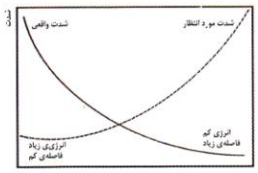
خیلی‌ها کوشیده‌اند نظریه‌ای تدوین کنند که نشان دهد با افزایش انرژی، قدرت نیروی قوی کاهش می‌یابد. برندگان نوبل سال ۲۰۰۴ نظریه‌ای ارائه کردند که علامت منفی در آن لحاظ شده است. هنگامی که فاصله‌ی میان کوارک‌ها به صورت نمایی به صفر نزدیک می‌شود، نیرو چنان ضعیف می‌شود که کوارک تقریباً مانند ذره‌ای آزاد رفتار می‌کند.

$$\beta(g) = -\frac{g^3}{16\pi^2}\left(\frac{11}{3}N_c - \frac{4}{3}\frac{N_F}{2}\right)$$

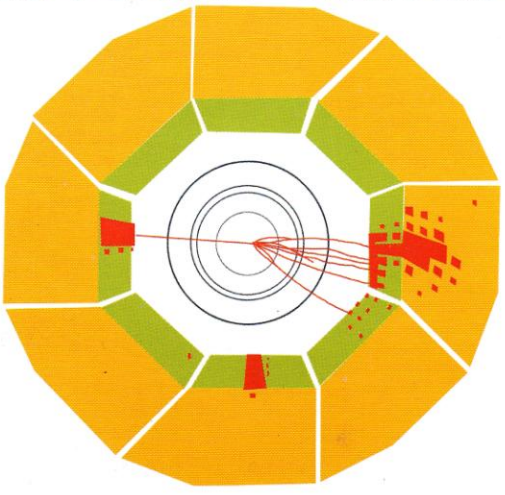


نظریه‌ای یگانه برای همه‌ی نیروها؟

اکنون راه برای توصیف بنیادی‌ی نیروهای طبیعت در آینده باز شده است. نیروهای قوی،ضعیف، و الکترومغناطیسی نکته‌های مشترک بسیار دارند و شاید جنبه‌های گوناگون یک نیرو باشند. اگر انرژی‌ی آنها بسیار زیاد باشد قدرت آنها یکسان جلوه می‌کند، به ویژه اگر ذره های ابر متقارن وجود داشته باشند. اگر نظریه‌هایی که ماده را به صورت ریسمان‌های کوچک نوسانگر در نظر می‌گیرند درست از آب در بیایند شاید حتی بتوان گرانش را هم در این نظریه گنجاند.

نظریه رنگ‌های واقعی جود را نشان می‌دهد.

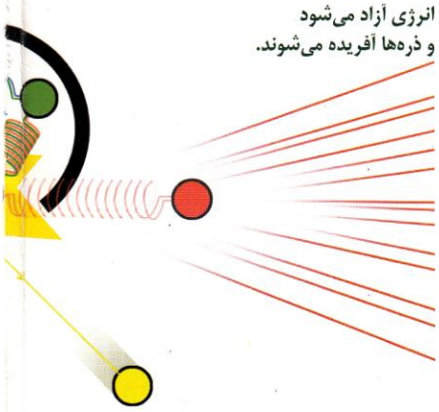
پی آمد برخورد هر انرژی یک پروتون و یک الکترون آنگونه که در آزمایش H1 در آزمایشگاه DESY در هامبورگ دیده شده است. مقطع آزمایش عمود بر باریکه‌های برخوردکنندهٔ پروتون‌ها و الکترون‌ها نشان داده شده است. الکترون با یکی از کوارک‌های درون پروتون برخورد کرده است و باران جالب توجهی از ذرات به گونه‌ای خلق الساعه با انرژی ذخیره شده در میدان نیروی گلوئون تولید شده است که دربارهٔ کوارک مصدوم اطلاعاتی می‌دهد. ذره‌های باردار در باران در میدان مغناطیسی قوی آزمایش انحراف می‌یابند.



رابطه‌ی رنگین!

ظاهراً گاهی سه کوارک درون پروتون می‌توانند به صورت آزاد آشکار شوند ولی تاکنون کوارک آزاد مشاهده نشده است. ویژگی کوانتوم مکانیکی کوارک‌ها «رنگ» خوانده می‌شود. کوارک از راه مبادله‌ی گلوئون‌ها (چسب طبیعت) با یکدیگر برهم کنش دارند.

انرژی آزاد می‌شود
و ذره‌ها آفریده می‌شوند.



AZARAKHSH
آذرخش
گاهنامه انجمن معلمان فیزیک استان فارس
سال اول - شماره‌ی سوم - پاییز هشتاد و چهار

چرا اینشتین نمی افتد؟

T = ۲۷۳ K

به مناسبت سال جهانی فیزیک

۲۰۰۵م - ۱۳۸۴ش

design by : parax & 2243666

AZARAKHSH
آذرخش
گاهنامه انجمن معلمان فیزیک استان فارس

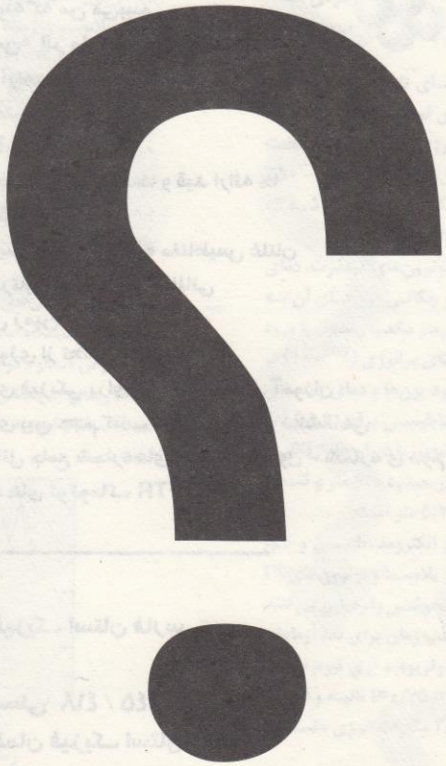
بسم الله الرحمن الرحیم

در این شماره می‌خوانید:

عنوان	صفحه
۱) سخن سردبیر	۲
۲) برندگان جایزه‌ی نوبل فیزیک ۲۰۰۵	٤
۳) چه چیزی کمیت اندازه‌گیری را محدود می‌کند؟	۵
٤) سال جهانی‌ی فیزیک ۲۰۰۵ اینشتین در سده‌ی بیست‌و یکم	۱۲
۵) جهان آنگونه که من می‌بینم	۱۵
۶) «ساعت من» اثر مارک تواین و نسبیت	۱۷
۷) نقص در آینه‌ی جهانی / مقدمه	۱۸
۸) جهان ذرات خرد	۲۰
۹) نقص در آینه‌ی جهانی	۲٤
۱۰) کشیدن جعبه / ارائه قیدها و قید ارائه ها	۳۵
۱۱) از آبشار نیفتیم!	۳۷
۱۲) یک آزمایش جالب و ساده مغناطیس غلتان	٤۰
۱۳) حرکت پرتابی بدون توابع مثلثاتی	٤۰
۱٤) مغناطیس زمین	٤۲
۱۵) نانوتکنولوژی از تحقیق تا تولید	٤۷
۱۶) چالش‌های فیزیکی برای دبیران و دانش آموزان	۵۵
۱۷) مقایسه‌ای بین حجم کتاب فیزیک و پیش دانشگاهی	۵۶
۱۸) حل مسائل جامع شماره‌های پیش (سال اول - شماره ی دوم)	۵۹
۱۹) دستاوردهای توکوماک TFTR	۶۳

آذرخش
گاهنامه انجمن معلمان فیزیک استان فارس
سال یکم شماره سوم
نشانی: شیراز، صندوق پستی ٤۱۸ / ۷۱۶٤۵
صاحب امتیاز: انجمن معلمان فیزیک استان فارس
مدیر مسئول: صیاد رزم کن
سردبیر: علی معصومی
صفحه آرا: آزیتا محمدپور

سخن سردبیر



هزار آزمایش هم نمی‌تواند درستی‌ی
ادعای مرا ثابت کند.
یک آزمایش می‌تواند نادرستی‌ی
آن را ثابت کند!

