژی بدون آلودگی تولید می‌کند.

در قرن نوزدهم منشا انرژی خورشید و دیگر ستاره‌ها را نیروی گرانش می‌دانستند: ماده‌ای که به خورشید سقوط می‌کند؛ انرژی آزاد می‌کند و با خورشید در تعامل است. محاسبات بعدی نشان داد که با این فرض، عمر خورشید باید در حدود ۳۰ میلیون سال باشد. یعنی حتی خیلی کم‌تر از عمر زمین است (عمر فعلی خورشید ۴/۶ میلیارد سال تخمین زده می‌شود) و این فرضیه باطل شد. البته، گرانش در زمان‌های بعدی و خیلی دورتر از عمر ستاره‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند.

سختی‌های فرایند همجوشی هسته‌ای

مشکل اصلی در فرآیند همجوشی عدم علاقه‌ی هسته‌ی اتم‌ها به جوش خوردن با یکدیگر است. هسته‌ی اتم هیدروژن دارای یک پروتون است و بنابراین بار الکتریکی مثبت دارد. وقتی می‌خواهیم یک هسته‌ی اتم هیدروژن دیگر را به آن جوش بدهیم، به دلیل اینکه هر دو دارای بار مثبت هستند، در برابر جوش خوردن مقاومت می‌کنند. تنها راه این است که به زور این کار را انجام دهیم و آن‌قدر دمای اتم‌ها را بالا ببریم که به پلاسما تبدیل شوند. اگر پلاسمایی با دمای بسیار بالا داشته باشیم، بعضی از هسته‌ها چنان محکم به یکدیگر برخورد می‌کنند که به یکدیگر جوش می‌خورند. برای انجام این فرایند، به دما و فشار خیلی زیادی احتیاج است. مشکل این جاست که ما بر روی زمین باید شرایط قسمت مرکزی خورشید را بازسازی کنیم. خورشیدی که جرمش ۳۳۰ هزار برابر زمین است و دمای مرکز آن به ۱۷ میلیون درجه‌ی سانتیگراد می‌رسد. مشکل نخست این است که بر روی زمین به اندازه‌ی خورشید سوخت هیدروژن در اختیار نداریم، باید دما را به ۱۰۰ میلیون درجه‌ی سانتیگراد برسانیم.

مشکل دوم که ماده در شکل پلاسما رفتارهای عجیبی از خود نشان می‌دهد. پلاسما شکل چهارم ماده است نه مایع، نه جامد و نه گاز! وقتی پلاسما را در دما و فشار

مزیت‌های همجوشی

مزیت همجوشی هسته‌ای نسبت به شکافت هسته‌ای مقایسه می‌شود:

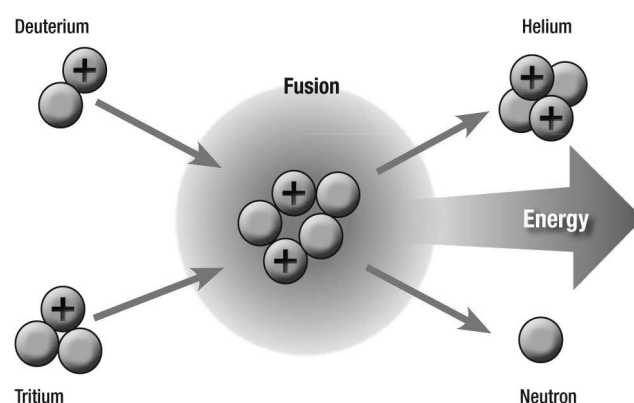
- ۱- منابع سوخت آن بسیار فراوان است. به عنوان مثال دوتریوم حدود ۱۵۳٪ درصد از هیدروژن‌های آب اقیانوس‌ها را تشکیل می‌دهد. تریتیوم نیز در فرایند جذب نوترون توسط لیتیوم قابل تولید است.
- ۲- به ازای هر نوکلئون از ماده سوخت، انرژی تولیدی نسبت به روش شکافت بیشتر است.
- ۳- معضل پسماندهای هسته‌ای را ندارد.
- ۴- در هنگام وقوع حوادث احتمالی، راکتور همجوشی از کنترل خارج نمی‌شود.

به عنوان مثالی از انرژی تولیدی در یک راکتور همجوشی می‌توان گفت اگر یک گالن از آب دریا را که دارای

دریاهاست. در آب های آزاد جهان ۱۵ کیلوگرم دوتریوم موجود است. امروزه تحقیقات فراوانی در زمینه رسیدن به دماهای بسیار بالا برای ایجاد همجوشی در رآکتورها انجام می شود.

پژوهش در مورد همجوشی هسته ای در سال های اخیر و پس از پی بردن به پتانسیل آن به عنوان منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر با اقبال دانشمندان روبرو شده است. انرژی تولید شده از همجوشی هسته ای، چهار برابر انرژی تولید شده توسط شکافت هسته ای است. یک رویداد شکافت هسته ای در حدود ۲۰۰ مگا الکترون ولت انرژی تولید می کند. پس تعجبی ندارد که همجوشی هسته ای به جام مقدس پژوهش های انرژی تبدیل شده است.

خیلی زیاد قرار می دهیم، به شدت ناپایدار می شود. برای کنترل شرایط ناپایدار آن نیز از تجهیزات معمولی نمی توان استفاده کرد. به نوعی باید بر روی زمین یک ستاره ساخت. این کار به قدری چالش برانگیز است که بشر برای رسیدن به آن، باید پیچیده ترین فناوری تاریخ را بسازد.



روش های همجوشی

از جمله روش های همجوشی روش محصورسازی است. محصورسازی در فرایند واکنش گرما هسته ای کنترل شده، فرایند جلوگیری از برخورد پلاسما با دیواره های ظرفی که در آن جای دارد، نامیده می شود. محصورسازی غالباً بر دو نوع است:

۱- محصورسازی مغناطیسی

در این روش از میادین پرقدرت برای حفظ یک پلاسما استفاده می گردد. دو نوع رآکتور توکوماک (نوعی دستگاه محصورسازی پلاسما و ایجاد تعادل پایدار پلاسما) و اسفرومک (یکی از انواع رآکتورهای آزمایشی گداخت هسته ای) بر اساس این روش طراحی شده است.

۲- محصورسازی لیزری

در این روش از لیزرهای پرتوانی جهت محصور ساختن ساچمه های کوچکی استفاده می شود که در آن ها سوخت هسته ای فشرده سازی شده باشد.

منبع انرژی درآینده

همجوشی هسته ای سبک، انرژی بیش تری از شکافت هسته ای تولید می کند. انرژی به دست آمده از همجوشی ۱ لیتر دوتریوم معادل با انرژی است که ۶۰۰ لیتر گازوئیل تولید می کند. یک روش قابل تأمل برای تولید انرژی، استفاده از هیدروژن های سنگین و دوتریوم موجود در آب

منابع

<https://fa.wikipedia.org>

هیتر سبز

فرهاد ظفیری

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
farhad_zafari@mecheng.iust.ac.ir



محققان آزمایشگاه تحقیقاتی انرژی، آب و محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران پس از پنج سال فعالیت مستمر تحقیقاتی توانستند دانش فنی ساخت هیترهای سبز را تدوین و برای نخستین بار در کشور تولید کنند. مدیر آزمایشگاه و همچنین استاد راهنمای این پروژه دکتر سید مصطفی حسینی پور هستند و مسئولیت تیم تحقیقاتی این پروژه را نیز مهندس آروین بهروان بر عهده داشتند.

واکنش سوخت گاز طبیعی با اکسیژن می‌باشد. یکی دیگر از مزیت‌های این پنل‌ها، بالا بودن بازده حرارتی نسبت به هیترهای معمولی است. علت این امر را باید در مکانیزم تولید و انتقال حرارت به محیط اطراف جست‌وجو کرد.

در پنل‌های کاتالیستی بخش اعظم انرژی تولیدی، به صورت حرارت تابشی در طول موج ۲-۱۶ میکرون می‌باشد. این امر باعث می‌گردد حرارت اضافی برای گرمایش مقدار زیاد نیتروژن همراه با اکسیژن در هوا صرف نگردد.

در هیترهای معمولی، بخش عمده‌ای از حرارت تولیدی به واسطه‌ی احتراق سوخت با هوا، صرف گرمایش نیتروژن موجود در هوا می‌گردد. این حرارت همراه با خروج محصولات احتراق از محفظه‌ی احتراق خارج می‌گردد.

در پنل‌های کاتالیستی به دلیل تغییر نوع انتقال حرارت از جابه‌جایی به تابشی، هدررفت حرارت تولیدی و کاهش دمای محصولات احتراق به واسطه‌ی گرمایش نیتروژن وجود نخواهد داشت.

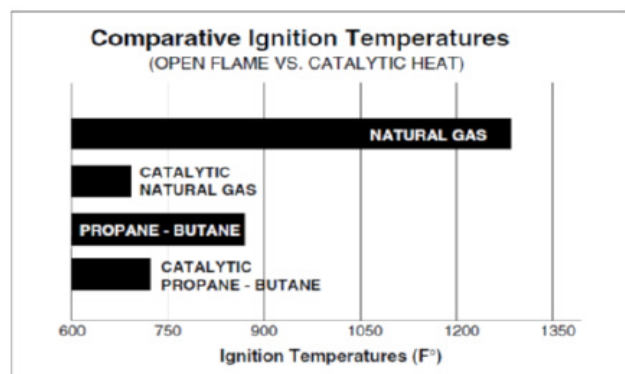
پنل‌های تشعشعی کاتالیستی امروزه به عنوان سیستم‌های تولید حرارت پاک و ایمن تلقی می‌گردند که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فر خود توانسته‌اند جایگاه خود را در بسیاری از کاربردهای تجاری و صنعتی باز نمایند.

همان‌طور که ذکر شد، به عنوان یکی از کاربردهای صنعتی پنل‌های تشعشعی که در سال‌های اخیر بیش‌تر به آن پرداخته شده‌است، می‌توان به گرمایش سیال عبوری از درون لوله اشاره کرد. با توجه به عدم تشکیل شعله در این پنل‌ها استفاده از آن‌ها در گرمایش سیالات پرخطر نیز نظیر گاز طبیعی در ایستگاه‌های فشار و نفت و روغن در پالایشگاه‌ها و چاه‌های استخراج مرسوم شده‌است.

استفاده از این پنل‌ها در گرمایش سیالات فرایندی نظیر گاز طبیعی، پروپان، نفت و روغن، از سال ۲۰۰۶ آغاز گردیده و تا سال ۲۰۱۰ نزدیک به ۱۲۰ نمونه از این هیترها در این کاربرد مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌است.

تکنولوژی ساخت هیترهای تابشی کاتالیستی، در اختیار دو کشور کانادا و امریکاست و مدتی است در اروپا نیز تحت لیسانس شرکت‌های اصلی سازنده، نسبت به ساخت آن اقدام می‌شود.

واکنش اشتعال گاز طبیعی با هوا در فشار اتمسفریک در دمای حدود ۶۸۰ سانتی‌گراد آغاز می‌شود. در حضور کاتالیست، واکنش بین سوخت و هوا با سرعت و دمای کمتری در حدود ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد آغاز می‌شود؛ بنابراین اگر گاز طبیعی در حضور کاتالیست در دمای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در کنار اکسیژن قرار گیرد، واکنش آغاز شده و پس از آن به صورت خود به خود ادامه می‌یابد و محصول این واکنش، دی‌اکسید کربن و بخار آب می‌باشد. حاصل این واکنش گرماده، حرارت کافی برای بالا بردن دمای سطوح تابشی پنل تا دمای حدود ۳۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و تابش امواج مادون‌قرمز را فراهم می‌آورد. شکل (۱) دمای اشتعال در واکنش احتراق معمولی (همراه با شعله) و احتراق کاتالیستی (بدون شعله) را باهم مقایسه می‌کند.



شکل (۱) مقایسه دمای اشتعال بین احتراق کاتالیستی و احتراق معمولی

آن‌چنان که در شکل نیز مشهود است، دمای گاز در این واکنش زیر نقطه‌ی اشتعال عادی سوخت با هوا، نگه‌داشته می‌شود و بنابراین هیچ شعله‌ای در این اکسیداسیون تشکیل نمی‌گردد. درعین حال مقدار حرارت آزاد شده برابر با مقداری است که گاز طبیعی به صورت معمولی با اکسیژن سوخته شود. این امر یکی از مزیت‌های اصلی استفاده از کاتالیست در

آشنایی با نحوه‌ی عملکرد هیترسبز

واکنش احتراق گاز طبیعی با هوا در فشار اتمسفریک در دمای حدود ۷۰۰ درجه‌ی سلسیوس انجام می‌شود. در حضور کاتالیست، واکنش بین سوخت و هوا با سرعت و دمای کمتری و در حدود ۳۵۰ درجه‌ی سلسیوس رخ می‌دهد؛ بنابراین اگر گاز طبیعی در حضور کاتالیست در دمای مذکور در کنار اکسیژن قرار گیرد واکنش احتراق کاتالیستی شکل می‌گیرد و محصول این واکنش دی‌اکسید کربن و بخار آب می‌باشد. حاصل این واکنش گرماده، دمای سطوح تشعشعی هیت‌رهای سبز را تا دمای حدود ۷۰۰-۳۵۰ درجه‌ی سلسیوس بالا برده و تابش امواج مادون قرمز را از سطح هیت‌ر فراهم می‌آورد. سیستم‌های تابشی کاتالیستی از یک پد تشکیل شده که آلیاژهای مختلف که کاتالیست واکنش ما هستند، روی سطح این لایه افشانه می‌شود و در کوره فراوری می‌گردند. گاز شهری یا مایع از یک طرف و اکسیژن هوا از طرف دیگر روی سطح این پد واکنش بدون شعله می‌دهند. احتراق بدون شعله به دلیل حضور کاتالیست می‌باشد و سه مزیت بزرگ را به همراه دارد:

۱- بهینه سازی مصرف انرژی: کاهش مصرف سوخت تا ۱/۳ در مقایسه با سیستم‌های مرسوم.
۲- کاهش بسیار زیاد میزان آلاینده‌گی: به علت دمای کارکرد پایین و احتراق کامل میزان NOx تولیدی صفر و میزان CO زیر مقدار ناچیز ۶ ppm می‌باشد. بنابراین این سیستم‌ها نیاز به دودکش ندارند.

۳- ایمنی بسیار بالا: دمای گاز در این واکنش زیر نقطه‌ی اشتعال بسیاری از مواد قابل احتراق نظیر گاز، نفت، بنزین، تینر، روغن، چوب، کاغذ، پارچه و ... نگه‌داشته می‌شود و بنابراین هیچ شعله‌ای در این اکسیداسیون تشکیل نمی‌گردد و لذا ایمنی این سیستم در مناطق پر خطر بسیار بالا رفته و تنها سیستم جهت تولید گرمایش مستقیم از سوخت در مناطق پر خطر قلم داد می‌گردد. علاوه بر مزایای فوق این سیستم در مقایسه با سیستم‌های مرسوم دارای نکات مثبتی است که در شکل بیان شده است.



کاربردها

به طور کلی این محصول در سه حوزه‌ی گرمایشی، صنعتی و فرایندی قابل استفاده می‌باشد.



کاربرد در حوزه‌ی گرمایش

هیت‌رهای تابشی کاتالیستی به علت راندمان و ایمنی بالا و عدم تولید آلاینده‌های زیست محیطی به دلیل دمای پایین احتراق بین سوخت و هوا می‌توانند به عنوان وسیله‌ای گرمایشی، جایگزین مناسبی برای بخاری‌های و سیستم‌های گرمایشی فعلی باشند. این هیت‌رها به علت راندمان احتراق بالای ۹۸ درصد، مصرف انرژی بسیار کمتری از تکنولوژی‌های مرسوم دارند و میزان حرارت تولیدی در هیت‌رهای سبز به ازای هر مترمربع در دو نوع ساده و فن‌دار از سطح آن‌ها حدود ۵۰-۲۵ کیلووات بر مترمربع می‌باشد. روش مرسوم مورد استفاده برای گرمایش در کاربردهای صنعتی و خانگی استفاده از مکانیزم انتقال حرارت جابه‌جایی است. در این روش گرما با استفاده از موتورخانه مرکزی، یونیت هیت‌ر و ...

تامین و سپس با استفاده از یک سیال واسط به محیط انتقال داده می‌شود. بزرگ‌ترین عیب این سیستم‌ها اتلاف بسیار زیاد حرارت و در نتیجه افزایش هزینه‌های مصرف سوخت و تعمیرات و نگهداری است.

همچنین در سیستم‌های جابه‌جایی قابلیت کنترل گرمایش منطقه‌ای نمی‌باشد. در هیتره‌های سبز کاتالیستی مکانیزم احتراق به صورت تابشی می‌باشد و گرما به صورت متمرکز و منطقه‌ای به جسم گسیل می‌شود. همچنین دمای احتراق در این سیستم‌ها در محدوده‌ی ۳۵۰-۴۰۰ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد و بنابراین این سیستم‌ها به عنوان تنها انتخاب برای گرمایش مستقیم محیط‌های پر خطر هستند.

میزان مصرف سوخت در هیتره‌های کاتالیستی ۶۰ درصد از سیستم‌های مرسوم کمتر است. به علت دمای احتراق پایین و راندمان بالای احتراق، هیتره‌های سبز فاقد آلاینده‌ی زیست محیطی بوده و نیاز به دودکش ندارد. در جدول ذیل مقایسه‌ی کمی بین سیستم‌های گرمایشی موجود در بازار و سیستم تابشی کاتالیستی ارائه شده‌است:

صرفه جویی (%) نسبت به سیستم تابشی مرسوم	هیترسبز	سیستم تابشی مرسوم	گرمایش مرکزی	
30	30-40	40-60	100	سوخت مصرفی
9	98	90	90	راندمان احتراق
33	75	50	40	راندمان کلی
100	100	0	100	امکان نصب در مناطق پر خطر
100	0	100	100	آلاینده‌ی زیست محیطی
100	0	100	50	آلودگی صوتی
75	18	70	100	فضای مورد نیاز
0	0	0	100	هزینه‌ی طراحی
0	50-60	40-60	100	هزینه‌ی تجهیزات
0	10	10	100	هزینه‌ی اجرا
100	0	5	100	هزینه‌ی نگهداری
90	1	10	100	برق مصرفی

محمد هادی حاجی زاده

دانشجوی کارشناسی فیزیک

mohammadhadi.hajizadeh@iran.ir

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$$



اولین جرقه انقلاب کوانتومی فیزیک در بررسی پدیده تابش حضور خود را اعلام کرد. این پدیده برای فردی که به تماشای آتش می‌پردازد آشناست؛ ماده داغ می‌درخشد و هرچه گرم‌تر باشد، درخشش آن بیش‌تر می‌شود. طیفی گسترده از نور زرد به قرمز و در نهایت به آبی متمایل می‌شود. انتظار می‌رفت که فهمیدن و تحلیل این طیف با مفاهیم الکترومغناطیس و ترمودینامیک حاصل شود ولی در واقعیت چنین چیزی اتفاق نیافتاد. پلانک با فرض این که الکترون‌های مرتعش از خود تابش گسیلی انجام می‌دهند، و این طیف کوانتایی است، توانست تابع توزیع تابش را به‌دست آورد. این دوگانگی به مدت بیست سال برای فیزیک نظری معما بود. در سال ۱۹۱۳ انقلاب دیگری رخ داد کارهای بور منجر به زیر سوال بردن پایداری اتمی شد و نظریه خود را اعلام کرد. البته نواقص و تناقضات فراوانی در این نظریه دیده می‌شد. بور همراه سایر فیزیکدان‌ها به مدت ۱۲ سال در تلاش برای یافتن فیزیک جدیدی بودند، که این نواقص را برطرف کند. دوبروی در سال ۱۹۲۳ در تز دکترای خود پیشنهاد رفتاری مشابه با فوتون در مورد ذرات پیش کشید. به زبان دیگر ذرات از خود رفتار موجی نشان می‌دهند این پیش‌بینی به صورت تجربی اثبات شد. در سال ۱۹۲۴ بوزه روش جدیدی برای توصیف قانون

در مکانیک کلاسیک، معادله حرکت، قانون دوم نیوتن است و فرمول‌بندی‌های معادل آن، معادله اویلر-لاگرانژ و معادله هامیلتون هستند. همه این فرمول‌بندی‌ها، برای حل حرکت یک سیستم مکانیکی و پیش‌گویی ریاضی اینکه سامانه در هر زمان پس از شرایط و پیکربندی‌های اولیه چه حالتی خواهد داشت، استفاده می‌شوند. در مکانیک کوانتومی مشابه قانون دوم نیوتن، معادله شرودینگر برای یک سامانه کوانتومی (معمولاً اتم‌ها، مولکول‌ها، ذرات ریز اتمی (آزاد، بسته، موضعی)) است. معادله شرودینگر راهی برای به‌دست آوردن تابع موج محتمل از یک سیستم و چگونگی تفسیر پویای آن با زمان را فراهم می‌کند. اگر چه معادله شرودینگر مستقیماً نمی‌گوید که تابع موج دقیقاً چیست. با استفاده از حل معادله شرودینگر مشخصه‌های سیستم از قبیل ترازهای انرژی، اندازه حرکت خطی و اندازه حرکت زاویه‌ای سیستم مشخص می‌شود. از حل معادله شرودینگر تابع موج منتسب به هر سیستم فیزیکی به‌دست می‌آید. با استفاده از تابع موج می‌توان چگالی احتمال را محاسبه نموده و حرکت ذرات سیستم را مورد بررسی قرار داد. برای هر سیستم معادله شرودینگر مخصوصی وجود دارد که وابسته به هامیلتونی تعریف شده برای آن سیستم است.

دیگر از جمله مکانیک ماتریسی ورنر هایزنبرگ و فرمول‌بندی انتگرال سطحی زیمان تبدیل شود. همچنین همانند قانون دوم نیوتون، معادله شرودینگر زمان را به طریقی توصیف می‌کند که برای نظریه‌های نسبیتی مناسب نیست. مشکلی که در مکانیک ماتریسی به اندازه کافی شدید نیست و در فرمول‌بندی انتگرال سطحی به طور کامل حضور ندارد. معادله شرودینگر راهی برای به‌دست آوردن تابع موج محتمل از یک سیستم و چگونگی تفسیر پویای آن با زمان را فراهم می‌کند. اگر چه معادله شرودینگر مستقیماً نمی‌گوید که تابع موج دقیقاً چیست. تفسیر مکانیک کوانتومی سوالاتی مانند این که چه رابطه‌ای میان تابع موج هست که اساس واقعی دارد و حاصل اندازه‌گیری‌های تجربی است را مشخص می‌کند. یک جنبه مهم رابطه‌ی میان معادله شرودینگر و فروریزش تابع موج است. در گذشته کپنهاگ می‌گفت: ذرات از معادله شرودینگر پیروی می‌کنند به جز در طول فروریزش تابع موج که در آن مقطع به طور کاملاً متفاوتی رفتار می‌کند. معادله شرودینگر نسبت به مشتق زمان از مرتبه اول است. این امر ایجاب می‌کند که وقتی مقدار اولیه تابع موج منتسب به ذره، به عنوان مثال در لحظه $t=0$ معلوم باشد، مقدار آن را در هر لحظه دیگر نیز بتوان پیدا کرد. این مطلب از شکل این معادله، یا از شکل عمومی‌ترین جواب این معادله، که یک رابطه انتگرالی است، مشهود است. نکته دیگر این است که در معادله شرودینگر هیچ عدم قطعیتی وجود ندارد. به بیان دیگر، همین که حالت اولیه تابع موج مشخص شد، در این صورت در هر زمان دیگری، آن تابع موج کاملاً مشخص می‌گردد. دلیل این مطلب در این‌جاست که هیچ محدودیتی بر روی تابع موج حالت اولیه وجود ندارد. با استفاده از حل معادله شرودینگر مشخصه‌های سیستم از قبیل ترازهای انرژی، اندازه حرکت خطی و اندازه حرکت زاویه‌ای سیستم مشخص می‌شود. از حل معادله شرودینگر تابع موج منتسب به هر سیستم فیزیکی به‌دست می‌آید. با استفاده از تابع موج می‌توان چگالی احتمال را محاسبه نموده و حرکت ذرات سیستم را مورد بررسی قرار داد. برای هر سیستم معادله شرودینگر مخصوصی وجود دارد که وابسته به هامیلتونی تعریف شده برای آن سیستم است.

تابش پلانک ارایه کرد. از ژانویه ۱۹۲۵ تا ژانویه ۱۹۲۸ حوادث بسیار مهمی درجهت پیشرفت این مفاهیم رخ داد. ورنر هایزنبرگ، ماکس بورن و پاسکال جردن مکانیک ماتریسی را پیشنهاد کردند. اروین شرودینگر فرم جدیدی برای مکانیک کوانتومی ارایه کرد. دراین فرم حالت‌های مکانیک کوانتومی توسط توابع موج که جواب معادله‌ی شرودینگر بودند توصیف می‌شدند.

از مکانیک کلاسیک می‌دانیم که در بررسی حرکت ذره ابتدا معادله حرکت آن ذره را پیدا می‌کنند و بر اساس آن در مورد چگونگی حرکت بحث می‌کنند. در حالت کلاسیک، به طور کلی این معادله با استفاده از لاگرانژین مربوط به حرکت ذره حاصل می‌گردد. همچنین می‌دانیم که در مکانیک کوانتومی، بر اساس نظریه دوبروی در مورد ذرات دو دیدگاه موجی و ذره‌ای در نظر گرفته می‌شود و اصل مکملی نور مانع از این می‌شود که این دو تصویر را به صورت هم‌زمان به کار ببریم. ولی برای توصیف کامل حرکت، هر دو دیدگاه باید در نظر گرفته شوند. بر این اساس معادله‌ای که به حرکت این ذرات کوانتومی حاکم است، معادله شرودینگر نامیده می‌شود. معادله شرودینگر، معادله‌ای است که چگونگی تغییر حالت کوانتومی یک سامانه فیزیکی با زمان را توصیف می‌کند. در مکانیک کلاسیک، معادله حرکت، قانون دوم نیوتن است و فرمول‌بندی‌های معادل آن، معادله اوپلر-لاگرانژ و معادله هامیلتون هستند. در همه این فرمول‌بندی‌ها، برای حل حرکت یک سیستم مکانیکی و پیش‌گویی ریاضی این که سامانه در هر زمان پس از شرایط و پیکربندی‌های اولیه چه حالتی خواهد داشت، استفاده می‌شوند. در مکانیک کوانتومی مشابه قانون دوم نیوتن، معادله شرودینگر برای یک سامانه کوانتومی (معمولاً اتم‌ها، مولکول‌ها، ذرات ریز اتمی (آزاد، بسته، موضعی)) است. این معادله یک معادله جبری ساده نیست، ولی (عموماً) یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی است. در تفسیر استاندارد از مکانیک کوانتومی، تابع موج کامل‌ترین توضیحی است که می‌توان در مورد یک سامانه فیزیکی داد. راه‌حل‌های معادله شرودینگر نه تنها سامانه‌های مولکولی، اتمی و ریز اتمی را توصیف می‌کند بلکه سیستم‌های ماکروسکوپی، حتی کل جهان را نیز توصیف می‌کند. همانند قانون دوم نیوتن، معادله شرودینگر از لحاظ ریاضی می‌تواند به فرمول‌بندی‌های

معادله وابسته به زمان شرودینگر برای تک ذره غیرنسبیتی

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \left[\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \right] \Psi(\mathbf{r}, t)$$

که m جرم ذره، V انرژی پتانسیل آن و Ψ تابع موج است، که به عبارت دیگر این معادله می‌تواند این گونه توصیف شود: «انرژی کل برابر است با انرژی جنبشی به علاوه انرژی پتانسیل»، معادله عمومی به طور واقعی کاملاً عمومی است، که به وسیله مکانیک کوانتومی و برای همه چیز از معادله دیراک گرفته تا برای نظریه کوانتومی به وسیله تبدیل شدن به عبارات پیچیده مختلف برای هامیلتونی، استفاده می‌شود. نوع خاص غیرنسبیتی شکل ساده شده نزدیک به واقعیت است که در شرایط بسیاری دقیق است و در موارد اندکی دقیق نیست. برای به دست آوردن معادله شرودینگر، عملگر هامیلتونی برای سیستم جهت محاسبه انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی ذرات تشکیل دهنده سیستم و جای گذاری در معادله شرودینگر تنظیم شده است. معادله دیفرانسیل جزئی به دست آمده برای تابع موج حل می‌شود که شامل اطلاعاتی درباره سیستم است.

معادله مستقل از زمان

معادله مستقل از زمان شرودینگر پیش بینی می‌کند که توابع موج می‌توانند امواج ایستاده تشکیل دهند که حالت‌های ثابت نامیده می‌شوند. (همچنین به عنوان اربیتال در اربیتال‌های اتمی یا مولکولی نامیده می‌شوند.) این حالت‌ها به نوبه‌ی خود مهم هستند. علاوه بر این اگر این حالت‌های پایا دسته بندی و تفهیم شوند، حل معادله مستقل از زمان شرودینگر برای هر حالت آسان تر می‌شود. معادله مستقل از زمان شرودینگر حالت‌های پایا را توصیف می‌کند. (این معادله فقط زمانی استفاده می‌شود که خود هامیلتونی وابسته به زمان نیست.)

معادله مستقل از زمان شرودینگر (عمومی)

$$E\Psi = \hat{H}\Psi$$

معادله شرودینگر در حالت کلی

در صورتی که ذره مورد نظر آزاد نباشد، در این صورت تحت تاثیر پتانسیلی مانند قرار خواهد داشت که در حالت تک بعدی پتانسیل را با $V(x)$ و در حالت سه بعدی با $V(x,y,z)$ نشان می‌دهیم و چون بیش تر پتانسیل‌های مهم، تقارن کروی دارند، لذا بهتر است که بحث را در مختصات کروی انجام دهیم. در این صورت پتانسیل به صورت $V(r)$ خواهد بود. برای بیان معادله شرودینگر در حالت عمومی و در فضای سه بعدی، تغییرات زیر را در معادله شرودینگر ذره آزاد اعمال می‌کنیم:

- تابع موج مربوط به ذره را با $\Psi(x,t)$ نمایش می‌دهیم.
- چون ذره آزاد نبوده و تحت تاثیر پتانسیل $V(r)$ قرار دارد، لذا یک جمله به صورت $\Psi(x,t)$ در $V(r)$ به معادله اضافه می‌کنیم. بنابراین معادله شرودینگر در حالت کلی به صورت زیر در می‌آید.

$$i\hbar \frac{\partial \psi(r,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi(r,t) + V(r)\psi(r,t)$$

معادله وابسته به زمان

شکل معادله شرودینگر به شرایط فیزیکی بستگی دارد عمومی ترین شکل آن معادله شرودینگری است که تحول زمانی سیستم را نشان می‌دهد:

معادله وابسته به زمان

شرودینگر

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H}\Psi$$

که Ψ تابع موج سیستم کوانتومی، i واحد موهومی، $\hbar$ ثابت کاهیده پلانک و H عملگر هامیلتونی است که انرژی کل به ازای هر تابع موج داده شده را مشخص می‌کند و شکل‌های مختلفی را بسته به شرایط، به خود می‌گیرد. معروف ترین نمونه آن معادله غیر نسبیتی شرودینگر برای ذره‌ای که در میدان الکتریکی در حال حرکت است، می‌باشد (نه در میدان مغناطیسی).

معادله شرودینگر



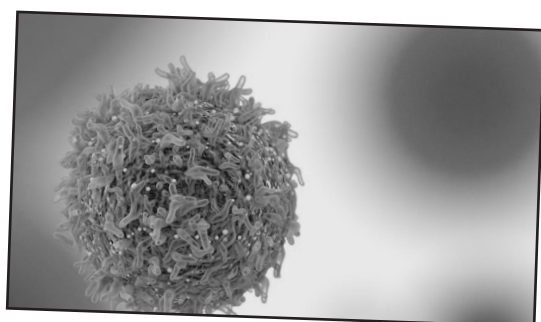
به بیان دیگر، در این معادله وقتی که عملگر هامیلتونی به روی تابع موج Ψ عمل می کند، نتیجه ممکن است با همان تابع موج Ψ متناسب باشد. اگر این گونه باشد، Ψ یک حالت پایا است و ثابت تناسب، E انرژی آن حالت است. مشهورترین شکل معادله غیرنسبیتی شرودینگر برای یک ذره منفرد متحرک در میدان الکتریکی (نه مغناطیسی) است.

معادله مستقل از زمان شرودینگر (یک ذره غیر نسبیتی)

$$E\Psi(\mathbf{r}) = \left[\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}) \right] \Psi(\mathbf{r})$$

منابع

۱. David J. Griffiths (۲۰۰۴). «Introduction to Quantum Mechanics» (۲nd ed.). Prentice Hall. ISBN -۸۰۵۳۲۶-۱۲-۰X.
۲. Shankar, R., «Principles of Quantum Mechanics, ۲nd edition» (Plenum, ۱۹۹۴)
۳. <http://physic-one.blog.ir>



در قرن گذشته شاهد پیشرفت‌های تکنولوژیکی بسیاری بودیم که یکی از آن‌ها فوتونیک و بیوفوتونیک است. فوتونیک با بهره‌گیری از فوتون به جای الکترون افزایش فوق‌العاده‌ای در ظرفیت و سرعت فناوری اطلاعات در انتقال، پردازش و ذخیره اطلاعات فراهم نموده است. فوتونیک یک تکنولوژی جامع و فراگیر مبتنی بر نور است که به عنوان فن آوری غالب در هزاره جدید مورد ستایش قرار گرفته است.

اختراع لیزر به عنوان یک منبع متمرکز از نور تک رنگ با قدرت هدایت بالا، انقلاب عظیمی در این علم به پا کرد؛ از زمان ظهور لیزر (سال ۱۹۶۰)، نور لیزر تمامی جنبه‌های زندگی ما را لمس کرده در نتیجه فرصت‌های زیادی برای فوتونیک ایجاد نموده است.

بیوفوتونیک

شاخه جدیدی از فوتونیک، بیوفوتونیک است که تلفیقی از فوتونیک و زیست‌شناسی می‌باشد. بیوفوتونیک به اندرکنش نور با مواد بیولوژیکی می‌پردازد. به کارگیری فوتونیک در تشخیص‌های نوری زیستی و روش‌های وابسته به نور، تاثیر عمده‌ای در زمینه سلامتی خواهد داشت.

کنترل فوتون در فوتوسنتز و تبدیل فوتون از طریق یک سری مراحل پیچیده برای ایجاد روشنایی از بهترین نمونه‌های کاربردی بیوفوتونیک است. یکی از بخش‌های مهم بیوفوتونیک استفاده از نور برای درمان بیماری‌ها است به‌طورمثال تصویربرداری بیولوژیکی با اندرکنش نور با ارگان‌های زنده (از نمونه‌های سلولی تا تکه‌های بافت و حتی نمونه‌های زنده) سر و کار دارد.

بنابراین اندرکنش نور با موادی خواهد بود که مقیاس اندازه آن‌ها بسته به طول‌موج مورد استفاده، از ۱۰۰ نانومتر (همچون ویروس‌ها) تا اجسام بزرگ‌تر (ارگان‌های زنده) می‌باشد همچنین این اندرکنش با محیط بیولوژیکی تاثیرات فیزیکی، شیمیایی، حرارتی و مکانیکی روی

ترکیبات آن‌ها خواهد داشت.

باتوجه به روند روبه رشد سرطان و شناخت بهتر آن در سرتاسر دنیا، نیاز جامعه بشری به روش‌های درمانی آسان‌تر، ارزان‌تر و با عوارض جانبی کم‌تر بیش از پیش احساس شده است. از جمله روش‌های درمانی جدید سرطان، فوتودینامیک تراپی می‌باشد.

سابقه استفاده از این روش را می‌توان در حدود ۴۰۰۰ سال قبل در تمدن مصر باستان یافت که از تجویز یک ترکیب خوراکی گیاهی و تابش پرتو خورشید برای درمان نوعی بیماری (ویتیلیگو) استفاده می‌شد.