A. Einstein

برندگان جایزه نوبل فیزیک ۲۰۰۵

جان ال. هال
از دانشگاه کلرادو

تئودور و. هنش
از مؤسسه ماکس پلانک

روی. جی. گلابر
از دانشگاه هاروارد

فرهنگستان پادشاهی‌ی علوم سوئد نیمی از جایزه نوبل فیزیک امسال را به خاطر ایجاد یک چارچوب ریاضی بر پایه فیزیک کوانتومی برای توصیف رفتار فوتون‌ها به روی جی.گلاوبر ۸۰ ساله اعطا کرد.

تئودور و. هنش ۶۳ ساله از مؤسسه نورشناسی کوانتومی ماکس پلانک و جان ال. هال ۷۱ ساله از دانشگاه کلرادو به خاطر ساختن ابزارهای لیزری و اندازه‌گیری بسامد نور با ۱۵ رقم اعشار دقت، نیم دیگر جایزه را بردند.

کار نظری گلاوبر به صورت پایه‌ی بسیاری از اصول علم نورشناسی کوانتومی درآمده است و شگردها و ابزارهایی که هنش وهال آفریده‌اند به ویژه «شانه بسامدهای نوری» به دانشمندان فرصت می‌دهد تا همه چیز را از سرعت نور گرفته تا طول متر با دقتی بی‌سابقه تعریف کنند.

ابداع لیزر در ۱۹۶۰ بر کار این سه دانشمند تأثیری ژرف گذاشت و گلاوبر را به پژوهش در ساختار نور وهنش و هال را به کسب ابزارهایی برای کشف‌های بعدی خود برانگیخت.

جرالد گابری یلز یکی از دوستان گلاوبر و همکار هنش می‌گوید: «بسیار خوشحالم. بسیاری از ما با یادگیری‌ی ماهیت کوانتومی نور که روی گلاوبر پایه‌گذار آن شد رشد کرده‌ایم. تدهنش کارهای جذابی با لیزر صورت داده است و جان هال به نظر من قهرمانی است که شگردهای هوشمندانه لیزری او در همه‌جا کاربرد دارد.» کار هر سه دانشمند از صورت‌بندی‌های اولیه نور به منزله بسته یا کوانتوم‌های انرژی که بعداً فوتون خوانده شدند سرچشمه گرفته است.

چه چیزی کمیت اندازه گیری‌پذیر را محدود می کند؟

ذره یا موج؟

ما بیشترین آگاهی‌ی خود را از جهان پیرامون از رهگذر نور به دست می‌آوریم و نور از موج‌های الکترومغناطیسی تشکیل می‌شود. به یاری نور راه خود را پیدا می‌کنیم و کهکشان‌های دور را می‌بینیم. نورشناسی ابزارکار فیزیکدان‌ها با پدیده نور است. اما نور چیست و انواع نورها با هم چه تفاوت‌هایی دارند؟ نوری که از شمع تابش می‌شود با نوری که در دستگاه پخش CD گسیل می‌شود چه فرقی دارد؟ طبق نظر اینشتین سرعت نور در خلاء ثابت است. آیا می‌توان نور را برای اندازه‌گیری زمان بادقتی بیشتر از دقت ساعت‌های اتمی‌ی امروزی به کارگرفت؟ برندگان جایزه‌ی نوبل امسال به این پرسش‌ها پاسخ داده‌اند.

در سال‌های پایانی‌ی سده نوزدهم باور بر این بود که پدیده‌های الکترومغناطیسی را می‌توان با نظریه‌هایی که جیمز کلرک مکس ول فیزیکدان اسکاتلندی ارائه کرده بود توضیح داد. مکس ول نور را موج می‌دانست. اما هنگامی‌که تلاش برای فهم تابش اجسام تابان مانند خورشید آغاز شد، دشواری نامنتظری پیش آمد. توزیع شدت رنگ‌ها به هیچ روی با نظریه‌هایی که بر پایه‌ی کار اصلی مکس ول تدوین شده بود توافق نداشت. در نور خورشید باید چیزهایی فراسوی تابش‌های بنفش و فرابنفش که در آن مشاهده شده بود وجود داشته باشد.

ماکس پلانک برنده جایزه نوبل ۱۹۱۸ این معما را در ۱۹۰۰ حل کرد و رابطه‌ای به دست آورد که به صورتی‌تمام و کمال با توزیع طیفی‌ی مشاهده شده توافق داشت.

پلانک توزیع را به منزله‌ی نتیجه‌ی حالت ارتعاشی‌ی درونی‌ی ماده‌ی ملتهب توصیف می‌کرد. اینشتین صد سال پیش در یک کار مشهور خود نشان داد که انرژی تابش یعنی نور هم به صورت بسته‌های منفرد انرژی یا کوانتوم وجود دارد. هنگامی که یکی از اینگونه بسته‌های انرژی وارد سطح فلز می‌شود، انرژی آن به الکترون منتقل می‌شود که آزاد می‌شود و از ماده بیرون می‌آید. این همان پدیده فوتو الکتریک است که جایزه نوبل ۱۹۲۱ را نصیب اینشتین کرد.

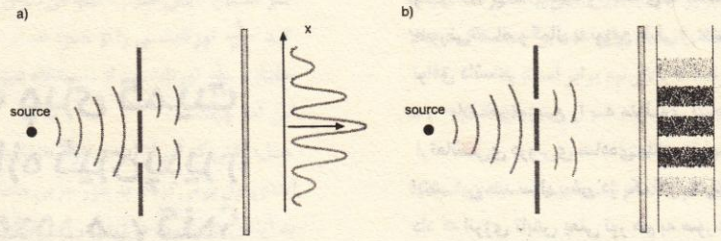
طبق فرضیه‌ی اینشتین هر بسته‌ی انرژی که بعداً فوتون خوانده شد، همه‌ی انرژی خود را تنها به یک الکترون می‌دهد. پس با دیدن و شمردن الکترون‌ها یعنی جریان الکتریکی خروجی از سطح فلز می‌توانیم کوانتوم‌های موجود در تابش را بشماریم. تقریباً همه ردیاب‌های بعدی نور بر پایه این پدیده استوار شدند.

در سال‌های ۱۹۲۰ نظریه کوانتومی با دشواری‌های بسیاری روبه‌رو شد. این دشواری‌ها تا ارائه‌ی نظریه‌ی الکترودینامیک کوانتومی (QED) به وسیله‌ی برندگان نوبل ۱۹۶۵، یعنی تومواگا، شوینگر و فین‌من رفع نشد. QED به صورت دقیق‌ترین نظریه در فیزیک درآمد و محور گسترش فیزیک ذرات شد. در آغاز، کاربرد QED در مورد نور مرئی را غیرضروری می‌دانستند و با این‌گونه نور تنها به صورت نوعی

حرکت موجی معمولی باچند تغییر کاتوره‌ای در شدت آن برخورد می‌کردند. توصیف کوانتومی‌ی مفصل این پدیده بیهوده به شمار می‌آمد.

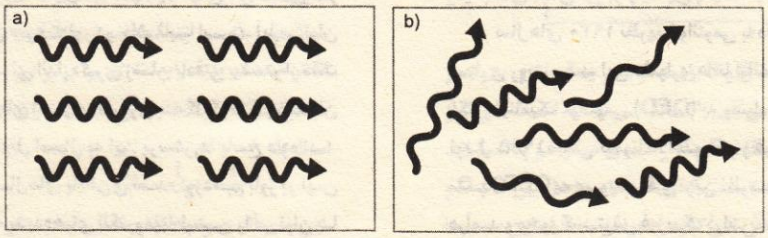
نور سامان یافته یا کاتوره‌ای

بیشتر پدیده‌های نوری تا پیش از تولید لیزر و دستگاه‌های همانند آن با نظریه‌ی کلاسیک مکس ول توضیح داده می‌شد. یکی از مثال‌های این توضیح در شکل ۱ـ الف دیده می‌شود که در آن، نور از دو شکاف می‌گذرد و طرح متناوبی از شدت‌های متفاوت را روی یک پرده تشکیل می‌دهد. اگر نور تنها از یک طول موج تشکیل شده باشد همدوس خواهد بود (شکل ۲ـ الف) و شدت آن در ناحیه‌های کم شدت به صفر می‌رسد.



شکل ۱) تفاوت میان مشاهده‌ی کلاسیک و مشاهده‌ی کوانتومی نور. گذر نور از دو شکاف در حالت الف) به منزله‌ی حرکت موج الکترومغناطیسی و ب) به منزله‌ی شارش ذرات در نظر گرفته می‌شود. توجه داشته باشید که طرح تداخلی در هر دو مورد یکسان است.

در مورد نور لامپ توصیف واقع‌بینانه‌تری لازم است، چون نور آن شامل انواع طول موج‌ها و بسامدها است که در هر لحظه نسبت به یکدیگر اختلاف فاز دارند. ما این‌چشمه‌ی نور را به خاطر نوفه‌های کاتوره‌ای آن می‌بینیم. این نور ناهمدوس را می‌توان آن‌گونه که در تصویر ۲ـ ب دیده می‌شود نشان داد. پس ناهمدوس بودن، باعث می‌شود که طرح تداخلی‌ی شکل ۱ نامتمایز دیده شود.



شکل ۲ـ الف تفاوت میان تابش الف) همدوس و ب) ناهمدوس

در نور همدوس پرتوها دارای فاز و طول موج و راستای یکسان‌اند

پیشتر چشمه‌های نور غالباً بر پایه‌ی تابش گرمایی کار می‌کردند و برای مشاهده‌ی طرح تداخلی آنها ترتیبات ویژه‌ای لازم بود. اما با آشکار شدن لیزر که نور همدوس کامل است وضع دگرگون شد. البته تابش با فاز و بسامد دقیقاً تعریف شده از زمان آشکار شدن فن‌آوری رادیویی شناخته شده بود، ولی مشاهده‌ی نور حاصل از چشمه‌ی گرمایی به صورت حرکت موجی دور از ذهن به نظر می‌رسید و توصیف بی‌نظمی‌های آن به منزله‌ی فوتون‌هایی با توزیع کاتوره‌ای راحت‌تر جلوه می‌کرد.

زایش نورشناسی اوپتیکی

نیمی از جایزه‌ی نوبل امسال را به روی جی گلابر داده‌اند، چون فیزیک کوانتومی را درباره‌ی پدیده‌های نوری به کار برده است. او در ۱۹۶۳ اعلام کرد که برای کاربرد کوانتیدگی الکترومغناطیسی برای فهم مشاهدات نوری روش تازه‌ای ابداع کرده است. گلابر به یاری نظریه‌ی میدان کوانتوم، توصیف همپیوندی برای ردیابی‌ی فوتوالکتریکی عرضه کرده است. اکنون او می‌تواند نشان دهد که «خوشه کردن»ی که آر. هندبری براون و آر. تویس کشف کرده‌اند پی‌آمد طبیعی‌ی ماهیت کاتوره‌ای‌ی تابش گرمایی است. در باریکه‌ی همدوس آرمانی لیزر به هیچ روی این رویداد دیده نمی‌شود.

چگونه باریکه‌ی فوتون‌های مستقل می‌تواند طرح‌های تداخلی به وجود بیاورد؟ در این‌جا با نمونه‌ای از ماهیت دوگانه‌ی نور سر و کار داریم. انرژی‌ی الکترومغناطیسی در طرح‌هایی گسیل می‌شود که نورشناسی‌ی کلاسیک تعیین کننده‌ی آنها است. این‌گونه توزیع انرژی چشم‌اندازی می‌آفریند که فوتون‌ها می‌توانند در آن توزیع شوند. این‌ها جداگانه و منفردند ولی از مسیری می‌روندکه علم نورشناسی تجویز می‌کند و اصطلاح «نورشناسی‌ی کوانتومی» از همین ویژگی سرچشمه می‌گیرد. در شدت‌های پایین نور، این حالت تنها با چند فوتون مشخص می‌شود. مشاهده‌ی هر ذره پس از مشاهده‌ی شمار کافی از فوتو الکترون‌ها، طرح‌های نورشناختی را بنیاد می‌کند. فیزیک کوانتومی به جای توصیف طرح شکل ۱ـ الف به توصیف طرح شکل ۱ـ ب می‌پردازد.

یکی از ویژگی‌های بنیادی‌ی توصیف کوانتوم مکانیکی‌ی مشاهدات نوری آن است که هنگام مشاهده‌ی فوتوالکترون، یک فوتون جذب و حالت میدان فوتون دچار دگرگونی می‌شود. اگر چند ردیاب همبسته باشند، مجموعه‌ی آنها به پدیده‌های کوانتومی حساس می‌شود که اگر تنها چند فوتون در میدان وجود داشته باشد این‌موضوع آشکارتر می‌شود. بعداً آزمایش‌هایی شامل چندین ردیاب فوتون صورت گرفت که نظریه گلابر همه آنها را توضیح داد.

کار گلابر در ۱۹۶۳ شالوده‌ی پیشرفت‌های بعدی در میدان تازه‌ی نورشناسی کوانتومی شد. به زودی آشکار شد که پیشرفت‌های فنی به کاربرد توصیف کوانتومی‌ی تازه‌ای از پدیده‌ها نیازمند است.

یکی از حالت‌های مشاهده‌پذیر ماهیت کوانتومی نور پدیده‌ی مخالف «خوشه‌بندی» است که فوتون‌ها نشان می‌دهند و می‌توان آن را «پاد خوشه‌بندی» نامید. واقعیت آن است که در پاره‌ای شرایط فوتون‌ها بیش از آن که به صورت علامت‌های کاتوره‌ای ناب آشکار شوند به صورت جفت دیده می‌شوند. این‌گونه فوتون‌ها از یک حالت کوانتومی سرچشمه می‌گیرند که به هیچ روی نمی‌توان آنها را موج کلاسیک دانست. علت آن است که فرایند کوانتومی می‌تواند حالتی ایجاد کند که در آن فوتون‌ها برخلاف حالت حاصل از فرایند کاتوره‌ای ناب، از هم جدا بمانند.