یونانی‌ها و هندی‌ها نیز کاربرد این دانش را می‌شناختند اما به دلایل نامشخصی در قرن‌های بعد این روش به کار نرفت! تا اینکه مجدداً در قرن بیستم در اروپای غربی توسط «نیلز فاینسن» دانمارکی، «اسکار رب» و «هرمن تپینر» آلمانی مورد توجه قرار گرفت.

دو نفر اخیر کسانی بودند که خصوصیات حساسیت به

۱. Niels Ryberg Finsen

۲. Oscar Raab

۳. Hermann von Tappiner

در بافت بدخیم و آسیب محدود به بافت‌های سالم اطراف می‌شود. این روش دارای خواص برتر در مقایسه با روش‌های متداول درمانی همچون شیمی‌درمانی و رادیوتراپی است که شامل انتخابی بودن، غیرتهاجمی و عوارض جانبی بسیار کم‌تر است.

اعتقاد بر این است که اثر درمانی فوتودینامیک تراپی به طور عمده از ذرات اکسیژن فعال تولید شده، توسط واکنش مولکول‌های برانگیخته ماده حساس نوری با اکسیژن، حاصل می‌شود.

در ضمن راندمان داروهای مورد استفاده کنونی، توسط عمق نفوذ نور در بافت محدود شده‌اند، زیرا جذب داروها در محدوده مرئی نور (با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) نهفته است، که در آن تضعیف نور توسط بافت قوی است.

مکانیسم فوتودینامیک تراپی

اساس درمان فوتودینامیک تراپی بر یک روند چند مرحله‌ای استوار است. در مرحله اول یک ترکیب حساس نوری که در محیط تاریک فاقد سمیت می‌باشد، به صورت سیستمیک یا موضعی و در شرایط دور از نور تجویز می‌شود. بعد از این که نسبت ترکیب حساس نوری در بافت هدف مورد درمان به مقدار مناسب رسید، دوز مشخصی از نور که با دقت تنظیم شده است برای مدت زمان خاصی که بستگی به مقدار انرژی لازم برای فعال کردن ترکیب حساس نوری دارد، مستقیماً روی بافت مبتلا تابانیده می‌شود (مراقبت لازم برای حفظ انرژی در یک سطح ایمن برای بافت‌های سالم اطراف صورت می‌گیرد).

فعال‌سازی ترکیب حساس نوری ناشی از واکنش‌های فوتوشیمیایی است که عوامل سمی کشنده‌ای را تولید می‌کنند (نظیر نمونه‌هایی از اکسیژن واکنش‌دهنده با سلول‌های بافت).

این رادیکال‌های سمی باعث مرگ سلول‌های سرطانی و تخریب بافتی می‌شوند. کاربرد موفق فوتودینامیک تراپی مبتنی بر تجمع طولانی ترکیب حساس نوری در سلول‌های بیمار و خروج سریع از سلول‌های بافت طبیعی می‌باشد.

هنگامی که داروی PDT^۱ تجویز می‌شود هر دو سلول‌های طبیعی و بدخیم دارو را جذب می‌کنند. با این حال،

photodynamic therapy. ۱

نور آکریدین^۲ برمواد پرتوزا را مورد مطالعه قرار داده و کشف کردند.

در سال ۱۹۹۹ کشف دیگر ابعاد فوتودینامیک تراپی توسط گروهی از دانشمندان منجر به یک پیشرفت شگفت انگیز در این علم شد. از آن زمان شمار بسیاری از مطالعات در حمایت از سودمندی فوتودینامیک تراپی برای درمان انواع مختلف سرطان‌ها منتشر شده‌است.

سرطان و درمان آن

سرطان نوعی بیماری است که با رشد و تقسیم غیرقابل کنترل سلول، تهاجم و برخی مواقع با متاستاز^۳ شکل می‌گیرد. روند متاستاز موجب می‌شود تومور به بافت‌ها و اعضای متعددی از بدن منتشر شود، وقتی یک تومور به مرحله متاستاز برسد درمان بیماری مشکل می‌شود. روش‌های درمانی سرطان عبارتند از:

جراحی، حذف سلول‌های سرطانی با عمل جراحی رادیوتراپی، نابودی سلول‌های سرطانی با تابش شیمی‌درمانی، نابودی سلول‌های سرطانی با داروهای ضد سرطان

فوتودینامیک تراپی

فوتودینامیک تراپی عبارت است از فعال‌سازی یک ترکیب حساس نوری به وسیله یک نور مرئی برای ایجاد نمونه‌هایی از اکسیژن سیتوتوکسیک و رادیکال‌های آزاد که به‌طور انتخابی سلول‌های در حال رشد سریع را تخریب می‌کند.

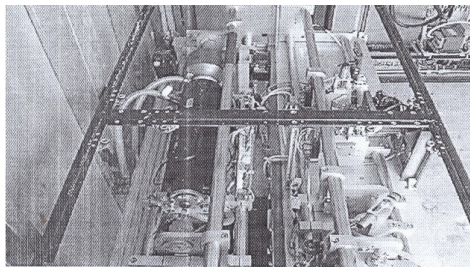
فوتودینامیک تراپی ممکن است بسته به اندازه، محل یا تعداد ضایعاتی که منجر به محدودیت کارایی یا پذیرش روش‌های درمانی رایج می‌شوند، مزیت داشته باشد. این روش که شامل تجویز داروهای حساس به نور و در معرض تابش قرار دادن بافت بدن می‌باشد، به‌عنوان یک رویکرد بالینی جدید برای درمان تومورهای مختلف پدید آمده است.

باتوجه به انتخاب و جذب دارو و کنترل تابش نور، فوتودینامیک تراپی قادر به القا سمیت سلولی موثر

۴. آکریدین یک ترکیب آلی ناجور حلقه حاوی نیتروژن است. این ترکیب به شکل پودر سفید رنگ بوده و نخستین بار در سال ۱۸۷۰ توسط دو شیمیدان آلمانی کشف و جداسازی شد.

۵. متاستاز به انتقال سلول‌های مبتلا از محل اولیه به بافت‌های دیگر بدن اطلاق می‌شود.

مناطق متعدد کوچکی یا چند حفره بزرگ باشد. با وجود اندازه بزرگ این سیستم‌ها، به عنوان اهرم اصلی در پروتکل‌های فوتودینامیک تراپی بودند. آن‌ها توان و انعطاف‌پذیری لازم برای مطالعات اولیه که شامل فیبرهای نوری تکی یا چندگانه با خروجی‌های مختلف برای دزیمتری^۷ تعیین شده بودند، را فراهم نمودند. در نهایت یک سیستم لیزر رنگی آرگون بالینی با طول موج ۶۳۰ نانومتر برای استفاده در فرآیند PDT برای فعال نمودن فوتوفرین^۸، ساخته شد. اندازه این دستگاه کوچک‌تر بوده و به‌طور معمول قادر به تولید توان قابل استفاده ۲ وات بود.



لیزر بخار فلزات

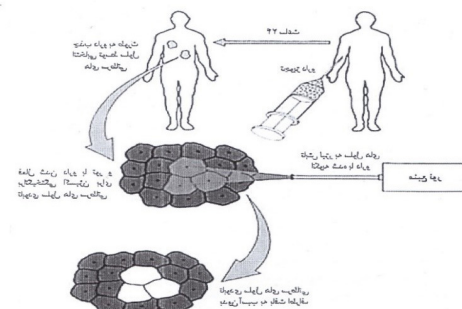
سیستم‌های لیزری دیگری نیز که به‌طور کلی متفاوت از سیستم لیزر رنگی آرگون بودند، مورد استفاده قرار گرفتند. لیزرهای بخار مس یا طلا از جمله لیزرهای مورد علاقه بودند. لیزر بخار طلا طول موج ۸/۶۲۷ نانومتر با توان کافی برای مطالعات PDT بالینی یا تجربی، با خروجی پالسی، با فرکانس تکرار ۵ الی ۱۵ کیلوهرتز تولید می‌کند.

این سیستم مزایایی نسبت به سیستم قبلی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عدم نیاز به جفت‌شدگی با یک لیزر رنگی برای تولید خروجی مورد نیاز برای فوتودینامیک تراپی است. همچنین از مزایای لیزرهای بخار فلز قابلیت حمل، عدم نیاز به برق مخصوص و خنک‌کننده آب می‌باشد با این حال، نیاز به شارژ منظم طلا برای حفظ توان خروجی ارائه شده، سبب گران قیمت بودن این سیستم برای استفاده است.

۷. دزیمتری (دوزیمتری) به میزان جذب پرتوها توسط سلول‌ها می‌گویند و در واقع روشی است که بوسیله آن دوز جذب شده پرتوها را محاسبه می‌کنند.
۸. فوتوفرین به عنوان تغییردهنده شیمیایی حساس‌کننده پرتویی، به منظور افزایش تأثیر پرتودرمانی استفاده می‌شود.

بعد از مدت زمان خاصی غلظت دارو در سلول‌های طبیعی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد در مقابل، سلول‌های بدخیم هنوز دارو را حفظ می‌کنند پس محل بافت بدخیم تعیین می‌شود.

در این مرحله نور با طول موج مناسبی برای فعال کردن دارو اعمال و سپس به تخریب بافت بدخیم توسط یک مکانیسم فوتوشیمیایی منجر می‌شود. از آنجا که خاصیت انسجام نور مورد نیاز نمی‌باشد، هر منبع نوری مانند یک لامپ یا پرتو لیزر را می‌توان مورد استفاده قرار داد. با این حال، برای رسیدن به چگالی توان مورد نظر در طول موج مورد نیاز، اغلب یک پرتو لیزر به‌عنوان منبع مناسب برای این کار استفاده می‌شود. همچنین استفاده از فیبر نوری، انتقال پرتو لیزر را آسان می‌کند.



لیزرها در فوتودینامیک تراپی

سیستم لیزر رنگی آرگون

یکی از پر مصرف‌ترین سیستم‌ها، که تا حدودی به‌عنوان منبع استاندارد برای PDT بالینی در نظر گرفته شده، سیستم لیزر رنگی آرگون بوده است. این سیستم‌ها به‌طور کلی قادر به ارائه توانی از ۱ تا ۷ وات با طول موج پیوسته ۶۳۰ نانومتر، بسته به مدل و سیستم هستند و با توان بالا در آزمایش‌های اولیه برای استفاده از PDT برای بیماری‌های بدخیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

این سیستم‌ها که اندازه بزرگی دارند، اغلب روی پایه نصب شده و بی‌حرکت می‌مانند. به‌طور معمول لیزر آرگون توان‌هایی در محدوده ۲۰-۱۵ وات تولید می‌کند، که برای تبدیل انرژی لازم از طریق لیزر رنگی برای تولید توان تا ۷ وات کافی است. این مقدار انرژی به کاربران اجازه می‌دهد پرتو اصلی را به پرتوهای متعدد برای اتصال به فیبرنوری تقسیم کنند که قادر به ارائه نور لیزر به

شده از لایه‌های نیمه‌هادی، یک زیرلایه نور را در سرتاسر ساختار لایه‌ای ساطع می‌کند و ساختار LED داخل یک جعبه بازتاب کننده قرار می‌گیرد که نور از لایه فعال به سمت خروجی موردنظر بازتاب می‌شود. LED منبع نوری با حداکثر توان ساطع شده در جهت عمود بر سطح ساطع کننده است.

LED های کوچک، سبک وزن هستند و به انرژی کمتری برای تولید طول‌موج موردنظر نور نیاز دارد. این سیستم قادر به تولید توان خروجی تا ۱۵۰ میلی وات بر سانتی‌متر مربع، بر یک سطح 3×3 سانتی‌متر مربع است. LED ها در طول‌موج‌های مختلف از جمله ۶۳۰، ۶۷۰ و ۶۹۰ نانومتر، که می‌توانند در PDT برای روشنائی سطحی تخت استفاده شود، تولید شده اند.

در تحویل نور برای درمان نواحی با سطح بزرگ، مانند درمان بیماری‌های پوست، ممکن است استفاده از لامپ‌های فلورسنت مؤثرتر باشد. این مورد ممکن است اهمیت ویژه‌ای در فعال سازی موضعی ترکیب حساس نوری که در آن محدودیت نفوذ نگرانی کلیدی نمی‌باشد، داشته باشد.

کاربردهای فوتودینامیک تراپی

PDT دارای کاربردهای زیادی در زمینه درمان سرطان‌ها ست. برای نمونه درمان سرطان ریه، سرطان مری، تومورهای مغزی و... همچنین در مواردی می‌تواند روش درمانی مناسب برای سایر بیماری‌ها از قبیل قلب و عروق (مثلاً جایگزینی برای آنژیوپلاستی)، بیماری‌های پوستی مزمن، بیماری‌های خودایمنی (مثلاً آرتریت روماتوئید)، ضد باکتری (بهبود زخم حفره دهان)، واکسن (به‌خصوص واکسن‌های ضدسرطان) و ... باشد.

نگهداری لیزر بخار مس کم هزینه است، اما با خروجی در دو طول‌موج قابل مشاهده (۵۱۱ و ۵۷۸ نانومتر) نیاز به جفت‌شدگی با یک لیزر رنگی برای گسیل در ناحیه قرمز طیف دارد.

عیب بزرگ لیزر بخار مس نیاز به یک دوره طولانی برای گرم کردن و دوره سرد کردن است، که تا حدودی استفاده از آن‌ها را در شرایط بالینی غیرعملی می‌کند. موضوع دیگر ماهیت پالس خروجی از این سیستم‌ها است، دینامیک تحویل نور از منابع پالسی و پیوسته کاملاً متفاوت است. اگرچه مطالعات نشان داده‌اند که پاسخ PDT القا شده در بافت سالم و تومور برابر است.

سیستم لیزر رنگی کریپتون-یاگ

پیشرفت عمده بعدی در تکنولوژی لیزر برای PDT با ایجاد سیستم ترکیبی لیزر رنگی کریپتون-یاگ به وسیله لیزر اسکوپ حاصل شد.

این سیستم مزایای متعددی بر سایر سیستم‌های مورد استفاده در PDT دارد. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: قابلیت حمل (باوجود محدودیت به علت اندازه، وزن و الزامات خنک کننده آب)، تنظیم پذیری و سهولت استفاده از آن.

لیزر دیودی

این سیستم دارای ویژگی‌های نسل جدیدی از سیستم‌های لیزری وارد شده به عرصه پزشکی است و پیشرفت قابل توجهی در تکنولوژی برای PDT ایجاد کرده است. لیزرهای دیودی منابع نور نیمه‌هادی هستند که پیکربندی نوری سیستم‌های لیزری استاندارد مورد استفاده در PDT را نیاز ندارند. این سیستم فشرده بوده و مزایای آن استفاده از توان ۱۲۰ وات و سیستم خنک کننده هوا است، بسیار سبک بوده و قابل حمل می‌باشد. سیستم‌های لیزر دیودی به‌طور کلی کم‌هزینه‌تر بوده و باتوجه به حفظ اصول اساسی در عملکرد آن‌ها، پایداری عالی توان خروجی در زمان‌های طولانی‌تر را مهیا کرده است. با این وجود در حال حاضر قدرت خروجی در نوک فیبرنوری به‌طور کلی از ۲ الی ۵/۲ وات تجاوز نمی‌کند.

منابع نوری غیر لیزری

نور می‌تواند از راه‌های مختلفی به‌صورت الکترونیکی تولید و کنترل شود. در دیودهای ساطع کننده نور (LED ها) نور توسط یک فرآیند حالت جامد به نام الکترولومینسانس تولید می‌شود. در طراحی چراغ تولید

منابع

۱. P.N. Prasad, Introduction to Biophotonics (John Wiley & Sons, ۲۰۰۳)
۲. R. Ackroyd, C. Kelty, N. Brown, and M. Reed, «The History of Photodetection and Photodynamic Therapy»
۳. Choudhary S, Nouri K, Elsaie ML. Photodynamic therapy in dermatology
۴. Floyd TL. In: Electric circuit fundamentals.
۵. Photodynamic Therap, Current Status and Future Directions, Ludmil Benov
Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Health Sciences Centre, Kuwait University, Jabriya, Kuwait
۶. نوایی پور، ف: اثر پارامترهای لیزر در فوتودینامیک تراپی روی سلول‌های سالم و سرطانی، کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۳



ثانیه قابل مشاهده بود. بنابراین استفاده از نتایج شگرف آن ممکن نبود. اما در مقاله ای که به تازگی منتشر شده است فیزیکدانان موفق به ایجاد این پدیده در دمای اتاق برای یک دوره‌ی زمانی پایدار شده‌اند. یک تیم تحقیقاتی بین‌المللی روی این موضوع کار کرده‌اند که نتایج تحقیقات آنان چند ماه پیش در مجله علمی نیچر^۲ به چاپ رسید. یکی از محققین این پژوهش می‌گوید: نتیجه‌ی فوق العاده، این است که ما نشان دادیم، ابرمایع نیز می‌تواند در دمای اتاق، تحت شرایط خاص و با استفاده پلاریتون‌ها (شبه ذره‌ای که بخشی از آن ماده و بخش دیگرش نور است) ایجاد شود.

برای ایجاد پلاریتون‌ها به ابزار و تجهیزات ویژه و مهندسی نانو نیاز است. به این منظور، دانشمندان از میکرو کاواک ارگانیک متشکل از یک لایه از مولکول‌های آلی به ضخامت ۱۳۰ نانومتر که در میان آینه‌های انعکاسی با قدرت بازتابندگی بالا در دمای اتاق قرار گرفته بود، بهره بردند. سپس، این لایه از مولکول‌های آلی را توسط پالس لیزری ۳۵ فمتو ثانیه‌ای مورد تابش قرار دادند. برهمکنش نور و ماده در این سامانه چنان قوی است که منجر به ایجاد حالت هیبرید نور-ماده (پلاریتون‌ها) می‌شود. یک نقص شبکه بلوری در لایه ارگانیک به عنوان مانع در کاواک طراحی شده است که جریان پلاریتون‌های حرکت در طول کاواک با این مانع برخورد می‌کند. به این ترتیب دانشمندان توانستند خواص ویژه فوتون‌ها (مانند جرم موثر ناچیز و سرعت بالا) را با برهمکنش‌های قوی حاصل

هر کسی در هر گرایشی از فیزیک می‌داند که نور مجموعه ای فوتون‌ها و یا ذراتی است که مانند موج منتشر می‌شوند. شاید خارج از تصور ما باشد، اما در شرایط معینی نور می‌تواند به حالت ابرشاره^۱ تبدیل شود. در این حالت نور به جای اینکه در برخورد با جسم کدر آن را روشن نماید، همچون آب پیرامون جسم جریان می‌یابد. نور مایع در واقع، حالتی از «چگالش بوز-اینشتین» است که برای دانشمندان فیزیک بسیار جذاب است، زیرا در این حالت، قوانین حاکم بر فیزیک از حالت کلاسیک به حالت کوانتومی تغییر یافته و ماده، رفتار موجی از خود نشان می‌دهد که تنها در دمای نزدیک به صفر مطلق و برای کسری از ثانیه وجود دارد، که دارای اصطکاک یا چسبندگی صفر است و اغلب به عنوان حالت پنجم ماده نیز شناخته می‌شود. نور به عنوان ابرشاره، خواص عجیبی را به نمایش می‌گذارد که دستیابی به این پدیده انقلابی عظیم در تکنولوژی‌های مرتبط با انتقال نور و الکتروسیسته ایجاد می‌کند یا حتی منجر به آغاز ساخت ابررساناهای نسل بعدی می‌شود. (ابررسانایی پدیده‌ای است که در دماهای بسیار پایین برای برخی از مواد رخ می‌دهد. در حالت ابررسانایی مقاومت الکتریکی ماده دقیقاً صفر می‌شود و ماده خاصیت دیامغناطیس کامل پیدا می‌کند.)

تا چندی پیش، این پدیده تنها تحت شرایط خاص آزمایشگاهی و در چمبرهای ایزوله ای که دمای آنها تنها چند درجه بالای صفر مطلق است، فقط در کسری از



از الکترون‌های درون مولکول‌ها ترکیب کنند. در نتیجه ابرشاره‌ای ایجاد شد که دارای خواص منحصر به فردی است. در شرایط عادی، جریانی از پلاریتون‌ها مانند موج عمل می‌کنند که از تداخل امواج پراکنده شده در برخورد با مانع و موج اصلی، فریزهای تداخلی تشکیل می‌شود، در صورتی که ابرشاره، چنین رفتاری از خود نشان نمی‌دهند. در یک ابرشاره، آشفتگی ایجاد شده در اطراف مانع سرکوب می‌شود و موجب می‌شود که جریان (بدون دیدن مانع) مسیر خود را بدون تغییر ادامه دهد. همانطور که در تصویر قابل مشاهده است محققان نشان دادند با افزایش قدرت لیزر چگالی پلاریتون‌ها به حدی می‌رسد که امواج تداخلی و سایه مخلوطی ایجاد شده حول مانع در حالت عادی کاملاً از بین می‌رود. به باور محققان، کشف نور مایع نه تنها به مطالعات جدیدی در زمینه هیدرودینامیک کوانتومی منجر می‌شود، بلکه می‌تواند به تولید دستگاه‌هایی، برای تکنولوژی‌های پیشرفته آینده، بر اساس پلاریتون در دمای اتاق، مانند تولید مواد ابررسانا برای تکنولوژی‌هایی شامل LEDها، پنل‌های خورشیدی و لیزرها کمک کند. نتایج این پژوهش، نقطه آغاز بسیاری از تحقیقات آینده شامل نه تنها مطالعه پدیده‌های پایه‌ای مرتبط با چگال بوز-اینشتین، بلکه برای طراحی دستگاه‌های فتونیکی مبتنی بر ابرسیال (سرکوب جریان کوانتومی از پراکندگی در سرعت‌هایی پایین‌تر از سرعت بحرانی)، که در آن‌ها از آنجایی اتلاف به کلی از بین رفته پدیده‌های غیرمنتظره‌ای به وجود می‌آید، خواهد بود.

منابع

<https://www.nature.com/articles/nphys4147>
<https://www.sciencealert.com>
<http://www.deeplook.ir>
www.wikipedia.org

یونانیان باستان ایده‌ی جالبی داشتند؛ جهان ساده است. به نظر آن‌ها تنها چیزی که شما برای ساخت دنیا نیاز داشتید چهار عنصر زمین، هوا، آتش و آب بود. با ترکیب این چهار ماده‌ی اصلی به شکل‌های مختلف می‌شود تمام گوناگونی‌های شگفت انگیز دنیا را پدیدآورد؛ مثلاً زمین و آتش، مواد خشک و هوا و آب مواد تر را می‌سازند. اما با تکمیل نظریه‌های مختلف این نظریه به مشکل می‌خورد، در این نظریه هیچ چیزی که قابلیت اندازه‌گیری داشته باشد وجود ندارد و اندازه‌گیری اساس علوم تجربی است.

استفاده از قضیه ویرال در محاسبه جرم خوشه‌های کیهانی

اولین ستاره‌شناس که لزوم وجود مقادیر بزرگ ماده تاریک را ظاهر ساخت فریتز زوویکی^۲ در سال ۱۹۳۲ بود. در مطالعه خوشه‌ی گیسو^۳، او ملاحظه کرد که پراکندگی در سرعت شعاعی خوشه‌ی کهکشانی خیلی بزرگ، در حدود 1000 Km/s بود و ستاره‌ها سرعت بالایی دارند. همچنین نسبت M/L ^۴ را نزدیک به 400 محاسبه کرد^۵ که بسیار با انتظار او اختلاف داشت. ستاره‌ها و گاز قابل مشاهده در کهکشان‌ها واقعا جاذبه گرانشی کافی برای کنار هم نگه داشتن خوشه را فراهم نمی‌کردند. زوویکی استنتاج کرد، برای نگه داشتن کهکشان‌ها در خوشه‌ی گیسو از افتادن در فضاهای خالی مجاور، خوشه باید شامل مقدار متناهی ماده تاریک باشد.

فرض کنید که یک خوشه از کهکشان‌ها، N کهکشان را در برداشته باشد، هر کدام تقریباً می‌تواند به عنوان یک جرم نقطه‌ای در نظر گرفته شود، با جرم m_i . خوشه‌های کهکشانی به طور گرانشی مقید هستند و با روند هابل منبسط نمی‌شوند^۶. آن‌ها در مقایسه با اندازه‌ی افق کوچک^۷ هستند؛ کهکشان‌ها در یک خوشه با سرعتی غیر

در قرن پنجم پیش از میلاد لئوکپوس^۱ یکی از جاودانه‌ترین ایده‌های علمی را مطرح کرد؛ هر چیزی که می‌بینیم از بخش‌های غیرقابل تقسیم کوچک، به نام اتم ساخته شده است. این نظریه ساده و زیباست و نسبت به نظریه‌ی عناصر چهارگانه دارای مزیت درست بودن است. در این نظریه اتم کوچک‌ترین بخش و بخش غیر قابل تقسیم یک ماده است که به صورت هیدروژن، کربن و آهن قابل شناسایی است. تنها اشتباه ایده‌ی لئوکپوس این بود که اتم‌ها در واقع قابلیت تقسیم شدن دارند. گذشته از این، ایده‌ی اتم‌های او تنها توانست بخش تشکیل دهنده‌ی کوچکی از این جهان را شرح دهد. چیزی که به نظر می‌رسد تمام این جهان از آن ساخته شده است در واقع تقریباً کمیاب است. اتم‌های لئوکپوس و چیزهایی که از آن ساخته شده‌اند تقریباً ۵ درصد از کیهانی که ما می‌شناسیم را می‌سازند در حالی که حدود ۲۵ درصد از جهان را ماده تاریک و ۷۵ درصد باقی مانده‌ی آن را انرژی تاریک تشکیل داده است.

شواهد وجود ماده‌ی تاریک

منحنی‌های چرخشی کهکشانی

قدیمی‌ترین و مهم‌ترین شاهد بر وجود ماده‌ی تاریک منحنی‌های چرخشی کهکشانی هستند و این منحنی‌ها نمایش‌گر سرعت چرخش دایره‌ای گاز و ستاره‌ها بر حسب فاصله آن‌ها از مرکز کهکشان می‌باشد.

۲. Fritz Zwicky

۳. Coma

۴. میزان جرم به درخشندگی خورشید است.

۵. M/L برای ستاره‌های مرئی بزرگ‌تر از ۳۰ می‌تواند باشد و لذا افزایش از این مقدار نشانه‌ی حضور ماده تاریک می‌باشد.

۶. قانونی در اختر فیزیک و کیهان‌شناسی است که فرض می‌کند که جهان با سرعتی ثابت که برای تمام زمان‌ها ثابت است، در حال گسترش است.

۷. horizon size

۱. Leucippus

مرزهای تاریک یک هویت مجهول

دلیل که ما فقط اطلاعاتی جزئی درباره‌ی خوشه داریم، و بنابراین v^2 و r_h را نمی دانیم. برای مثال، سرعت در راستای خط دید را برای هر کهکشان از انتقال به سرخ^۸ می توان به دست آورد، اما سرعت عمود بر راستای خط دید مجهول است. با اندازه گیری انتقال به سرخ صدها کهکشان در خوشه گیسو، و به کمک قانون انبساط هابلی^۹ در نهایت v^2 و r_h به صورت تقریبی محاسبه شد. سپس جرم خوشه گیسو این چنین به دست آمد:

$$M_{\text{Coma}} \approx 4 * 10^{45} \text{kg} \approx 2 * 10^{15} M_{\odot} \quad (4)$$

نهایتاً مشخص می شود کم تر از دو درصد از جرم خوشه گیسو شامل ستارگان، و فقط ده درصد شامل گاز بین خوشه ای داغ است. ترکیب با درخشندگی خوشه ی گیسو، $L_{\text{ComaB}} = 8 * 10^{12} L_{\text{sunB}}$ جرم کل خوشه گیسو یک نسبت جرم به نور فراهم می کند، بزرگ تر از نسبت جرم به نور کهکشان خودمان.

$$\left(\frac{M}{L_B}\right)_{\text{Coma}} \approx 250 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}} \quad (5)$$

برای برخی دیگر از خوشه های همسایه ی خوشه ی گیسو نیز M/L محاسبه شده است و این مقادیر نوعاً در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ می باشد. البته مقادیر M/L برای یک سیارک با جرم چند تن و دمای ۱۰۰ کلوین برابر 10^{12} می باشد، که بسیار بزرگ تر از مقادیر معمول برای خوشه ها ست. علت این تفاوت مقدار در M/L آن است که هاله ماده ی تاریک معمولاً با مقداری گازهای گرم همراه می شوند که از خود پرتوی X ساطع می نمایند و این پرتوها باعث کاهش M/L تا مقادیر مورد اشاره می شود.

به دلیل وجود مقدار انبوه ماده تاریک در کهکشان، منحنی چرخشی که نمودار سرعت دورانی ستاره ها بر حسب فاصله از مرکز کهکشان ها بودند، رفتاری بسیار متفاوت از پیش بینی داشتند. به صورت عادی و با فرض عدم وجود هاله ماده تاریک انتظار می رفت که این منحنی ها با افزایش فاصله از مرکز کهکشان افت نمایند ولی مشاهدات رفتاری کاملاً متفاوت را نشان می داد. در شکل (۱) منحنی چرخش با اضافه کردن اثر هاله ماده ی تاریک و گاز بین ستاره ای مشاهدات را توضیح خواهد داد. منحنی چرخش هاله ماده تاریک به نمایه یا پروفایل چگالی که تابعیت

نسبیتی در حال حرکت هستند. به خاطر این ملاحظات می شود دینامیک خوشه ی گیسو و دیگر کهکشان ها را به روش نیوتونی مورد بررسی قرار داد.

انرژی پتانسیل گرانشی سیستم N کهکشان، W ، انرژی است که برای گردآوری N کهکشان به دور هم نیاز خواهد بود. در تقریب نیوتون این مقدار همان برآیند جاذبه ی گرانشی است که تک تک ستاره ها به هم وارد می کنند. انرژی جنبشی وابسته به حرکت نسبی کهکشان ها در خوشه از معادله ی زیر به دست می آید:

$$k = 1/2 M \langle v^2 \rangle, \quad \langle v^2 \rangle = 1/M \sum_i m_i |\dot{\vec{x}}_i|^2 \quad (1)$$

$\langle v^2 \rangle$ میانگین مربع سرعت (دارای وزن با جرم کهکشان) همه کهکشان ها در خوشه است.

رابطه زیر به عنوان قضیه ی ویریال شناخته می شود و برای اولین بار در قرن ۱۹ در زمینه انرژی جنبشی گازها به دست آمد، اما اثبات شد که برای یک سیستم خود گرانشی (تمام انرژی پتانسیل گرانشی موجود در سیستم ناشی از اجرام داخل سیستم است) از جرم های نقطه ای نیز به خوبی صدق می کند.

$$\dot{T} = 2W + 4k \quad (2)$$

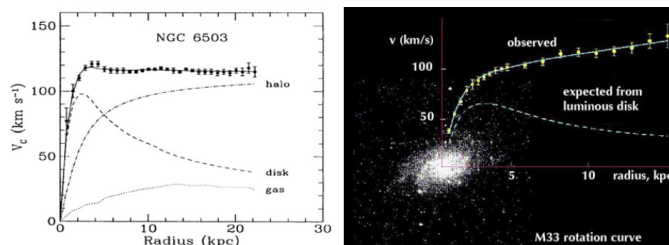
قضیه ی ویریال مخصوصاً وقتی که برای یک سیستم در حالت پایا، با یک گشتاور اینرسی ثابت به کار برده می شود مفید است. (این ایجاب می کند که سیستم نه منبسط و نه منقبض شود، و از سیستم مختصاتی استفاده می شود که در آن مرکز جرم خوشه در حال سکون است.) اگر گشتاور اینرسی ثابت باشد، آن گاه حالت پایای قضیه ویریال به صورت زیر است:

$$0 = W + 2k \Rightarrow k = -W/2 \quad (3)$$

بنابراین برای یک سیستم خود گرانشی که در حالت پایا است، انرژی جنبشی K مساوی با $-1/2$ برابر انرژی پتانسیل W است. در این حالت می توان گفت که انرژی جنبشی تمام اعضای سیستم و سرعت آن ها تنها وابسته به انرژی پتانسیل گرانشی موجود در خوشه می باشد. لذا با بررسی سرعت اجسام می توان به میزان ماده ی موجود در خوشه پی برد به کار بردن قضیه ی ویریال برای یک خوشه کهکشانی واقعی، مانند خوشه گیسو، پیچیده است؛ به این

Redshift . λ
 $V = H_0 D$. λ

فاصله از مرکز را دارد وابسته است.



شکل (۱): منحنی چرخش برای کهکشان NGC ۶۵۰۳ و M۳۳

عدسی در مدت زمان نسبتاً کوتاهی از منبع عبور می کند (از مرتبه ثانیه تا سال). این سبب تغییر در روشنایی منبع به صورت گذرا خواهد شد. همین خاصیت اطلاعات ارزشمندی درباره خواص گرانشی عدسی در اختیار ما خواهد گذاشت.

در سال ۲۰۰۴ دو خوشه‌ی ترکیب شونده‌ی ۵۵۶-۶۵۷E۰۱ توسط رصدخانه‌ی پرتوهای X چاندرا رویت شدند. در این مجموعه یک زیرخوشه در حال ادغام شدن و عبور از خوشه اصلی می باشد. این زیرخوشه^{۱۱} همانند یک گلوله در حال ورود به بدنه‌ی خوشه‌ی اصلی می باشد و در اثر حرکت آن در پلاسمای گازی، یک موج شوک^{۱۲} ایجاد شده است. بررسی خواص جبهه‌ی این موج نشان می دهد سرعت نسبی زیر خوشه در داخل خوشه برابر ۴۷۰۰ Km/sec می باشد. بررسی های مارکویچ از این دو خوشه اطلاعات بسیار جالبی را درباره ماهیت ماده تاریک افشا می سازد. چون صفحه برخورد این دو خوشه با صفحه‌ی آسمان انحراف زاویه‌ای انداکی دارد، فرصت مناسب و بی نظیری برای مشاهده ماده تاریک به دست آمده است.



شکل (۲): شکل چپ: خوشه کیهانی Abell با کمان های درخشان غول پیکر و تعداد زیادی ریزکمان. شکل راست: نمایی از شکل گیری لنز گرانشی و حلقه های انیشتین

همان گونه که بررسی کردیم، ساختار خوشه از یک هاله‌ی پلاسمای گازی با حرارت چندین میلیون درجه تشکیل شده که ۹۰ درصد از ماده‌ی باریونی و مرئی در خوشه است و مولد پرتوی X می باشد. اندک ماده باریونی باقی مانده ستاره ها هستند. ولی قسمت اعظم خوشه را هاله‌ی ماده‌ی تاریک تشکیل می دهد. از آن جا که ماده تاریک برهمکنش الکترومغناطیسی ندارد و حدود مشاهده دلالت بر کوچک بودن سطح مقطع پراکندگی در برهمکنش

۱۱. Subcluster

۱۲. Shock wave

خوشه‌ی گلوله

درست همان گونه که عدسی های اپتیکی نور را همگرا می کنند، بر اساس نظریه نسبیت عام، اجسام پر جرم هم به عنوان عدسی های گرانشی می توانند نور را همگرا کنند. اندازه گیری همین انحراف در خورشید گرفتگی کلی در ۱۹۱۹ توسط ادینگتون، سبب شهرت و مقبولیت این نظریه گردید. البته توجه کنید در عدسی های اپتیکی، هر چه جسم منیر به عدسی نزدیک تر باشد، همگرایی کم تر می باشد، ولی در لنزهای گرانشی برعکس می باشد. کمی بعدتر انیشتین نشان داد که اگر منبع نقطه‌ای دقیقاً پشت عدسی قرار بگیرد، منبع می تواند به صورت یک حلقه در اطراف عدسی تصویر شود. این حلقه ها را حلقه های انیشتین می نامند. از عدسی گرانشی به عنوان یک تلسکوپ طبیعی می توان استفاده کرد. در سال ۱۹۶۰ لیبس^{۱۰} نشان داد که در پدیده های ریز همگرایی گرانشی می توان اختلاف زمان بین دو پرتوی رسیده را اندازه گیری نمود و این مقدار به جرم عدسی و فاصله منبع تا عدسی وابستگی خواهد داشت.