فیزیک کوانتومی محدودیت‌های نهایی را مشخص می‌کند و کاربردهای نوینی را نوید می‌دهد:

تأثیرهای کوانتومی در کاربردهای فنی غالباً بسیار اندک است. حالت میدان چنان برگزیده می‌شود که بتوان ویژگی‌های دامنه و فاز مشخصی را بدان نسبت داد. در اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی هم عدم قطعیت فیزیک کوانتومی کمتر ایجاد محدودیت می‌کند. ولی عدم قطعیتی که به هر حال وجود دارد به صورت تفاوت‌های کاتوره‌ای در مشاهدات آشکار می‌شود. این «نوفه‌ی کوانتومی» محدودیت نهایی دقت مشاهدات نورشناختی را تعیین می‌کند. در اندازه‌گیری‌های بسامد با تفکیک بالا و تقویت‌کننده‌های کوانتومی و استانداردهای بسامد آنچه سرانجام محدودیت دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری را تعیین می‌کند ماهیت نور است.

از دانش ما درباره‌ی حالت‌های کوانتومی هم می‌توان مستقیماً یاری گرفت. می‌توانیم کاربردهای کاملاً جدیدی از پدیده‌های کواتومی به دست آوریم که به یاری آنها بتوانیم رمزگذاری ایمنی پیام‌ها را در فن‌آوری ارتباطات و آمایش اطلاعات صورت دهیم.

طیف‌نگری دقیق لیزر بنیاد

تاریخ نشان می‌دهد که پدیده‌ها و ساختارهای نو در نتیجه‌ی دقت پیشرفته در اندازه‌گیری‌ها کشف می‌شوند. یک مثال شکوهمند این نکته، طیف‌نگری اتمی است که به بررسی ساختار سطوح انرژی اتم‌ها می‌پردازد. توان تفکیک تقویت شده هم درباره‌ی ساختار ظریف اتم و هم درباره‌ی ویژگی‌های هسته‌ی اتم درک ژرف‌تری به ما می‌دهد. نیم دیگر جایزه‌ی نوبل امسال به جان ال هال و تئودور دبلیو هنش رسید که در حوزه‌ی طیف‌نگری دقیق لیزر ـ بنیاد پژوهش کرده و پیش رفته‌اند.

«شگرد شانه‌ی بسامد نورشناختی» در این حوزه مورد توجه ویژه است. پیشرفت در این حوزه امکانات بیرون از تصوری برای تحقیق درباره‌ی ثابت‌های طبیعت و یافتن تفاوت میان ماده و پاد ماده و اندازه‌گیری زمان با دقتی که بیش از آن ممکن نیست فراهم می‌آورد. طیف‌نگری دقیق در جریان تلاش برای حل مسائل روشن و سرراستی حاصل شد که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم.

متر چقدر است؟

مسأله‌ی تعیین طول دقیق متر یکی از چالش‌های طیف‌نگری‌ی لیزری است. نشست همگانی وزنه‌ها و اندازه‌ها که از سال ۱۸۸۹ حق تصمیم‌گیری درباره‌ی تعریف‌های دقیق داشته است در ۱۹۶۰ میله‌ی مادی اندازه‌گیری را به کنار نهاد. این میله در یک محفظه‌ی دربسته در پاریس نگهداری می‌شد و طول آن با تحمل دشواری‌ها در جهان توصیه و توزیع می‌شد.

با کاربرد اندازه‌گیری‌های طیفی، یک تعریف اتم ـ بنیاد عرضه شد و متر به صورت شمار مشخصی از طول موج‌های یک خط طیفی‌ی معین در گاز بی‌اثر کریپتون تعریف شد. چند سال پس از آن هم تعریف اتم ـ بنیاد ثانیه عرضه و به صورت زمانی تعریف شد که طی آن شمارمعینی از ارتعاش‌های بسامد تشدید یک گذار مشخص در اتم سزیوم صورت می‌گرفت که به یاری ساعت‌های اتمی‌شمرده می‌شدند. این تعریف‌ها تعیین سرعت نور را به صورت مضربی از طول موج و بسامد امکان‌پذیر کردند.

جان هال در تلاش برای اندازه‌گیری‌ی سرعت نور بایاری گرفتن از لیزر با ثبات فوق‌العاده زیاد بسامد بالا پیشگام بود، اما دقت کار او با تعریف متر انتخاب شده محدود می‌شد. بدین ترتیب در ۱۹۸۳ سرعت

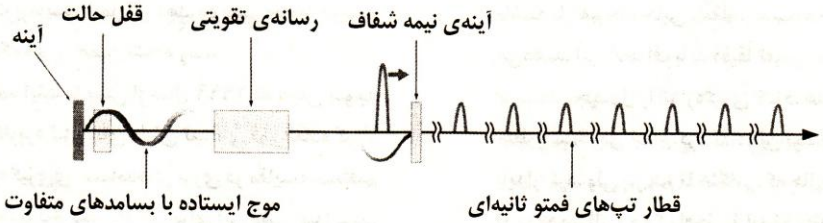
نـور ۲۹۹۷۹۲۴۵۸m/s تعییـن شـد کـه بـا بهترین اندازه‌گیری‌ها توافق داشـت و خطای آن صفر بود! پس یک متر مسـافتی بود کـه نـور در $\frac{۱}{۲۹۹۷۹۲۴۵۸}$ ثانیه می‌پیمود.

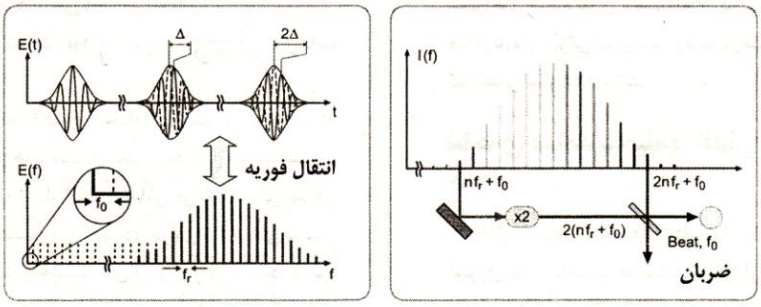
امـا اندازه‌گیـری بسـامدهای نـوری در محـدوده $۱۰^{۱۵}$هرتز هنوز بسـیار دشوار بود چون ساعت سزویم تقریبـاً $۱۰^{۵}$ بـار کندتر ارتعاش می‌کرد. بـرای چیرگی بـر این دشـواری زنجیـره‌ی درازی از لیزرهای بسـیار تثبیت یافته و چشـمه‌های میکروویو لازم بـود. کاربرد عملـی تعریف جدید متر به صورت طول موج‌های دقیق با دشـواری همراه بود و نیاز به یک روش ساده‌تر برای اندازه‌گیری‌ی بسامد احساس می‌شد.