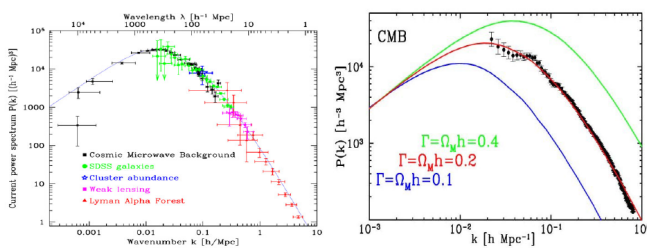
ریز همگرایی گرانشی

ریز همگرایی گرانشی زمانی رخ می دهد که جرم عدسی به نسبت کم، یا فاصله آن زیاد باشد. لذا ریز همگرایی با ستاره هایی با اجرامی از حدود سیاره و ستاره می باشد و از آن جا که به درخشندگی لنز ارتباطی ندارد، به ما در شناسایی اجرام کم نور مانند کوتوله ها و ستاره های نوترونی کمک می کند. در مورد ریز همگرایی گرانشی،

۱۰. Libes

مرزهای تاریک یک هویت مجهول

ما دارد. این موضوع به ما این امکان را می‌دهد تا با مقایسه طیف توانی که نظریه‌مان پیش‌بینی می‌کند و طیف توان مشاهده شده از تابش زمینه‌ی کیهانی، این پارامترها را تعیین کنیم. جدیدترین نتایج برای پارامترهای کیهان شناختی بر اساس طیف توان کامل تابش زمینه در نتایج داده‌های پلانک موجود است. آنچه که از تطبیق داده‌های پلانک^{۱۵} و شبیه‌سازی‌ها به دست می‌آید، خبر از وجود مقدار زیادی ماده در عالم بسیار بیش‌تر از سهم ماده باریونی به ما می‌دهد. همچنین میزان اولیه ماده در کیهان علاوه بر قابلیت مشاهده از نقشه‌های تابش پس زمینه، از بررسی طیف توان و داده‌های رصدی از تشکیل ساختارهای بزرگ^{۱۶} در عالم نیز قابل استخراج است.



شکل (۴): طیف توان به دست آمده از پلانک و تکمیل آن با کمک دیگر داده‌های مشاهداتی. مقایسه این طیف با شبیه‌سازی، تقسیم‌بندی فوق را برای ماده و انرژی در عالم تأیید می‌کند.

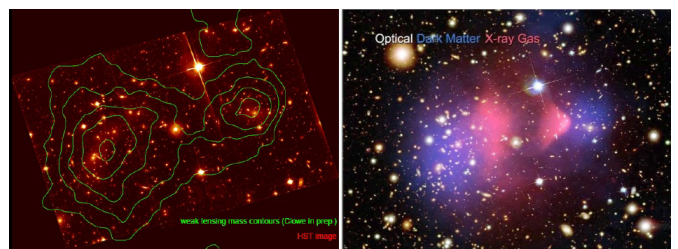
ویژگی‌های ماده تاریک

با این که سهم ماده تاریک به چگالی انرژی در جهان با دقت چشم‌گیری از داده‌های کیهان‌شناسی استخراج شده‌است، هنوز اطلاعات ما در مورد ویژگی‌های ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک ناچیز است. در واقع اغلب اطلاعاتی که از مشاهدات در مورد ویژگی‌های ماده تاریک به دست آمده بر پیش‌فرض‌هایی استوار است. با زیرسؤال بردن این پیش‌فرض‌ها می‌توان درستی گزاره‌ها در مورد ویژگی‌های ماده تاریک را زیر سؤال برد. کمبود اطلاعات مشاهداتی در مورد ماده تاریک راه را بر مدل‌سازی در مورد کاندیداهای ماده تاریک باز می‌کند. البته هر مدل برای ماده تاریک باید خوش تعریف باشد. مدل قابل اعتنا برای ماده تاریک، مدلی است که پیش‌بینی‌های مشاهده پذیر دارد. این پیش‌بینی‌ها را باید با دقت، با مشاهدات

Planck. ۱۵

Larg Scale Structure. ۱۶

ماده تاریک دارد، لذا دو هاله ماده تاریک بدون برخورد می‌باشند و بدون آن که تغییر زیادی در ساختار آن‌ها ایجاد شود از داخل هم عبور می‌کنند. از طرف دیگر هاله پلاسمای گازی در دو خوشه با هم برخورد خواهند کرد و تغییر شکل خواهند داد. مشاهده پرتوی X موقعیت هاله گاز را پس از برخورد با رنگ قرمز در شکل نشان داده‌است. از طرف دیگر اندازه‌گیری اثر لنز ضعیف با همان روشی که قبلاً اشاره شد، نقشه تجمعی جرمی را در دو خوشه مشخص می‌کند. پربند^{۱۳} هایی که در شکل پایین مشخص شده‌است، نقاط هم پتانسیل گرانشی (با دقت ۹۰ درصد) نواحی تجمع جرم ماده تاریک می‌باشد. لذا محل تقریب حضور هاله‌های ماده تاریک در شکل بالا با رنگ آبی به دست آمده‌است. حال با دقت در شکل می‌بینید که تمام انتظارات ما درباره حضور ماده تاریک برآورده شده‌است. هاله‌های گازی در برخورد با هم در مرکز برخورد متوقف شده‌اند و هاله تاریک بدون برخورد از کنار هم عبور کرده‌اند. مرکز جرم خوشه‌ها با توجه به داده‌های اثر لنز، در محلی دورتر از مرکز برخورد واقع شده است و این موید آن است که ماده‌ای بدون نور و بدون برخورد، ماده‌ای تاریک، قسمت عمده‌ی جرم خوشه را تشکیل داده‌است.



شکل (۳): نمایش همزمان از تصاویر اپتیکی، پرتوهای X به رنگ قرمز و تجمع ماده تاریک به رنگ آبی. شکل چپ: نقاط هم پتانسیل گرانشی به صورت پربند از اثرهای گرانشی ضعیف به دست آمده

تابش پس زمینه‌ی کیهان

طیف توان در حقیقت همان تابع همبستگی در فضای فوریه می‌باشد. طیف توان زاویه‌ای^{۱۴} از نقشه CMB، حاوی اطلاعات بسیار ارزشمندی از کیهان نخستین است. جزئیات این شکل و مکان و بلندی قله‌های آن بستگی به مقادیر پارامترهای کیهان شناختی نظریه‌ی

۱۳. خطوط هم ارزش

Angular Power Spectrum. ۱۴

ذرات ماده تاریک از یکدیگر به ما می‌دهد. برهمکنش دوربرد ذرات ماده تاریک با یکدیگر منجر به کروی شدن هاله کهکشان‌ها می‌شود اما مشاهدات نشان می‌دهد که اغلب هاله‌های کهکشانی بیضوی می‌باشند. این مشاهده وجود برهمکنش دوربرد بین ذرات ماده تاریک را نفی می‌کند. بنابراین ذرات ماده تاریک نباید بار الکتریکی داشته باشند.

اثرات ماده تاریک از زمان تشکیل اتم‌ها (حدود صد هزار سال بعد از مه‌بانگ^{۱۷}) تا به امروز دیده شده‌اند. در نتیجه ماده تاریک باید عمری بیش از عمر جهان داشته باشد. اگر واپاشی ماده تاریک منجر به تولید ذرات مدل استاندارد نظیر فوتون شود با توجه به تعداد بسیار زیاد ذرات ماده تاریک در هاله‌های کهکشان‌ها انتظار می‌رفت فوتون‌های ناشی از واپاشی مشاهده شوند. عدم مشاهده چنین فوتون‌هایی حد بالا روی آهنگ واپاشی ماده تاریک به فوتون می‌گذارد که چند مرتبه بزرگی، کمتر از معکوس عمر جهان است؛ به عبارت دیگر زمانی که لازم است ماده تاریک به فوتون و ذرات دیگر واپاشی کند چند مرتبه از عمر جهان بیشتر است.

در مورد جرم ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک نیز اطلاعات ما بسیار محدود است. با این پیش فرض که انرژی ذرات ماده تاریک در ابتدای عالم از مرتبه دمای فوتون‌های پیش زمینه بوده‌است می‌توان ماده تاریک را برحسب جرم آن به سه بازه تقسیم کرد به گونه‌ای که در هر کدام از این بازه‌ها، تاثیر ماده تاریک بر تشکیل ساختار متفاوت است. در برهه‌ای از زمان، ماده تاریک از تعادل جنبشی با ذرات معمولی بیرون می‌آید و آزادانه منتشر می‌شود. دمای متناظر را با T_d نشان می‌دهیم. اگر این دما خیلی کمتر از جرم ذرات ماده تاریک (M_x) باشد، در زمان جفت شدگی، ذرات ماده تاریک در زمان واجفتیدگی غیرنسبیتی خواهند بود و ماده تاریک سرد^{۱۸} خوانده می‌شود.

حالت $T_d > m$ خود به دو دسته تقسیم می‌شود: اگر جرم ماده تاریک از دمای برابری ماده-تابش (منظور دمای برهه‌ای که سهم ماده غیر نسبیتی و تابش به انرژی

تجربی مطابقت داد و آزمود. ویژگی‌های ماده تاریک که در این جا برمی‌شماریم در واقع خصوصیات کاندیدای ماده تاریک در چارچوب مدل‌های معروف است که بر پیش فرض‌هایی استوار می‌باشد. یکی از بدیهی‌ترین ویژگی‌های ماده تاریک که وجه تسمیه آن نیز هست ساطع نکردن نور است. ماده تاریک برعکس گاز بین ستاره‌ای یا گاز درون خوشه‌های کهکشانی از خود نوری گسیل نمی‌کند تا به مدد آن دیده شود.

ساده‌ترین کاندیدای ماده تاریک که با این ملاحظه به ذهن می‌رسد اجرامی نظیر سیاره‌ها، کوتوله‌های قهوه‌ای و سیاهچاله‌ها هستند که از ذرات معمولی تشکیل شده‌اند اما کم نورتر از آن هستند که در مشاهدات اخترفیزیکی آشکار شوند. تکنیک همگرایی ضعیف می‌تواند چنین اجرامی را بنمایاند. مشاهدات همگرایی ضعیف نشان می‌دهد که این نوع اجرام با جرم در بازه $10^{-6} M_{\text{sun}} < M < 10^{-1} M_{\text{sun}}$ نمی‌تواند ماده تاریک غالب در جهان را تشکیل دهند.

با اندازه‌گیری سرعت چرخش ستارگان حول مرکز کهکشان برحسب فاصله از مرکز و با فرض تقارن استوانه‌ای می‌توان توزیع ماده تاریک را به دست آورد. این مشاهدات نشان‌گر آن هستند که هاله ماده تاریک در کهکشان‌ها شعاع بسیار بزرگ‌تری از شعاع دیسک کهکشانی (که از ماده معمولی تشکیل شده‌است) دارد. این در حالی است که انتظار می‌رود افت و خیزهای اولیه در چگالی پس زمینه ماده معمولی و ماده تاریک پس از مرحله تورم به صورت یکسان در فضا توزیع شده باشند. ماده معمولی با ساطع کردن فوتون از خود می‌تواند انرژی از دست بدهد و در نتیجه سریع‌تر از ماده تاریک متراکم می‌شود. این ملاحظه نشان می‌دهد که نه تنها ماده تاریک نمی‌تواند فوتون معمولی ساطع کند بلکه راهی مشابه برای از دست دادن انرژی و سرد شدن نظیر ساطع کردن ذرات بی‌جرم جدید مانند ذره فرضی فوتون تاریک نیز برای آن وجود ندارد؛ در غیر این صورت توزیع ماده تاریک کهکشان، متراکم‌تر از آن می‌بود که مشاهدات نشان می‌دهند. همان‌طوری که در بخش قبل دیدیم مشاهده جدا شدن توزیع ماده تاریک از توزیع ماده معمولی در خوشه‌های کهکشانی که با هم برخورد داشته‌اند حد بالا روی سطح مقطع پراکندگی

۱۷. Big Bang

۱۸. Cold dark matter

مرزهای تاریک یک هویت مجهول

بر فهرست ذرات بنیادی شناخته شده نگاهی بیاندازیم تا دریابیم که آیا ذره شناخته شده‌ای می‌تواند نقش ماده تاریک را ایفا کند. تنها ذرات بنیادی پایدار، جرم‌دار و بدون بار شناخته شده نوترینوها هستند. نوترینوها در جهان اولیه می‌توانند به تعادل ترمودینامیکی با سایر ذرات بنیادی برسند چرا که به ازای دماهای بیش‌تر از MeV آهنگ برهمکنش‌های ضعیف نوترینوها بزرگ‌تر از آهنگ انبساط هابل است. اما از آزمایش‌های زمینی آموختیم جرم نوترینوها کم‌تر از $2,2$ الکترون-ولت است. بنابراین نوترینوهای شناخته شده تنها می‌توانند نقش ماده تاریک داغ را ایفا نمایند. چنان که گفته شد مشاهدات ماده تاریک داغ را رد می‌کنند. بنابراین در میان ذرات شناخته شده کاندیدای مناسبی برای ماده تاریک وجود ندارد. همان طور که در قبل توضیح داده‌شد مقدار عددی چگالی متوسط ماده تاریک در جهان از مشاهدات به دست آمده‌است. هر مدل کامل ماده تاریک باید مکانیزمی برای تولید این مقدار ماده تاریک در جهان اولیه در بر داشته‌باشد.

سناریوهای مختلفی برای تولید ماده تاریک در جهان اولیه پیشنهاد شده‌است که در این‌جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم. یک امکان آن است که ماده تاریک از واپاشی ذره‌ای سنگین‌تر در زمانی که دمای عالم از جرم آن ذره کم‌تر بوده‌است به وجود آمده باشد. اگر اختلاف جرم زیادی بین جرم ذره ناپایدار مادر و ذرات تولید شده وجود داشته باشد ذرات نهایی به هنگام واپاشی نسبیتی خواهندبود. در ساختن مدل‌هایی که این سناریو را در بردارند باید دقت نمود که اثرات ناشی از این ذرات نسبیتی با مشاهدات همخوانی داشته باشند. به طور مثال، اگر واپاشی بعد از برهه هسته‌زایی باشد و ذرات نسبیتی حاصل از واپاشی با هسته‌ها برهمکنش داشته‌باشند می‌توانند بر فراوانی هسته‌های مختلف اثر بگذارند. فراوانی هسته‌ها در جهان به دقت کافی اندازه‌گیری شده‌اند و با دقت خوبی با مدل هسته‌زایی در جهان اولیه سازگارند. بنابراین مدل ماده تاریک نباید این پیش‌بینی‌ها را بر هم بزنند.

سناریوی دیگری که برای تولید ماده تاریک در جهان اولیه پیشنهاد شده است سناریوی Freeze-in است. در این سناریو ماده تاریک در دماهای بالاتر از جرم آن می‌تواند در

کیهان برابر می‌شود) بیش‌تر باشد (یعنی وقتی $m_x < 1\text{eV}$) ماده تاریک گرم^{۱۹} است. به حالت عکس ($m_x > 1\text{eV}$) ماده تاریک داغ^{۲۰} می‌گوییم. در هرکدام از این حالات، تاثیر ماده تاریک بر تشکیل ساختار متفاوت است. تا وقتی $T_d > T > m_x$ ، ذرات ماده تاریک از مناطقی که چگالی ماده تاریک در آن بالاست به سمت مناطقی که چگالی ماده تاریک در آن پایین است پخش می‌شوند.

ابعاد هاله کهکشان‌ها از مرتبه صد کیلوپارسک^{۲۱} است؛ اما به خاطر داشته باشیم چگالی متوسط ماده تاریک در کهکشان چیزی حدود 10^{-6} - 10^{-5} مرتبه بیش‌تر از متوسط چگالی ماده تاریک در عالم است. بنابراین ماده تاریک موجود در هاله یک کهکشان از شعاعی حدود ۵۰ تا ۱۰۰ برابر بزرگ‌تر باید متراکم شده باشد؛ در نتیجه اگر پخش ماده تاریک نسبیتی نباشد، افت وخیزهایی با ابعاد ده مگاپارسک منجر به تشکیل کهکشان‌ها می‌شوند. با این ملاحظه و این واقعیت که کهکشان‌های بی‌شماری در جهان وجود دارند می‌توان دریافت که جرم ماده تاریک نمی‌تواند از حدود keV کوچک‌تر باشد. به عبارت دیگر ماده تاریک نمی‌تواند داغ باشد. اما ماده تاریک گرم با جرمی حدود keV پذیرفته شده‌است. در واقع ماده تاریک گرم از نظرتوضیح ساختارهای کوچک به ماده تاریک سرد برتری‌هایی دارد؛ نخست آن که در چارچوب ماده تاریک سرد تعداد پیش‌بینی شده کهکشان‌های ماهواره‌ای (کهکشان‌های نسبتاً کوچک که حول کهکشان‌های بزرگ‌تر می‌چرخند) بیش از مقدار مشاهده شده‌است. دوم آن که شبیه سازی‌ها با ماده تاریک سرد (بدون لحاظ کردن ماده معمولی) پروفایل مرکز هاله کهکشان را در شعاع کمتر از ۱ کیلوپارسک تیزتر از آن چه که مشاهده نشان می‌دهد پیش‌بینی می‌کنند ولی پیش‌بینی ماده تاریک گرم با این مشاهدات همخوانی بهتری دارد. دقت پیش‌بینی و مشاهده هنوز آن قدر زیاد نیست که بتوان به طور قطعی ماده تاریک سرد را رد نمود. به لحاظ تئوری مدل‌های ماده تاریک سرد محبوب‌تر هستند.

پیش از آن که دیگر ویژگی‌های ماده تاریک را برشماریم

۱۹. Warm dark matter

۲۰. Hot dark matter

۲۱. یک پارسک برابر با ۳۰۹ تریلیون کیلومتر (۱۹,۲ تریلیون مایل) و معادل ۳,۲۶ سال نوری است.