همـراه بـا ایـن رویدادهـا لیزر بـه منزلـه‌ی ابـزار طیف‌نگـری عام پیشـرفت می‌کـرد. روش‌های حـذف اثـر پدیـده‌ی دوپلر ابداع می‌شـد تا از آشـکار شـدن ماگزیمم‌های پهن‌تر و تشـخیص‌ناپذیرتر دوری شود. در ۱۹۸۱ ان. بلومبرگـن وا.ال. شـادلو بـه خاطر کار در زمینه‌ی پیشـبرد طیف‌نگری لیـزری برنده‌ی جایـزه‌ی نوبـل شـدند. در دسـتیابی به سـطح فوق‌العـاده‌ای از دقـت ایـن نکته بسـیار جالب می‌شـود چـون امـکان طرح پرسـش‌های بنیادی درباره‌ی ماهیت واقعیـت را فراهـم مـی‌آورد. هال و هنش در این فراینـد با ایجاد و گسترش دستگاه‌های لیزر با بسامد فوق‌العاده پایدار و شگردهای اندازه‌گیری پیشـرفته‌ای که می‌تواند دانش مـا درباره‌ی ویژگی‌هـای ماده و فضا و زمـان را ژرف‌تر کند نقشی سازنده داشتند.

شاخه‌ی بسامد ـ میله‌ی اندازه‌گیری جدید

اندازه‌گیـری بسـامدها بـا دقـت فوق‌العاده بالا بـه لیـزری نیازمند اسـت که شـمار بزرگی از بسـامدهای ارتعاش همدوس را گسیل کند. اگر این‌گونه ارتعاش‌ها با اندکی تفاوت در بسـامدها به یکدیگر متصل شـوند، تپ‌هـای فوق‌العـاده کوچکـی در اثـر تداخـل آنها بـه وجـود می‌آید. البتـه این امر در صورتی عملی می‌شـود کـه ارتعاش‌هـا (یامدهـا)ی مختلـف در وضعیتـی کـه قفل مد خوانده می‌شـود درهم قفل شـوند (شـکل ۳). هرچـه ارتعاش‌هـای مختلف‌تـر بـا هـم قفـل شـوند، تپ‌ها کوچک‌تر می‌شـوند. یـک تپ یک فمتوثانیـه‌ای ($۱۰^{-۱۵}$s) در حـدود یک میلیون بسـامد گوناگون را قفل می‌کند که سطح گسترده‌ای از بسامدهای مرئی را در برمی‌گیرد. امروز در رسـانه‌های لیزری مانند رنگ‌ها یـا بلورهای یاقوت آلایش یافته بـا تیتانیوم می‌توان به این ترکیب دست یافت.





شکل ۳) اصول فن شانه‌ی بسامد. نمودار بالایی نشان دهنده‌ی چگونگی ایجاد تپ‌های لیزری‌است. پایین سمت چپ نشان می‌دهد که تپ‌های شامل شمار کوچکی از ارتعاش‌ها چگونه به‌زمان بستگی دارند و مدها چگونه میان بسامدهای گوناگون توزیع می‌شوند. توزیع طیفی‌شامل شانه‌ای از بسامدها است که فاصله‌ی میان آنها به خوبی تشخیص‌پذیر است. اما نقطه‌ی‌صفر طیف نامعلوم است و نشان دهنده‌ی جابه‌جایی‌ی Fo است. با شگردهای نوری‌غیرخطی می‌توان بسامدهای طیف را دو برابر کرد و این امر در تصویر سمت راست نشان داده‌شده است. می‌توان کمترین بسامد را با بیشترین بسامد اصلی مقایسه کرد و جابه‌جایی Fo رابه دست آورد.

یک «گلوله کوچک نور» میان دو آینه در لیزر آفریده می‌شود و رفت و برگشت می‌کند چون شمار بسیاری از مدهای بسامد واضح که به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند همواره در حال درخشیدن‌اند. کمی از نور به صورت قطاری از تپ‌های لیزر از آینه نیمه شفاف در یکی از دو سر دستگاه بیرون می‌رود. لیزرهایی که به صورت تپ درآمده‌اند بسامدهای واضحی گسیل می‌کنند که می‌توان آنها را در طیف نگری لیزری با تفکیک بالا به کار برد. هنش این کار را در پایان سال‌های ۱۹۷۰ عملی‌کرد و موفق شد که آن را به صورت آزمایش نمایش دهد. وی.پی چبوتایف نوو سیبرسک هم به همین نتیجه رسید.

با همه اینها تا پیش از سال ۱۹۹۹ که هنش متوجه امکان کاربرد لیزرهای دارای تپ‌های فوق‌العاده کوتاه در اندازه‌گیری‌ی بسامدهای نوری در مقایسه مستقیم باساعت سزیوم شد، راه‌حلی برای این قضیه پیدا نشد. علت آن بود که این گونه لیزرها دارای شانه‌ی بسامدی بودند که همه‌ی گستره‌ی مرئی را در بر می‌گرفت. پس شگرد شانه‌ی بسامد بر پایه دامنه‌ای از بسامدها استوار است که کم و بیش به دندانه‌های یک شانه یا خطاهای روی یک خطکش همانند است. می‌توان بسامد مجهولی را که باید تعیین شود به یکی از بسامدها در طول «میله‌ی‌اندازه‌گیری» مرتبط ساخت. هنش و همکارانش به صورت متقاعد کننده نشان دادند که نشانه‌های بسامدها واقعاً بادقتی فوق‌العاده به صورتی یکنواخت توزیع شده‌اند. اما یک دشواری کار آن بود که چگونه قدر مطلق بسامد تعیین می‌شود. چون حتی اگر هم فاصله‌ی میان دندانه‌های شانه به خوبی مشخص باشد باز هم جابه‌جایی نامعلوم بسامد مشترک روی می‌دهد. این انحراف باید دقیقاً تعیین شود تا بتوان بسامد مجهول را اندازه‌گیری کرد. هنش برای‌این منظور شگردی ابداع کرد که در آن بسامد را می‌شد پایدار کرد. ولی باز هم تا هنگامی که هال و همکاران او درحدود سال ۲۰۰۰ راه‌حلی ارائه نکردند، مسأله عملاً حل نشد. اگر شانه‌ی بسامد را بتوان آنقدر پهن در نظر گرفت که بالاترین بسامد، بیش از دو برابر پایین‌ترین

بسامد باشد (یعنی یک اکتاو ارتعاش) آنگاه جابه‌جایی **Fo** را می‌توان با یک تفریق ساده بسامدهای دو سر اکتاو محاسبه‌کرد (شکل ۳):

$$۲F_n - F_{۲n} = ۲ (nFr + F0) - (۲nFr + F0) = F0$$

می‌توان این‌گونه تپ‌ها را با دامنه به حد کافی گسترده‌ای از بسامدها در تارهای بلورین فوتونیک به دست آورد که در آنها بخشی از ماده جای خود را به کانال‌های پر از هوا می‌دهد. در این گونه تارها می‌توان باخود نور طیف گسترده‌ای از بسامدها را ایجاد کرد. هنش وهال و همکارانشان که در زمینه‌های خاصی با هم کار می‌کردند. این شگردها را در یک ابزار ساده پالایش دادند که در همان هنگام کاربرد گسترده‌ای یافته بود و به صورت تجاری در دسترس بود.

اکنون می‌شد یک بسامد مجهول لیزری واضح را با مشاهده‌ی ضربان میان این بسامد و نزدیک‌ترین دندانه‌ی شانه‌ی بسامد اندازه‌گیری کرد.

این ضربان در دامنه‌ای از بسامدهای رادیویی خواهد بود که به آسانی ساماندهی می‌شود. این امر همانند این واقعیت است که ضربان میان دو دیاپازون در بسامدهای بسیار پایین هم شنیده می‌شود در حالی که نواخت‌های منفرد در بسامدهای پایین به سختی شنیده می‌شوند.