اما ذرات فرضی نوترینوی استرل با جرمی حدود چند کیلو الکترون ولت که با نوترینوهای معمولی در می آمیزند از جمله معروف ترین کاندیداها برای ماده تاریک هستند. این نوترینوها به واسطه درآمیختگی با نوترینوهای معمولی می توانند به نوترینوی معمولی و فوتون واپاشی کنند. توجه کنید که ذرات ماده تاریک در کهکشان ها و خوشه های کهکشانی سرعت های غیرنسبیتی دارند. در نتیجه انرژی فوتون ناشی از واپاشی برابر نصف جرم نوترینوهای استرل خواهد بود. به عبارت دیگر انتظار داریم طیف فوتون تک رنگ باشد. اگر جرم نوترینو استرل حدود چند کیلو الکترون ولت باشد پرتو فوتون حاصله، پرتو ایکس خواهد بود. آشکارسازهای متعددی بر فراز ماهواره هایی نظیر XMM-Newton یا Chandra Observatory (یا در آینده نزدیک Astro-H) به دنبال یافتن چنین خطی در طیف پرتو ایکس از کهکشان ها و خوشه های کهکشانی هستند. هر از گاهی ادعا می شود چنین خطی که نشان گر واپاشی ماده تاریک است یافت شده است ولی تا کشف قطعی فاصله داریم. در حال حاضر از روی حدهای مشاهداتی می دانیم اگر ماده تاریک از نوترینوی استرل با جرم چند کیلوولت ساخته شده باشد طول عمر واپاشی آن به فوتون از حدود 10^{21} سال (یعنی از حدود 10^{11} برابر طول عمر جهان) بیشتر است.

جست و جوی ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک

بسته به ویژگی های مدل ماده تاریک و اثرات آزمایشگاهی آن راهکارهای جست و جو برای ماده تاریک نیز باید متفاوت باشد. این جست و جو به دو دسته جست و جوی مستقیم و جست و جوی غیر مستقیم ماده تاریک تقسیم بندی می شود. برای مثال راهکار استاندارد برای جست و جوی نوترینوی استرل به عنوان ماده تاریک، مشاهده خط تک-رنگ در طیف پرتو ایکس از ناحیه هایی از فضا مانند خوشه های کهکشانی یا کهکشان های ماهواره ای کروی است که چگالی ماده تاریک در آن زیاد است. این نوع جست و جو در دسته جست و جوی غیر مستقیم ماده تاریک قرار می گیرد.

شواهد متعدد ناشی از حضور ماده تاریک شک کمی درباره ی وجود آن باقی گذاشته است. بن بست های

اثر برهمکنش ذرات استاندارد تولید شود اما آهنگ تولید به قدری کوچک است که چگالی ماده تاریک هرگز به مقدار تعادل ترمودینامیکی نمی رسد. اگر به ازای انرژی های بالا سطح مقطع تولید ماده تاریک به مقدار مجانبی ثابت میل کند، چگالی ماده تاریک به دمای بازگرمایش وابسته خواهد بود. به عبارت دیگر دمای اولیه پس از بازگرمایش در حافظه ماده تاریک باقی می ماند. اگر واپاشی صورت نگیرد تعداد کل ذرات ماده تاریک ثابت باقی می ماند اما چگالی آن به علت انبساط عالم به صورت $(T/m_x)^3$ کاهش می یابد. معروف ترین کاندیدا برای ماده تاریک که به این صورت تولید می شود ذره فرضی گراویتینو در چارچوب برخی مدل های ابرمتقارن است که برهمکنش آن با معکوس جرم پلانک داده می شود و در نتیجه آهنگ تولید آن بسیار کند می باشد.

محبوب ترین سناریو برای تولید ماده تاریک در جهان اولیه سناریوی Freeze-out است. در این سناریو ذرات ماده تاریک در جهان اولیه به تعادل ترمودینامیکی می رسند اما وقتی دما از حدود 10^9 جرم ذرات کم تر می شود از تعادل ترمودینامیکی خارج می شوند و از آن پس تعداد کل ذرات ماده تاریک ثابت می ماند و در نتیجه چگالی با $(T/m_x)^3$ افت پیدا می کند.

در این سناریو برعکس سناریوی Freeze-in چگالی ماده تاریک به دمای بازگرمایش بستگی ندارد. رسیدن به تعادل ترمودینامیکی، حافظه ماده تاریک از زمان های پیش تر را از بین می برد. چگالی اندازه گیری شده، جرم ماده تاریک را مشخص نمی کند ولی سطح مقطع فنای زوج ماده تاریک بادقت خوبی معین می گردد.

در مورد اسپین ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک هیچ اطلاعی نداریم. هرچند اغلب مدل ها اسپین ماده تاریک را برابر صفر یا $1/2$ فرض می کنند، این فرض هیچ گونه پایه ی مشاهداتی ندارد. ذره فرضی گراویتینو که از جمله کاندیدا های معروف ماده تاریک است اسپین برابر $2/3$ دارد.

نوترینوی استرل کاندیدی ماده تاریک

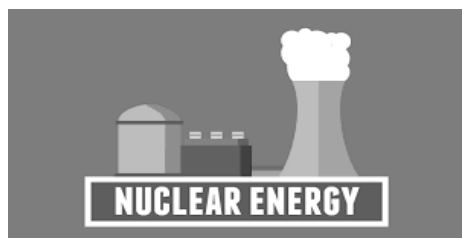
همان طوری که در بخش های قبل اشاره شد نوترینوهای شناخته شده نمی توانند نقش ماده تاریک را ایفا کنند.

مرزهای تاریک یک هویت مجهول

منابع

- ۱- فرزانه، یاسمن، ماده تاریک، پژوهشکده فیزیک، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی
- ۲- فیروزآبادی، سید محمد مهدی، (۱۳۹۳)، مساله ماده تاریک در کیهان، استاد راهنما: سید محمد صادق موحد
۳. Weinberg, S., Cosmology, Oxford University Press (۲۰۰۸)
۴. Dodelson, S., Modern Cosmology, Academic Press (۲۰۰۳)
۵. M. Markevitch et al, «Direct constraints on the dark matter self-interaction cross section from the merging galaxy cluster.
۶. Planck collaboration, «Planck ۲۰۱۳ results. XVI. Cosmological parameters,» Astron Astrophys. ۲۰۱۴.
۷. <https://www.vidoal.com>

موجود در یافتن نظریات و رای مدل استاندارد در حوزه ذرات بنیادی و ردپای احتمالی ذرات فیزیک جدید در مساله ماده تاریک، فیزیکدانان ذرات بنیادی را نیز به این حوزه علاقه‌مند کرده‌است. لذا در سال‌های اخیر نوعی بسیج علمی و حرکتی گسترده برای کاوش ماده تاریک صورت گرفته‌است. تحولات سریع و هیجان‌انگیز علم کیهان‌شناسی در دهه اخیر تازه ابتدای حرکتی است که در آینده‌ای نه چندان دور ما را به درک عمیق‌تری از ساختار کیهان و اجزای سازنده‌اش خواهد رساند.



سه دلیل لزوم استفاده از انرژی هسته‌ای

دلیل اول:

انرژی هسته‌ای جان آدم‌ها را نجات می‌دهد. در سال ۲۰۱۳، یک پژوهش که توسط ناسا صورت گرفته بود نشان داد انرژی هسته‌ای مانع از مرگ حدود ۱,۸ میلیون نفر شده‌است. حتی با در نظر گرفتن تلفات چرنوبیل و فوکوشیما انرژی هسته‌ای همچنان به ازای هر واحدی که تولید می‌شود دارای کم‌ترین آمار مرگ و میر است. اگر چه ضایعات اتمی به شدت سمی و خطرناک هستند اما معمولاً آن‌ها را در یک نقطه انبار می‌کنند در حالی که پیامدهای جانبی سوخت‌های فسیلی به هوا فرستاده می‌شوند و ما هر روزه آن‌ها را استنشاق می‌کنیم، پس تنها با کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی تعداد زیادی از موارد سرطان یا بیماری‌های ریوی و همین‌طور سوانح در معادن ذغال سنگ برطرف می‌شوند. اگر ما بتوانیم بین مواد بسیار خطرناکی که در یک حفرة عمیق دفن می‌شوند و مواد بسیار خطرناکی که در هوا منتشر می‌شوند یکی را انتخاب کنیم، انتخاب مورد اول منطقی‌تر به نظر می‌رسد. هرچند انرژی هسته‌ای خیلی خطرناک‌تر به نظر می‌رسد زیرا یک حادثه اتمی تأثیر فاجعه‌آمیزتری در ذهن می‌گذارد در حالی که ذغال سنگ و نفت قاتلانی خاموش هستند؛ درست مثل نرخ مرگ و میرهای ناشی از سوانح هوایی در برابر تصادفات جاده‌ای. حتی در بهترین حالت ممکن هم دست کم ۴۰ سال طول می‌کشد تا ما بتوانیم ۱۰۰ درصد، از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کنیم. پس تا زمانی که ما همچنان از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنیم انرژی هسته‌ای می‌تواند زندگی‌های بیشتری را نجات دهد.

دلیل دوم:

انرژی هسته‌ای آلاینده‌های دی‌اکسید کربن را کاهش می‌دهد. در رابطه با مسئله تغییرات اقلیمی انرژی هسته‌ای به شکل قابل ملاحظه‌ای کم‌ضررتر از سوخت‌های فسیلی یعنی منبع اصلی انرژی ماست. از سال ۱۹۶۷ تا الان به لطف انرژی هسته‌ای از انتشار حدود ۶۴ گیگا تن گاز گلخانه‌ای به هوا جلوگیری شده‌است و تا اواسط قرن بیست و یکم این میزان می‌تواند به ۸۲-۲۴۰ گیگا تن برسد. مصرف انرژی بشر به طور مداوم در حال افزایش است. براساس پیش‌بینی‌ها در ۱۰ سال آینده تنها چین در هر

فیزیک در زندگی

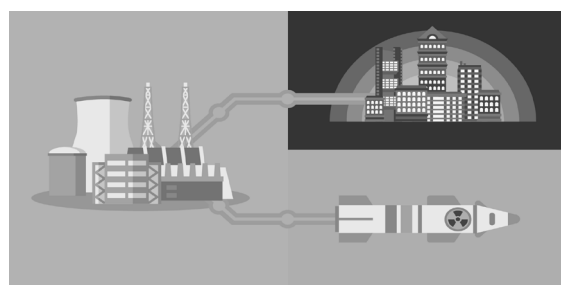
ده روز چیزی معادل یک نیروگاه ذغال سوز ۶۰۰ مگاواتی، افتتاح می‌کند؛ همین حالا هم، چین سالانه حدود ۴ میلیارد تن ذغال سنگ را می‌سوزاند. ذغال سنگ ارزان، نسبتاً فراوان و دسترسی به آن ساده است؛ پس احتمال این که بشر به این زودی‌ها استفاده از آن را متوقف کند بعید به نظر می‌رسد. انرژی هسته‌ای می‌تواند تنها راه برای کاهش آثار تغییرات اقلیمی باشد و جلوی فجایع ناشی از گرمایش جهانی را بگیرد. در مقایسه با سایر کارهایی که می‌کنیم انرژی هسته‌ای نسبتاً پاک است؛ پس حتی اگر کنار گذاشتن انرژی هسته‌ای در بلند مدت فکر خوبی به نظر می‌رسد، استفاده از آن در چند صد سال آینده نسبت به سایر گزینه‌های موجود می‌تواند راه حل مناسبی باشد.

دلیل سوم:

فناوری‌های جدید

شاید فناوری در آینده بتواند تمام مشکلات مربوط به ضایعات اتمی و نیروگاه‌های خطرناک را برطرف کند. راکتورهای هسته‌ای که ما تا به حال از آن‌ها استفاده کردیم اکثراً دارای فناوری‌های کهنه هستند، زیرا نوآوری‌های هسته‌ای در دهه ۱۹۷۰ متوقف شد. مدل‌هایی مثل راکتور توریوم وجود دارند که می‌توانند تمام مشکلات را برطرف کنند. توریوم به میزان فراوانی در دسترس است، تبدیل آن به سلاح‌های هسته‌ای واقعا دشوار است و تا دو مرتبه‌ی بزرگی، کم‌تر از راکتورهای فعلی ضایعات تولید می‌کند؛ ضایعات ناشی از آن هم تنها برای چند صد سال خطرناک هستند که در مقابل چند هزار سال مدت زمان کوتاه‌تری است. این طور برآورد می‌شود که یک تن توریوم همان میزان از انرژی را تأمین کند که با دویست تن اورانیوم یا سه و نیم میلیون تن ذغال سنگ می‌توان به دست آورد. پس گرچه نمی‌توانیم مطمئن باشیم که فناوری هسته‌ای به همه‌ی وعده‌هایش عمل می‌کند، اما به نظر شما بهتر نیست که قبل از کنار گذاشتن راه حلی که می‌تواند بسیاری از مشکلات امروز بشر را برطرف کند، تحقیقات بیشتری انجام بدهیم؟ شاید این چالش آسانی نباشد اما چیزی نیست که قبلاً بر آن غلبه نکرده باشیم. پس به نظر شما ما باید از انرژی هسته‌ای استفاده کنیم؟ در هر تلاش بزرگ بشر خطرات زیادی وجود دارد و ما به جای این که به احساساتمان تکیه کنیم باید آگاهانه تصمیم بگیریم.

vioal.com





کریستال نامرئی

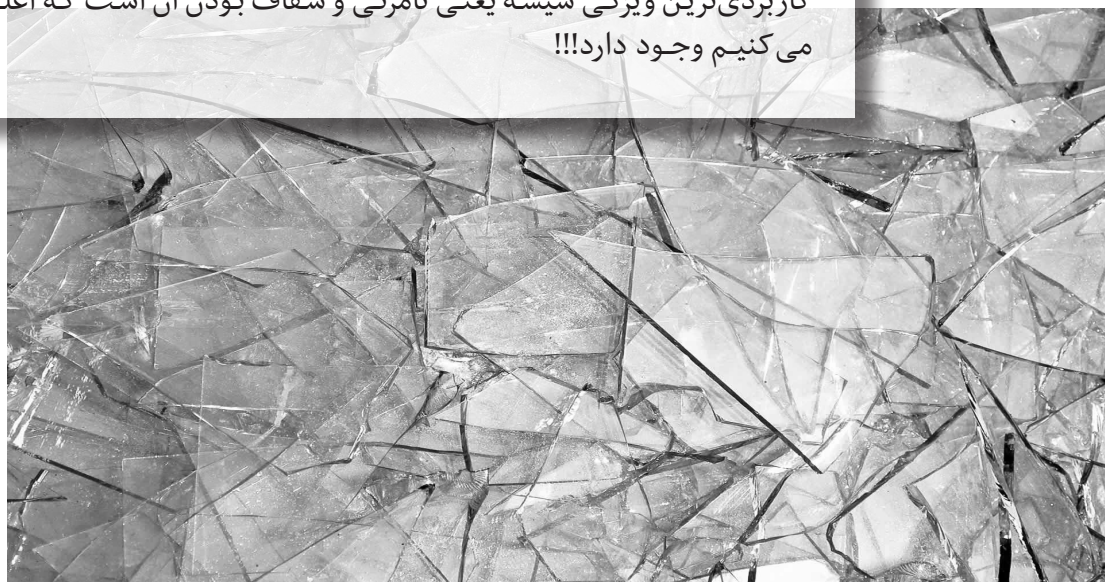
آن سوی یک پنجره شیشه‌ای را بارها و بارها دیده‌اید اما خود پنجره را چگونه؟ یک ذره بین بردارید و به شیشه پنجره با دقت نگاه کنید. تا به حال به این فکر کرده‌اید که چرا ماده‌ای با این ضخامت تا این اندازه شفاف و بی‌رنگ است؟

برای درک این مسئله باید بفهمیم که شیشه چیست و از کجا می‌آید. همه چیز از پوسته‌ی زمین شروع می‌شود جایی که دو عنصر سیلیکون و اکسیژن در آن حضور دارند. این دو عنصر با هم واکنش نشان می‌دهند و دی‌اکسید سیلیکون را به وجود می‌آورند. ساختار منظم مولکول‌های دی‌اکسید سیلیکون، کریستال «کوارتز» را می‌سازد. کوارتز که معمولاً در ماسه یافت می‌شود و اکثر دانه‌های آن را تشکیل می‌دهد بخش اصلی بیش‌تر انواع شیشه‌هاست. البته حتماً شما هم متوجه شده‌اید که شیشه از تکه‌های ریز کوارتز تشکیل نشده‌است و دلیل خوبی هم دارد. اول این که لبه‌ی دانه‌های ماسه و ترک‌های کوچک‌تر در ساختار کریستال، نوری را که به آن‌ها تابیده می‌شود بازتاب و پراکنده می‌کنند اما وقتی کوارتز به اندازه کافی گرما ببیند انرژی اضافی باعث می‌شود تا مولکول‌هایش آن قدر به ارتعاش درآیند که بشکنند و به یکدیگر پیوند بخورند و به یک ماده سیال تبدیل شوند، درست به همان شکلی که یخ‌ها آب می‌شوند؛ اما برخلاف آب، دی‌اکسید سیلیکون مایع پس از خنک شدن، به کریستال جامد تغییر شکل نمی‌دهد. در عوض وقتی مولکول‌های آن انرژی‌شان را از دست می‌دهند قادر نیستند به حالتی نظم یافته دست پیدا کنند و حاصل آن ماده‌ای است که جامد «آمورف» یا «آریخت» نامیده می‌شود. یک ماده جامد با ساختار بی‌نظم، مانند یک مایع که به ملکول‌ها اجازه می‌دهد آزادانه هر شکافی را پر کنند. این امر سطح شیشه را در یک مقیاس ذره بینی هماهنگ می‌کند و اجازه می‌دهد نور بدون این که در جهت‌های مختلف پراکنده شود با آن برخورد کند. اما هنوز توضیح نمی‌دهد که چرا نور می‌تواند از شیشه عبور کند به جای این که مثل اکثر جامدات در آن جذب شود؟

برای توضیح این پدیده باید به سطح زیراتمی برویم. بیش‌تر فضای اتم خالی است؛ در واقع اگر یک اتم را به اندازه یک استادیوم ورزشی در نظر بگیریم هسته اتم مثل یک دانه

نخود وسط زمین استادیوم است و الکترون‌ها دانه‌های ماسه هستند که در صندلی‌های دور دست قرار گرفته اند. به این ترتیب باید فضای زیادی برای عبور نور وجود داشته باشد بدون این که با هیچ یک از این ذرات برخورد کند. در واقع سوال اصلی این نیست که چرا شیشه شفاف است بلکه سوال این جاست که چرا همه مواد شفاف نیستند؟ پاسخ این سوال به سطوح مختلف انرژی مربوط می‌شود که الکترون‌ها در یک اتم می‌توانند در آن قرار بگیرند. ردیف‌های مختلف صندلی را در سکوه‌های مختلف استادیوم در نظر بگیرید. یک الکترون در وهله اول موظف است که در ردیف مشخصی بنشیند اما اگر به اندازه کافی انرژی داشته باشد می‌تواند به یک ردیف بهتر برسد. خوشبختانه جذب یکی از آن فوتون‌های نوری که از اتم عبور می‌کنند می‌تواند انرژی مورد نیاز را به الکترون بدهد اما یک نکته وجود دارد. انرژی گرفته شده از فوتون‌ها باید میزان مشخصی باشد تا یک الکترون را به ردیف جلوتر برساند در غیر این صورت به فوتون‌ها اجازه عبور می‌دهد و این دقیقاً چیزی است که در شیشه اتفاق می‌افتد. ردیف‌ها آن قدر از هم دور هستند که یک فوتون نور مرئی نمی‌تواند انرژی کافی را برای جهش یک الکترون در بین آن‌ها فراهم کند. از طرف دیگر فوتون‌های نور ماورای بنفش میزان کافی از انرژی را به الکترون‌ها می‌دهند و جذب می‌شوند و به همین خاطر است که شما نمی‌توانید از پشت شیشه برنزه شوید. در طول قرن‌ها ویژگی فوق‌العاده‌ی جامد و شفاف بودن به شیشه کاربردهای فراوانی داده‌است؛ از پنجره‌ها گرفته که اجازه می‌دهند نور وارد خانه شود تا لنزهایی که ما را قادر می‌سازند محدودیت ابعاد و اندازه‌ها را بشکنیم و جهان‌های خیلی دور یا خیلی کوچک را ببینیم. دشوار می‌شود تمدن مدرن را در غیاب شیشه تصور کرد. با این حال با وجود اهمیتی که این ماده دارد به ندرت پیش می‌آید که درباره‌ی شیشه و تاثیرات آن فکر کنیم. این دقیقاً به خاطر مهم‌ترین و کاربردی‌ترین ویژگی شیشه یعنی نامرئی و شفاف بودن آن است که اغلب حتی فراموش می‌کنیم وجود دارد!!!

vioal.com



اختلافات علمی دانشمندان غالباً علمی نیست، فرهنگی است.

در هر آزمایش و تحقیقی، چندعامل در نتیجه‌گیری دخالت دارند: خود ماده و موضوع تحقیق، ابزارآلات، تحقیق‌کننده و برنامه (روش تحقیق). مثلاً در زمینه علوم طبیعی، طبیعت موضوع شناخت است که بسیار پیچیده و پر از اسرار است، ابزارآلات در هر دوره‌ای وضع خاصی دارند و خودشان هم گاهی باعث اشتباه می‌شوند، تحقیق‌کننده هم انسان است که بسیار پیچیده‌تر از طبیعت است و پدیده‌ای چند بعدی است و روش تحقیق هم مثل روش راه رفتن در کار رسیدن به مقصد مهم است.

یکی از عوامل اشتباه در کار تحقیق، عجله کردن و بی‌برنامه وارد تحقیق شدن است. مولوی در مثنوی خود، در یک داستان، این وضع را به خوبی نشان داده‌است. مردم یک شهر فیل ندیده بودند و کسی یک فیل می‌آورد و شب آن را در اتاقی تاریک نگه‌می‌دارد که فردا به معرض نمایش بگذارد ولی چند نفر که همان شب می‌خواستند از آن شهر بروند، با اصرار می‌خواستند در همان تاریکی با دست زدن فیل را بشناسند و در نتیجه هر کدام دستشان به جایی از فیل می‌خورد و تصویری خاص خودش، از فیل به دست می‌آورد که می‌تواند تا آخر عمر هم باقی بماند و برایش تبدیل به فرهنگ شود. داستان دیگری هم به صورت طنز نقد کرده‌اند که همین وضع را نشان می‌دهد. یک دانشجوی زیست‌شناسی حشره‌ای جهنده را روی میز کارش گذاشته بود و با زدن ضربه به او می‌گفت بچه! و او هم می‌جهید. بعد، دست و پایش را می‌کند و دوباره روی میز می‌گذارد و ضربه می‌زند ولی حشره دیگر نمی‌جهد. پس در دفتر تحقیقاتش می‌نویسد: وقتی دست و پای حشره‌ای را جدا کنند، گوشش هم کر می‌شود!

عامل دیگر پیدا شدن اختلاف، در بی‌خبری است. بسیاری از اختلافات علمی نتیجه بی‌خبری دانشمندان از یکدیگر و از دوره‌های قبل است. من چندسال پیش در گفت‌وگویی با یکی از اساتید دانشکده فلسفه در آلمان درباره بیگ‌بنگ مطالبی را گفتم که قبول کرد. وقتی عقیده ملاصدراي خودمان را هم برای او توضیح دادم آن را هم قبول کرد و گفت: ((این درست می‌گوید ولی ما او را نمی‌شناسیم)). این گونه بی‌خبری البته قابل قبول نیست زیرا کتابخانه‌های آن‌جا پر است از کتاب‌های شرق و اسلام که در قرن‌های گذشته

برده‌اند و ایشان آن‌ها را مطالعه نکرده‌است. عامل دیگر در پیدا شدن اختلاف، ((بی‌توجهی)) است که به آن ((بی‌اعتنایی)) هم می‌توان گفت. این حالت را من در کتاب ((خدا و فیزیک مدرن)) نوشته دکتر پاول دیویس آمریکایی فهمیدم. از عنوان کتاب معلوم است که ایشان قصد دارد بین ادیان و علوم امروز، هماهنگی و نزدیکی پیدا کند ولی متأسفانه فقط تکیه‌اش روی دین خودش و (مسیحیت) بوده و دین‌های دیگر را مطالعه نکرده‌است. این در حالی است که در چند جای کتاب به نارسایی دینش در مسائل علمی اشاره دارد و می‌نویسد: ((کتاب مقدس که در این باره‌ها ساکت است ... روحانیون و کلیسا که به این مباحث نمی‌توانند جواب بدهند)). حال، چرا به فکر یک دین دیگر نیافتاده و برای این که کتابش ناقص نماند و زحمتش هدر نرود مثلاً از اسلام و قرآن سراغی نگرفته‌است، جای سوال دارد. ولی معلوم است که در این جا باز همان ((بی‌خبری)) کار خودش را کرده و ((تعصب)) بر آن دامن زده و باعث شده دینی به نام اسلام به ذهنش راه پیدا نکند. چون اصولاً مسیحیت معتقد است که تنها دین سالم و خدایی، آسمانی و بهشتی، و دین نجات است و بقیه ادیان همه خرافات و تخیل است و بی‌اعتبارند و با این باورها معلوم است که آقای دیویس در کارش با وجود احساس نقص در دینش در زمینه علوم، لااقل به فکر نگاه کردن به کتاب یک دین دیگر نیافتد و کارش را ناقص و ناتمام رها سازد. این درحالی است که مطالبی در آن کتاب آمده که به نظر من با بعضی مفاهیم قرآنی ما تطبیق می‌کند و من در پاورقی ترجمه آن به این تطابق احتمالی اشاره کرده‌ام.^۱

البته در کار غربی‌ها فقط تعصب دینی نیست که این گونه اشتباهات را به بار می‌آورد بلکه باید دو نوع تعصب دیگر را هم برآن افزود: یکی تعصب ((ابر قدرتی)) که باعث می‌شود به آسانی دیگران را نادیده بگیرند و دیگر تعصب علمی که باعث می‌شود همه یافته‌های خود را درست و کامل و بی‌عیب و نقص بدانند. مگر در سیاست، همین طرز فکر را ندارند؟؟؟

۱. دیویس، پاول: خدا و فیزیک مدرن. ترجمه علی اندیشه. انتشارات سروش. چاپ دوم ۱۳۹۴ - تهران

فیزیک

شعبده باز

فائزه صابی

آن چه رخ می دهد بازی نور و تصویر است!
کنار دیواره های کناری کمد دو آینه ی تخت
وجود دارد.
شخص به هنگام بسته شدن در کمد دو آینه را
مقابل خود قرار می دهد، به طوری که قسمت
جیوه اندودشان به طرف خودش باشد...
و این گونه است که تماشاچیان بازتاب
دیواره های کمد را می بینند و گمان می کنند
کمد خالی ست.

شعبده باز از حضار می خواهد تا کسی داوطلب
شود برای غیب شدن!!!
یک نفر از بین تماشاچیان - که احتمالاً با
شعبده باز هماهنگ است طی یک حرکت
نمایشی - انتخاب می شود؛ داخل کمد جادویی
می رود و شعبده باز در کمد را می بندد.
اجی مجی لا ترجی!!!!!!
در کمد باز می شود...

و
بله! داوطلب غیب شده!
همه ی تماشاچیان در حالی که باورشان
نمی شود شروع می کنند به کف زدن!

شعبده باز در کمد را می بندد...

اجی مجی لا ترجی!!!!!!

در کمد بار دیگر باز می شود...

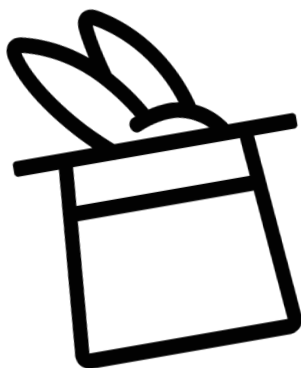
و این بار...

فرد غیب شده داخل کمد دیده می شود!

تشویق حضار و تعظیم شعبده باز...

اما اگر حضار می دانستند چه اتفاقی افتاده

برای فیزیک کف می زدند!





مهم ترین اتفاقات فیزیک در سال ۲۰۱۷

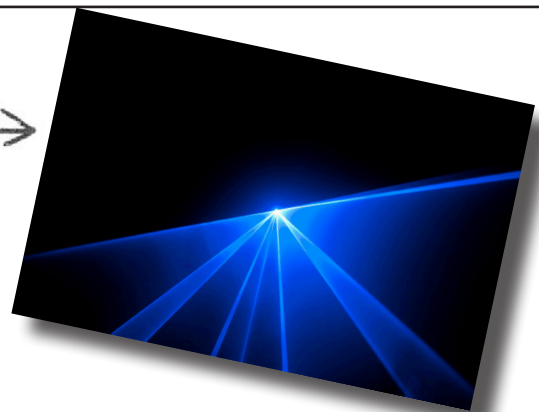


✱ مشاهده‌ی برخورد ستاره‌های نوترونی

بله! این موضوعی بود که درباره آن فقط صحبت می‌شد بدون اینکه شاهده‌ی برای وجود یا رخداد آن در دسترس دانشمندان باشد. برخورد بین دو ستاره‌ی نوترونی برای اولین بار و با استفاده از امواج گرانشی، به شکل دقیقی توسط دانشمندان مشاهده و ثبت شد. این فوق العاده است!

✱ آزمایش اولین لیزر توپولوژیکی

با اسفاده از لیزر هندسی امکان ایجاد هرگونه حفره لیزری برای دانشمندان فراهم شده است. این دستگاه جدید، مجهز به یک منبع نوری مارپیچ اطراف یک حفره است که فاقد هرگونه پراکندگی نوری است (رفتاری مشابه حرکت الکترون‌ها در سطح یک عایق توپولوژیک). این لیزر جدید در طول موج‌های مخابراتی عمل کرده و می‌تواند منجر به بهبود مدارهای فوتونی شود و یا حتی اطلاعات کوانتومی را از پراکندگی محافظت کند.



✱ دورترین نقطه‌ی فضا

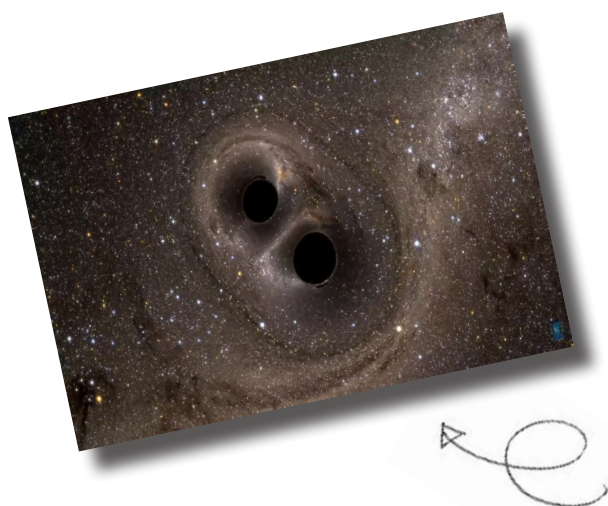
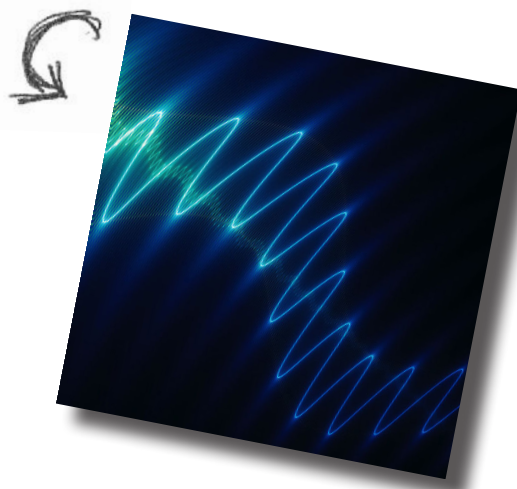
تصور دورترین نقطه قابل مشاهده در کهکشان راه شیری از دید ما واقعیت بسیار ببعیدی به نظر می‌رسید، اما خبرهای بسیار هیجان‌انگیز حاکی از این بود که اخترشناسان توانسته‌اند فاصله‌ی یک گروه از ستارگان را ۶۶,۰۰۰ سال نوری دورتر و در طرف دیگر کهکشانمان اندازه‌گیری کنند.



در دنیای فیزیکدانان چه می‌گذرد؟

✱ پیشرفت‌های جدید در شناسایی انفجارهای سریع رادیویی

انفجار سریع رادیویی یکی از مهمترین معماهای پیش روی دانشمندان است. آن‌ها سیگنال‌های رادیویی بسیار قدرتمندی هستند که طول عمری در حد میلی‌ثانیه دارند. این سیگنال‌ها قابل پیش‌بینی یا تشخیص نیستند. در سال جاری، برای نخستین بار چنین انفجارهایی دو بار از یک مکان، مشاهده شدند. این اتفاق عجیب به دانشمندان این امکان را داد تا با ثبت مشاهدات جدید، سعی در یافتن منشا این امواج نمایند. اگرچه هنوز اطلاعات زیادی در اختیار دانشمندان قرار ندارد، اما این یک گام رو به جلو برای حل معماست.

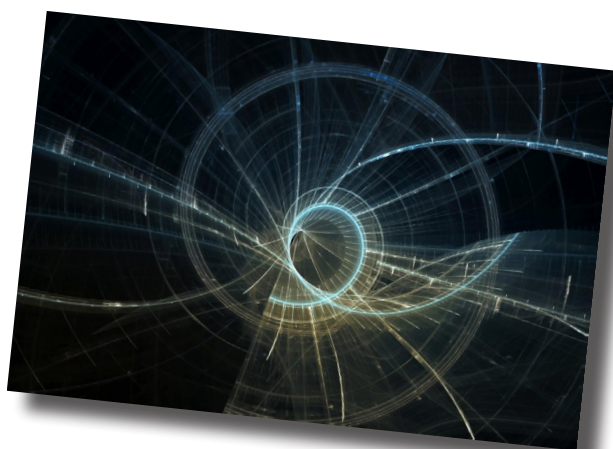


✱ مشاهده‌ی سیاهچاله‌های دوتایی عظیم

به لطف کشف امواج گرانشی، وجود سیاهچاله‌های دوتایی به اثبات رسید، اما ایده‌ی وجود سیاهچاله‌های فوق العاده بزرگ دوتایی تاکنون تنها به صورت نظری معتبر بود. در سال ۲۰۱۷ دانشمندان موفق به کشف و مشاهده‌ی یک سیاهچاله دوتایی فوق العاده بزرگ شدند که در اثر ادغام بین دو کهکشان (که هر کدام دارای یک سیاهچاله فوق العاده در مرکز خود بودند) ایجاد شده بود.

✱ ارتباطات کوانتومی بدون جابجایی ذرات

در سال ۲۰۱۷ گروهی از دانشمندان به شکل نظری و آزمایشگاهی، موفق به انتقال اطلاعات با استفاده از فیزیک کوانتومی و بدون تبادل ذرات شدند. از سال‌ها قبل، طرح مخابرات کوانتومی بدون نیاز به انتقال ذره فیزیکی، توسط گروهی از دانشمندان پیشنهاد شده بود. اگرچه امکان چنین پدیده‌ای مورد تشکیک دانشمندان بود، اما بالاخره گروهی از فیزیکدانان، موفق به انتقال یک عکس ساده بدون مداخله (تقریباً) هیچ فوتونی در این فرایند شدند.



دردنیای فیزیکدانان چه می‌گذرد؟



✱ ساخت بلورهای زمانی

مانند بلورهای معمولی که محور تقارنی خود را به طور خود به خودی از دست می‌دهند، بلورهای زمانی (Time crystals) نیز خود به خود تقارن زمانی‌شان را دست می‌دهند. اولین بلورهای زمانی، از پنج سال پیش پیش‌بینی شده بودند و در حال حاضر دو سیستم مبتنی بر اسپین با خواص شبیه به بلورهای زمانی ایجاد شده است. میخائیل لوکین از دانشگاه هاروارد از نقص‌های اسپینی موجود در الماس برای ایجاد بلورهای زمانی استفاده کرده است.