اخیراً شگردهای شانه‌ی بسامد تا حد نهایی دامنه‌ی فرابنفش هم کشانده شده‌اند که با ایجاد هماهنگ‌ها از تپ‌های کوتاه به دست می‌آیند. این نکته می‌تواند بدان معنا باشد که دقت فوق‌العاده را می‌توان در بسامدهای خیلی بالا به دست آورد و این امر به نوبه‌ی خود ما را به سوی امکان‌پذیر شدن ایجاد ساعت‌هایی بسیار دقیق‌تر در بسامد پرتوهای **X** رهنمون می‌شود.

جنبه‌ی دیگر شگرد شانه‌ی بسامد آن است که کنترل فاز نوری که با آن امکان‌پذیر می‌شود در آزمایش با تپ‌های فمتو ثانیه‌ای‌ی فوق‌العاده کوتاه و اندرکنش فوق‌العاده فشرده‌ی لیزر ـ ماده اهمیت بسیار می‌یابد. می‌توان فاز هماهنگ‌های بالایی را که بسامدشان به طور یکنواخت توزیع شده است در هم قفل کرد و با تداخل به شیوه‌ای که در شگرد قفل مد گفتیم تپ‌های $۱۰^{-۱۸}$ ثانیه‌ای تولید کرد. بدین ترتیب این شگرد برای اندازه‌گیری‌های دقیق بسامد و زمان بسیار مناسب می‌شود.

چشم‌اندازهای آینده

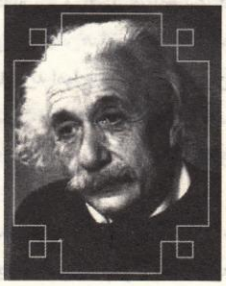
اکنون شگرد شانه‌ی بسامد، اندازه‌گیری بسامد را با دقتی در حدود یک در ۱۰-۱۸ میسر می‌کند و به زودی ساعت استاندارد نوری وارد صحنه می‌شود. کدام پدیده‌ها و مسائل اندازه‌گیری از این دقت فوق‌العاده سود می‌برند؟

این دقت، دستگاه‌های ناوبری ماهواره ـ بنیاد (QPS) را دقیق‌تر می‌کند. در ناوبری در سفرهای دراز فضایی و آرایش‌های تلسکوپی فضا ـ بنیاد برای دستیابی به امواج گرانش یا آزمون‌های دقیق نظریه‌ی نسبیت به دقت بسیار نیازمندیم. ممکن است در مخابرات دوردست هم کاربردهایی برای آن یافته شود.

این دقت اندازه‌گیری بهبود یافته را می‌توان در بررسی روابط ماده‌ی معمولی با پاد ماده به کار گرفت. هیدروژن در کانون علاقه و توجه جا دارد. هنگامی که بتوان پاد ـ هیدروژن را مانند هیدروژن معمولی در آزمایشگاه بررسی کرد مقایسه‌ی ویژگی‌های طیف‌نگری‌ی بنیادی‌ی آنها امکان‌پذیر می‌شود.

سرانجام، دقت‌های بیشتر در اندازه‌گیری‌های بنیادی را می‌توان برای آزمودن تغییرات ممکن در ثابت‌های طبیعت در طول زمان به کار بست. این آزمون‌ها آغاز شده‌اند اما فعلاً تغییراتی مشاهده و ثبت نشده است. به هر حال دقت بهبود یافته به دست آوردن نتایج دقیق‌تر و مشخص‌تر را در این‌گونه موارد بنیادی ممکن می‌سازد.

سال جهانی فیزیک ۲۰۰۵ اینشتین در سده بیست و یکم



اینشتین در نخستین رساله‌ای که در سال ۱۹۰۵ منتشر کرد، با توجه به حرکت براونی به درستی حرکت ذراتی را که به طور کاتوره‌ای در شاره توزیع شده‌اند پیش‌بینی کرد. این مقاله به تثبیت نظریه‌ی امروزی درباره‌ی تشکیل شدن اشیای مادی از ذره‌هایی چون اتم و ملکول یاری رسانده این ذره‌ها با نیروهای بنیادی طبیعت به هم می‌پیوندند. دومین رساله که اینشتین به خاطر آن در ۱۹۲۱ برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شد، فرضیه‌ی انقلابی ماکس پلانک درباره‌ی ماهیت کوانتومی نور را تا حد توضیح پدیده‌ی فوتوالکتریک گسترش داد. شمار اندکی از فیزیکدان‌ها اندیشه‌ی پلانک را می‌فهمیدند یا با آن موافق بودند.

اینشتین نخستین کسی نبود که انرژی‌ی موجود در باریکه‌ی نور را به صورت یکاهای تک یا کوانتوم در حال انتقال بداند، ولی نخستین کسی بود که دلیرانه این مفهوم را پذیرفت و به کار بست و گام مهمی در راه بنیان‌گذاری و گسترش مکانیک کوانتومی برداشت. سومین و مشهورترین رساله‌ی او «درباره‌ی الکترودینامیک اجسام متحرک»، مفهوم انتقال لورنتس را به همه‌ی اجسام متحرک تعمیم داد و پایه‌ی نظریه‌ی نسبیت حاصل شد. این اثر به صورت‌بندی رابطه‌ی پرآوازه‌ی $E=mc^2$ انجامید که در چهارمین رساله‌ی او در سال ۱۹۰۶ بیان شد.

ترانزیستور، کمپیوتر، ابررسانا، لیزر، برنامه‌های انرژی‌ی هسته‌ای، MRI (تصویربرداری به شیوه‌ی تشدید مغناطیسی)، اینترنت و دستگاه تعیین وضعیت جهانی (QPS)، دستاوردهای پژوهش‌های بنیادی فیزیک در سده‌ی گذشته‌اند.

مسیر پویش از یک مفهوم بنیادی در فیزیک کوانتومی به سوی کمپیوتر مدرن ممکن است همواره مشخص نباشد. پژوهش بنیادی یک فعالیت پرمخاطره است که به جستجوی دانش علمی به خاطر خود آن دانش می‌پردازد و حاصل یا کاربرد عملی آن را نمی‌توان از آغاز پیش‌بینی کرد. لرد رادرفورد پس از نخستین آزمایش درمورد شکافت اتم در ۱۹۳۳ می‌گفت: «انرژی به دست آمده از شکست اتم نوع بسیار ضعیفی است. هرکس که انتظار داشته باشد از تبدیل اتم منبع انرژی به دست می‌آورد خیالبافی می‌کند». نه سال بعد انریکوفرمی (برنده‌ی جایزه‌ی نوبل ۱۹۳۸) پرتوزایی القایی به وسیله‌ی نوترون را کشف کرد و نخستین واکنش زنجیره‌ای کنترل شده را برای شکافت هسته اجرا کرد.

خوب است مسیر تکامل ترانزیستور را که مهم‌ترین اختراع سده‌ی پیش بود به صورت نمونه‌ای از رهنمون شدن یک نظریه‌ی بنیادی به سوی انقلاب فن‌آورانه

بررسی کنیم.

در پایان سده‌ی نوزدهم: آزمایشگران طیف اتمی عنصرهای گوناگون را بررسی کردند.

۱۸۸۵: یوهان بالمر خطهای طیف اتم هیدروژن را با یک رابطه‌ی تجربی تبیین کرد.

۱۹۰۰: ماکس پلانک مفهوم کوانتوم را در گسیل انرژی مطرح کرد و کشف کوانتوم‌های مربوط به عنصرها جایزه‌ی نوبل ۱۹۱۸ را نصیب او کرد.