✱ میکروسکوپ‌های با وضوح بسیار بالا

گروهی از دانشمندان موفق به ساخت میکروسکوپ‌های با وضوح و قدرت تفکیک بسیار بالا شده‌اند که توانایی ردیابی مولکول‌های زیستی را در سلول‌های زنده و به طور لحظه‌ای دارند. این تکنیک جدید که به MINFLUX معروف است، به نوعی ادغام کننده‌ی دو تکنیک برنده‌ی جایزه‌ی نوبل است. MINFLUX تصاویری در ابعاد نانومتر را با وضوح و سرعت بسیار بالاتری فراهم می‌کند و علاوه بر این، میزان نشر فوتون‌ها در این تکنیک نیز کمتر از



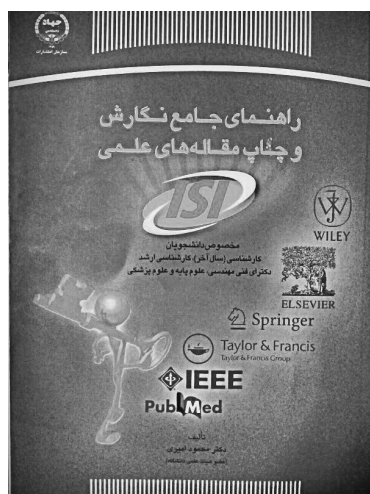
✱ ایجاد ایزوتوپ‌های پرتوزا با رعد و برق

یکی از جالب‌ترین اتفاقات فیزیکی امسال کشف شواهدی جدید از اثر رعد و برق در ایجاد ایزوتوپ‌های پرتوزا در زمین است. توانایی رعد و برق‌های شدید در ایجاد نوترون‌ها و اشعه‌ی گاما از قبل برای دانشمندان اثبات شده بود. دانشمندان معتقدند که از واکنش میان این اشعه‌ها و هسته‌های اتم‌های نیتروژن موجود در جو زمین، امکان تولید هسته‌های پرتوزا نیز وجود دارد. گروهی از دانشمندان برای اثبات این ادعا، یک دقیقه پس از رخ دادن رعد و برق شدید در جو زمین، سیگنال‌های اشعه گاما را که به دلیل واپاشی هسته‌های موجود در جو ایجاد شد، اندازه‌گیری نمودند. این اندازه‌گیری‌ها شواهدی بر تولید هسته‌های پرتوزا مانند ^{13}N است.



منابع

<http://phys.org>
<http://www.deeplook.ir>



راهنمای جامع نگارش و چاپ مقاله‌های علمی

نوشته: دکتر محمود امیری
انتشارات جهاد دانشگاهی

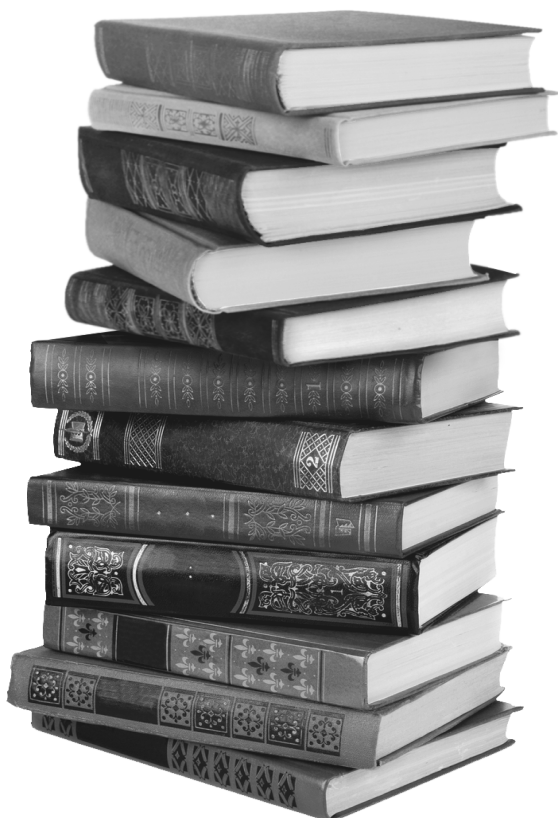
مقالات علمی انواع مختلفی دارند؛ مثل مقالات مجله (ژورنال)، مقالات تبادل علمی، مقالات اصیلی (Original papers) که همگی در مجلات معتبر علمی در دنیا به چاپ می‌رسند. اما هدف از نگارش مقالات علمی چیست؟ ساده‌ترین و درواقع پیش‌پا افتاده‌ترین جواب است که با چاپ مقاله‌های علمی معتبر می‌توان از شهری به شهر دیگری عزیمت کرد و یا آن‌که اساتید و یا اعضای هیئت علمی ترفیع مقام بگیرند و یا این‌که نمره خوبی به آن‌ها تعلق می‌گیرد! این‌ها دلایل متداولی برای چاپ مقالات علمی هستند اما دلایل مناسبی نیستند.

هدف از نوشتن مقاله این است که دانش و یافته‌های بدست‌آمده از پژوهش و تحقیق را به نام خود ثبت و به ترویج علم کمک کنید. چاپ نتایج تحقیق، دانش را افزایش می‌دهد، به ایجاد پرسش‌های علمی کمک کرده و دیگران را تشویق می‌کند تا با تلاش بیشتر

افق‌های جدید علم را بکشایند.

اگرچه پژوهش‌های زیادی انجام می‌شود و به نتیجه می‌رسد اما درصد کمی از آن‌ها چاپ می‌شوند و درصد بسیار کمتری خوانده می‌شوند. هدف اصلی این کتاب آن است که به خوانندگان کمک کند تا بتوانند نتایج حاصل از تحقیقات خود را به درستی در قالب مقاله علمی چاپ کنند.

اگر درحال انجام پژوهشی بی‌نظیر هستید و یا در آینده قصد آن را دارید، برای چاپ نتایج خود در مجلات علمی معتبر اقدام نمایید، اما قبل از آن با نحوه نگارش و فرایند چاپ مقاله خود آشنا شوید؛ این کتاب راهنمای خوبی برای شما خواهد بود.



نور چیست؟

ماهیت ذره‌ای:

آیزاک نیوتن در کتاب خود «رساله‌ای درباره نور» نوشت پرتوهای نور ذرات کوچکی هستند که از یک جسم نورانی منتشر می‌شوند. احتمالاً آیزاک نیوتن نور را به این دلیل به صورت ذره در نظر گرفت که در محیط‌های همگن به نظر می‌رسد در امتداد خط مستقیم منتشر می‌شوند که این امر دلیل به وجود آمدن سایه است.

ماهیت موجی:

هم‌زمان با نیوتن، کریستیان هویگنس طرفدار توضیح دیگری بود که در آن حرکت نور به صورت موجی است و از چشمه‌های نوری به تمام جهات پخش می‌شود به خاطر داشته باشید که هویگنس با به کار بردن امواج اصلی و موجک‌های ثانوی، قوانین بازتاب و شکست را تشریح کرد. حقایق دیگری که با تصور موجی بودن نور توجیه می‌شوند پدیده‌های تداخلی هستند مانند به وجود آمدن فریزهای روشن و تاریک در اثر بازتاب نور از لایه‌های نازک و یا پراش نور در اطراف مانع.

ماهیت الکترومغناطیس:

بیش‌تر به خاطر نبوغ جیمز کلارک ماکسول است که ما امروزه می‌دانیم نور نوعی انرژی الکترومغناطیسی است که معمولاً به عنوان امواج الکترومغناطیسی توصیف می‌شود. گسترده کامل امواج الکترومغناطیسی شامل: موج رادیویی، تابش فروسرخ، نور مرئی از قرمز تا بنفش، تابش فرابنفش، اشعه ایکس و اشعه گاما می‌باشد.

ماهیت کوانتومی نور:

طبق نظریه مکانیک کوانتومی نور، که در دو دهه اول قرن بیستم به وسیله پلانک و آلبرت انیشتین و بور برای اولین بار پیشنهاد شد، انرژی الکترومغناطیسی کوانتیده است، یعنی جذب یا نشر انرژی میدان الکترومغناطیسی با مقادیر گسسته‌ای به نام «فوتون» انجام می‌گیرد.

نظریه مکملی

نظریه جدید نور شامل اصولی از تعاریف نیوتون و هویگنس است. بنابراین گفته می‌شود که نور خاصیت دو گانه‌ای دارد، برخی از پدیده‌ها مثل تداخل و پراش خاصیت موجی آن را نشان می‌دهد و برخی دیگر مانند پدیده فوتوالکتریک، پدیده کامپتون و ... با خاصیت ذره‌ای نور قابل توضیح هستند.

سایه چیست؟

سایه ناحیه تاریکی است که از واقع شدن جسمی کدر در اطراف چشمه نور ناشی می‌شود.

بخش تقاطع یک سایه، یک محیط مرئی دو بعدی یا تصویر وارونه یک جسم می‌باشد که جلوی نور قرار گرفته‌است. اجسام آسمانی زمانی که قدر نجومی آن‌ها مساوی یا کوچک‌تر از منفی چهار (۴-) باشد، می‌تواند سایه مرئی بیندازد. هم اکنون تنها اجرام آسمانی که قادر به تولید سایه‌های قابل رؤیت بر روی زمین هستند، خورشید، ماه و تحت شرایطی سیاره ناهید می‌باشد.

حال با توجه به تعاریف فوق از سایه و نور به دونکته اساسی پی می‌بریم: اول این که نور حامل انرژی است و دوم این که برای صحبت راجع به وزن سایه باید راجع به وزن نور اطلاعاتی به دست آوریم زیرا سایه همان نبود نور است.

وقتی نور به یک جسم برخورد می‌کند مقدار خیلی کمی فشار به جسم وارد می‌کند. زمانی که نور به سطح زمین برخورد می‌کند هر اینچ مربع از زمین با نیرویی برابر نیم میلیاردیوم اینچ مربع فشار داده می‌شود. در یک روز آفتابی شهر شیکاگو ۱۴۰ کیلوگرم بیش‌تر وزن دارد. فقط به این خاطر که نور خورشید به آن نیرو وارد می‌کند.

در فضا چون نور خورشید موانعی مثل اتمسفر یا میدان مغناطیسی زمین سرراش نیست اندازه‌ی نیرو بزرگ‌تر هم می‌شود. یک فضاپیما که از زمین به سمت مریخ می‌رود توسط نور خورشید هل داده می‌شود تا جایی که هزار کیلومتر انحراف مسیر پیدا می‌کند.

بادبان‌های نوری نیز توسط نیروی ناشی از نور کار می‌کنند.

همان طور که باد برهرچه بوزد آن را فشار می‌دهد، نور نیز برهرچه بتابد به آن نیرو وارد می‌کند. این نیرو ناشی از فشار فوتون‌های نور است که بر هر جسمی که آن را جذب یا بازتاب کند وارد می‌شود؛ اما این فشار آنقدر ناچیز است که به سختی اجسام را به حدی حرکت می‌دهد که برای چشم ما قابل تشخیص باشد. اما اگر میزان نور کافی، تابش دائم و بادبان‌های نوری به حد کافی بزرگ باشند و زمان کافی نیز در اختیار داشته باشیم، فضاپیمایی که به بادبان نوری مجهز باشد می‌تواند به سرعتی چنان بالا برسد که سفرهای میان ستاره‌ای را ممکن می‌سازد.

حالا با توجه به این که سایه نبود نور است پس می‌توان نتیجه گرفت که مساحتی که توسط سایه تحت پوشش قرار می‌گیرد از نظر فنی وزن کم‌تری نسبت به مساحتی که توسط نور هل داده می‌شود دارد.

منابع

<http://bigbangpage.com/graphmedia.org>



deltamagazine.blog.ir



$$\begin{aligned}
E_k &= \frac{1}{2} m v^2 \quad \frac{q \phi_B}{\mu_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \mu_{21} \quad \rho V = n R T \quad \vec{\psi} = \iint d\vec{s} = A \vec{D} \quad H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda} \\
M_e &= \sigma T^4 \quad \Phi_e = \frac{L}{4\pi r^2} \quad \frac{\Delta \phi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda_1} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda_1} \quad v = c/\lambda \quad \Phi = NBS \\
-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V\psi &= E\psi \quad \frac{d\psi}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{i k x} \right) = \frac{i k}{\sqrt{2\pi}} e^{i k x} \\
U_{ef} &= \frac{U_m}{\epsilon_1 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \quad U = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{q} = \frac{V_A - V_B}{q} \quad X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L \quad F_g = \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi d} \lambda \\
\vec{B} &= \mu_0 \frac{NI}{2r} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad \frac{q E_e - k \frac{Q}{r}}{2\pi r m_e} = \frac{q}{m_e} \quad \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_m}{N_A} \quad E = \frac{E_c}{N_A} \int \sin(\omega t + \phi) dy \\
K &= \frac{1}{2} m v^2 \quad \mu_0 = \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_r}{M_m} 10^{-3} \quad \nu_e = \frac{q}{N_A} \quad E = \frac{E_c}{N_A} \int \sin(\omega t + \phi) dy \\
\lambda &= \frac{h}{p} \quad \lambda_e = \lambda_0 (1 + d \Delta t) \quad I = \frac{U_e}{R + R_i} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \frac{d}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \quad \omega = 2\pi f \\
\sqrt{2e U_m e} \quad R &= \rho \frac{L}{S} \quad E = mc^2 \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} \\
f_0 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \psi(\alpha) = \sqrt{2/L} \sin \frac{n\pi x}{L} \quad E = \frac{1}{2} \hbar \omega_m \quad \beta = \frac{\Delta I_c}{I_c} \quad \phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \frac{\mu_1}{x} + \frac{\mu_2}{x'} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\nu} \\
\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} &= \mu_0 \iint d\vec{s} \cdot \vec{S} \quad \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) \quad \frac{\Delta I_B}{I_B} = \frac{\Delta \phi}{\phi} = \frac{\Delta \phi}{\phi} \quad \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q^* \\
C(S) &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M_m}} = \sqrt{\frac{3R_m T}{M_m}} 10^{-3} \quad E = \hbar k^2 \quad 1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ AU}}{r} \quad S = \frac{U}{I} \quad F_v = \int F_h \\
\lambda &= \frac{h m_2}{T} \quad F_h = Shpg \quad \frac{1}{\sigma} = \frac{Q}{M} \quad M = F d \cos \alpha \quad R \\
\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_1 &= \frac{2 \cos \theta_1 \cos \theta_2}{\cos(\theta_1 - \theta_2) \sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad S_{I_m}^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_c} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right] \quad \lambda^* T = b \\
E_y &= E_0 \sin(k_y - \omega t) \quad R = R_0 \sqrt{A} \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad \rho = \frac{E}{C} = \frac{\hbar^2}{C} \quad \frac{h}{\lambda} = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \\
S &= \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \quad \vec{r} \cdot \vec{r} = r^2 \quad \rho_1 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_1 r^2 \quad \rho_2 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_2 r^2 \quad \rho_1 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_1 r^2 \quad \rho_2 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_2 r^2
\end{aligned}$$

چاپ هفتم مجله ی علمی دلتا

خرداد ماه یک هزار و سیصد و نود و هفت

delta.mag@iust.ac.ir

deltamagazine.blog.ir

قیمت نشریه ۲۵۰۰ تومان

$$\begin{aligned}
E_k &= \frac{1}{2} m v^2 \quad \frac{q \phi_B}{\mu_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \mu_{21} \quad \rho V = n R T \quad \vec{\psi} = \iint d\vec{s} = A \vec{D} \quad H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda} \\
M_e &= \sigma T^4 \quad \Phi_e = \frac{L}{4\pi r^2} \quad \frac{\Delta \phi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda_1} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda_1} \quad v = c/\lambda \quad \Phi = NBS \\
-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V\psi &= E\psi \quad \frac{d\psi}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{i k x} \right) = \frac{i k}{\sqrt{2\pi}} e^{i k x} \\
U_{ef} &= \frac{U_m}{\epsilon_1 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \quad U = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{q} = \frac{V_A - V_B}{q} \quad X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L \quad F_g = \frac{\mu_1 \mu_2}{2\pi d} \lambda \\
\vec{B} &= \mu_0 \frac{NI}{2r} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \quad \frac{q E_e - k \frac{Q}{r}}{2\pi r m_e} = \frac{q}{m_e} \quad \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_m}{N_A} \quad E = \frac{E_c}{N_A} \int \sin(\omega t + \phi) dy \\
K &= \frac{1}{2} m v^2 \quad \mu_0 = \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_r}{M_m} 10^{-3} \quad \nu_e = \frac{q}{N_A} \quad E = \frac{E_c}{N_A} \int \sin(\omega t + \phi) dy \\
\lambda &= \frac{h}{p} \quad \lambda_e = \lambda_0 (1 + d \Delta t) \quad I = \frac{U_e}{R + R_i} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \frac{d}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \quad \omega = 2\pi f \\
\sqrt{2e U_m e} \quad R &= \rho \frac{L}{S} \quad E = mc^2 \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_1 \mu_1}} \\
f_0 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \psi(\alpha) = \sqrt{2/L} \sin \frac{n\pi x}{L} \quad E = \frac{1}{2} \hbar \omega_m \quad \beta = \frac{\Delta I_c}{I_c} \quad \phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \frac{\mu_1}{x} + \frac{\mu_2}{x'} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\nu} \\
\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} &= \mu_0 \iint d\vec{s} \cdot \vec{S} \quad \vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) \quad \frac{\Delta I_B}{I_B} = \frac{\Delta \phi}{\phi} = \frac{\Delta \phi}{\phi} \quad \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q^* \\
C(S) &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M_m}} = \sqrt{\frac{3R_m T}{M_m}} 10^{-3} \quad E = \hbar k^2 \quad 1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ AU}}{r} \quad S = \frac{U}{I} \quad F_v = \int F_h \\
\lambda &= \frac{h m_2}{T} \quad F_h = Shpg \quad \frac{1}{\sigma} = \frac{Q}{M} \quad M = F d \cos \alpha \quad R \\
\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_1 &= \frac{2 \cos \theta_1 \cos \theta_2}{\cos(\theta_1 - \theta_2) \sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad S_{I_m}^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_c} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right] \quad \lambda^* T = b \\
E_y &= E_0 \sin(k_y - \omega t) \quad R = R_0 \sqrt{A} \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad \rho = \frac{E}{C} = \frac{\hbar^2}{C} \quad \frac{h}{\lambda} = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \\
S &= \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} \quad \vec{r} \cdot \vec{r} = r^2 \quad \rho_1 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_1 r^2 \quad \rho_2 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_2 r^2 \quad \rho_1 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_1 r^2 \quad \rho_2 \vec{r} \cdot \vec{r} = \rho_2 r^2
\end{aligned}$$