۱۹۰۵: آلبرت اینشتین اندیشه‌ی کوانتوم انرژی در میدان تابش را به صورت فوتون گسترش داد.

۱۹۱۱: ارنست رادرفورد در آزمایش پراکندگی ذره‌ی آلفا، به کشف هسته رسید و مدل سیاره‌ای‌ی ساختار اتم را تأیید کرد.

۱۹۱۳: نیلز بور مدل نیمه کلاسیکی اتم هیدروژن را بر پایه‌ی کوانتیده بودن مدار الکترون ابداع کرد.

۱۹۲۵ و ۱۹۲۶: ورنر هایزنبرگ (برنده‌ی نوبل ۱۹۳۲) و اروین شرودینگر (برنده‌ی نوبل ۱۹۳۳) مکانیک کوانتومی را تدوین کردند. مکانیک کوانتومی برپایه‌ی کاتورگی ظاهری طبیعت که با اصل نایقینی‌ی هایزنبرگ توصیف می‌شد استوار بود. اینشتین این نکته را نپذیرفت و گفت: «خدا تاس نمی‌اندازد» این بار حق با او نبود.

۱۹۲۸: فلیکس بلاک (بلوخ) نظام کامل مکانیک کوانتومی را در مورد مسأله‌ی رسانایی در جامدات به کارگرفت به سوی ایجاد نظریه‌ی مدرن جامدات پیش تاخت. جایزه‌ی نوبل ۱۹۵۲ به خاطر کشف تشدید مغناطیسی هسته به او داده شد.

۱۹۲۹: والتر اسکاتکی و یارانش «حفره»ی الکترونی را در ساختار نوار ظرفیت نیمه رساناها کشف و ساز و کار رفتار نیمه‌رساناها را آشکار کردند.

۱۹۳۳: دیودهای حالت جامد در صافی‌های گیرنده‌ها به کار رفت.

اواخر دهه ۱۹۳۰ و آغاز دهه ۱۹۴۰: پژوهشگران شروع به آلایش سیلیکون و جرمانیوم کردند و نیمه‌رساناهای تازه‌ای به دست آورند.

۱۹۴۷: جان باردین و والتر براتین ترانزیستور را به ثبت رساندند و ویلیام شاکلی برای ثبت اثر ترانزیستور و تقویت کننده‌ی ترانزیستوری نام‌نویسی کرد. این گروه در ۱۹۶۵ برنده جایزه نوبل شدند.

۱۹۵۱: نیمه رساناها وارد بازار شدند.

۱۹۵۵: ترانزیستور جانشین لامپ شد.

۱۹۵۹: رابرت نویس و جک کیلبی مدارهای مجتمع را اختراع کردند.

همه‌ی کشف‌های فیزیکی مدرن چنین کاربردهای شکوهمندی نیافته‌اند. برای سیاهچاله یا ستاره‌ی نوترونی هیچ کاربرد پیش‌بینی پذیری نمی‌شناسیم. این امر بدان معنا نیست که این کشف‌ها ارزش توجه کردن ندارند. در مورد ذره‌های بسیار ریز و کیهان بسیار درشت قانون‌های فیزیکی یکسانی حاکم است. تکامل ستاره‌ای با توجه به ویژگی‌های ذره‌های بنیادی تعریف می‌شود. همه‌ی عناصر درون بدن شما به جز هیدروژن در درون ستاره‌ها به وجود آمده‌اند. نظریه‌ی ویلیام فاولر درباره‌ی به وجود آمدن عنصرها حاکی از آن است که در هنگام تکامل ستارگان، عنصرها به شیوه‌ای تصاعدی از ترکیب عنصرهای سبک تاعنصرهای سنگین و از هیدروژن آغازی تا آهن در واکنش‌های گرما هسته‌ای به وجود می‌آیند و به موجب رابطه $E=mc^2$ تولید انرژی می‌کنند. با فروریزی ستارگان چگالتر، باز پیوندی‌ی انفجاری‌ی معروف به ابر نواختر روی می‌دهد و ترکیب عنصرهای سنگین‌تری مانند اورانیوم امکان‌پذیر می‌شود. در ستارگان کوچک‌تری مانند خورشید ما همجوشی از سطح تشکیل هسته‌ی هلیوم فراتر نمی‌رود. پس از متراکم شدن «خاکستر» هلیوم در هسته و نبود دمای لازم برای همجوشی‌ی بعدی، این‌ستاره‌ها دیگر از گرمای هسته‌ای‌ی کافی برای خنثی کردن اثر گرانش خود برخوردار نیستند و درهم فرو می‌رمبند و کوتوله‌های سفید را به وجود می‌آورند.

سوبرامانیان چاندراسکار مشخص کرد که ستارگانی که جرم آنها بیش از ۴۴/۱ برابر خورشید ما است نمی‌توانند به کوتوله‌ی سفید تبدیل شوند و به انقباض خود ادامه می‌دهند و پوشش گازی خود را در انفجار ابرنواختری از دست می‌دهند و به ستاره‌ی نوترونی بدل می‌شوند. ستارگان سنگین‌تر به رمبیدن ادامه می‌دهند و به سیاهچاله بدل می‌شوند. چاندراسکار همراه با فاولر برنده‌ی جایزه‌ی نوبل ۱۹۸۳ شد.

در هنگام آموزش اختر فیزیک و کیهان‌شناسی علاوه بر سخن گفتن درباره‌ی کهکشان‌ها درباره‌ی ذره‌های زیر اتمی بنیادی، مسأله‌ی نوترینوهای خورشیدی، چهاراندرکنش بنیادی (هسته‌ای، الکترومغناطیسی، ضعیف وگرانشی)، ماده‌ی تاریک و گرانش کوانتومی هم گفتگو می‌کنیم. همین تازگی‌ها آزمون‌های نظریه‌های نسبیت عام و خاص اینشتین به سطح‌های تازه‌ای از دقت رسیده‌اند. نظریه‌ی نسبیت عام اکنون به صورت «مدل استاندارد» گرانش درآمده است و فیزیک گرانشی به علم تجربی‌ی واقعی بدل شده است.

اینشتین آخرین سال‌های زندگی خود را صرف دستیابی به راهی برای یگانه ساختن اندرکنش‌های گرانش و الکترومغناطیسی کرد ولی تلاش‌های او به جایی نرسید اما امروز در این راه پیشرفت‌هایی صورت گرفته است. اگر نظریه‌ی مهبانگ درست باشد، جهان در ۱۴ بیلیون سال پیش از یک نقطه‌ی تک تشکیل می‌شد که شروع به انبساط می‌کرد. می‌توان حدس زد که در دوره‌ی پلانک یعنی از لحظه صفر تا لحظه 10^{-43} ثانیه، دما و انرژی بی‌نهایت بوده است و گرانش کوانتومی بر جهان حکمرانی می‌کرده است. البته می‌توان فرض‌های خردمندانه‌ای درباره‌ی دوران GUT یا نظریه‌ی یگانگی بزرگ از 10^{-43}ثانیه تا 10^{-35} ثانیه مطرح کرد، که طی آن نیروهای قوی و ضعیف و الکترو مغناطیسی با انرژی 10^{+19} Gev با هم یگانه شدند. در این زمان گرانش «از یوغ رها شد». درلحظه 10^{-4} ثانیه، با انبساط و سرد شدن جهان، نیروهای قوی و الکترو ضعیف در سطح انرژی 10^{14}Gev از هم جدا شدند و سرانجام اندرکنش‌های الکترو مغناطیسی و ضعیف در سطح انرژی ۱۰۰Gev از هم جدا شدند و جهان به شکل امروزی خود آشکار شد که در آن چهار نیروی بنیادی جدا از هم وجود دارد.

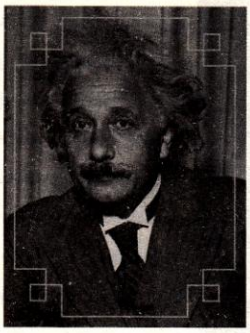
اکنون اگر بخواهیم همه‌ی اندرکنش‌های بنیادی را یکی کنیم باید از سر دیگر قضایا شروع به کار کنیم. در آغاز نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را یکی در نظر بگیریم. جیمز کلرک مکس ول در پایان سده‌ی نوزدهم این کار را انجام داد. اثبات عملی نظریه‌ی او دشوار نبود، همین شبکه‌های تولید برق دستاورد کشف او است. سپس نوبت به نظریه‌ی الکترومغناطیس کوانتومی می‌رسد. ریچاردفین من (که همراه با شوینگر و تومونا‌گا برنده‌ی جایزه‌ی‌نوبل ۱۹۶۵ شد) اصول بنیادی الکترودینامیک کوانتومی را پایه‌گذاری کرد و گسترش داد. اکنون می‌توان اندرکنش ضعیف را به این آمیزه افزود. گلاشو، عبدالسلام و واینبرگ برندگان نوبل ۱۹۷۹ الکترومغناطیس و اندرکنش ضعیف را یکی کردند. در ۱۹۸۳ آزمایش‌های شتابدهنده‌های ذرات پرانرژی وجود ذره‌های W و Z را که نظریه‌ی الکتروضعیف وجودشان را پیش‌بینی کرده بود اثبات کردند و نشان دادند که در سطح انرژی ۱۰۰Gev می‌توان آنها را به دست آورد.

گام بعدی جا دادن اندرکنش قوی در نظریه‌ی شکوهمند یگانگی بزرگ است. نظریه‌ی الکترومغناطسی که می‌گوید جریان الکتریکی می‌تواند میدان مغناطیسی به وجود بیاورد و میدان مغناطیسی می‌تواند الکتریسیته ایجاد کند، باعث پیدا شدن موتورهای الکتریکی شد. تصور کنید اگر الکترومغناطیس و اندرکنش‌های قوی و ضعیف درهم بیامیزند باعث پیدا شدن چه چیزها می‌شوند! اگر چنین شود بحران انرژی حتماً رفع می‌شود. ولی اثبات عملی 10^{19}Gev GUT انرژی

می‌خواهد. بزرگ‌ترین شتاب‌دهنده‌ها تنها می‌توانند (۱۰^{۱۲}ev) ۱Tev انرژی تولیدکنند. و البته آزمایش گرانش کوانتومی از دسترس ما بسیاردور است.

در قانون‌های بنیادی‌ی جهان مادی چیستان‌های بزرگ وجود دارد و سده‌ی بیست و یکم به پژوهش‌های علمی نیاز بسیار دارد.

در سال‌های ۱۹۳۰ مشخص شد که اتم از هسته و هسته از پروتون و نوترون تشکیل شده است (جیمزچادویک ـ برنده‌ی نوبل ۱۹۳۵ نوترون را کشف کرد) وابری از الکترون هسته را فرا گرفته است (جوزف جان‌تامسن برنده‌ی نوبل ۱۹۰۶). تصور بر این بود که تنها این‌سه ذره کل ماده را بر می‌سازند ولی بعد هسته از هم شکافت و بیش از دویست ذره‌ی دیگر کشف شد که بیشتر آنها مزون و باریون بودند. فیزیک ذره‌های خرد دچار آشوب شد و موری گل‌مان به نجات دادن آن شتافت. اودر ۱۹۵۳ مفهوم «شگفتی» را مطرح کرد. شگفتی یک ویژگی‌ی کوانتومی است که باعث ایجاد الگوهای گیج‌کننده‌ی واپاشی‌ی پاره‌ای از مزون‌ها می‌شود. در ۱۹۶۱گل‌مان و نیمان جداگانه طرحی برای رده‌بندی ذرات دارای اندرکنش قوی که پیشتر کشف شده بودند ارائه کردند و آنها را در گروه‌های منظم زیبا جا دادند. این طرح ریاضی رده‌بندی که با توجه به راه هشتگانه‌ی رسیدن به روشنگری و خوشبختی در آیین بودا «طرح هشتگانه» خوانده شد حاکی از این بود که می‌توان ویژگی‌های مشخص از ذره‌های شناخته شده را برحسب ذرات بنیادی‌تر یا آجرهای ساختمانی‌ی ماده توضیح داد. گل‌مان این ذره را «کوارک» نامید. هنگامی که یکی از ذره‌های برسازنده در طرح غایب به نظر آمد گل‌مان به این نتیجه رسید که طبیعت نظم کمال یافته را با اخراج یک ذره قربانی نمی‌کند. او ویژگی‌های ذره‌ی غایب را محاسبه کرد و این ذره در آزمایش کشف شد. گل‌مان در ۱۹۶۹ به‌خاطر سهم و نقش خود و کشف رده‌بندی ذرات بنیادی و اندرکنش‌های آنها برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شد.

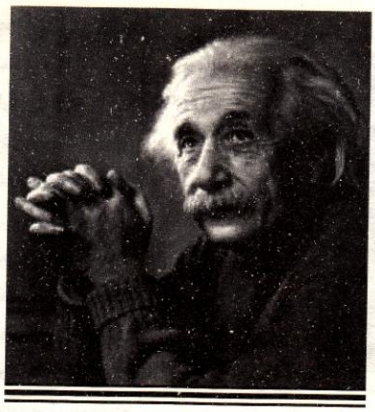


جهان آنگونه که من می بینم

احوال ما میرندگان عجیب است. هر یک از ما در سفری کوتاه اینجاییم، برای چه؟ نمی‌دانیم، گاهی فکر می‌کنیم می‌دانیم. با همین اندیشه و تأمل هر روزی و بدون نیاز به غرق شدن در ژرفای اندیشه می‌توان دریافت که هر کدام به خاطر دیگران هستی داریم. نخست به خاطر کسانی که خوشی ما یکسره به لبخندها و خوشی‌های آنان وابسته است، سپس به خاطر کسان بسیاری که آنان را نمی‌شناسیم ولی سرنوشت ما با زنجیرهای همدلی به هم پیوند یافته است. روزی صدها بار به یاد خودم می‌اندازم که زندگی برونی و درونی‌ی من بر شالوده‌ی زحمت‌های انسان‌های دیگر چه مرده و چه زنده استوار است و من هم باید به انجام همان خدمت‌هایی بپردازم که دریافت کرده‌ام.

هرگز به راحتی و خوشی صرفاً به منزله‌ی هدف نگاه نکرده‌ام و این نگرش را نگرش آرمانی‌ی ساکنان خوکدانی دانسته‌ام. آرمان‌هایی که راه مرا روشن کرده است و به من جرأت روبه‌رو شدن شادمانه با زندگی بخشیده‌اند عبارتند از مهربانی، زیبایی و راستی.

زندگی بدون احساس خویشاوندی میان انسان‌های



هم‌اندیشه، بدون دلمشغولی نسبت به جهان عینی که در عرصه‌های هنر و تلاش‌های علمی تا ابد دست نیافتنی هستند، به نظر من پوچ است. هدف‌های خوارمایه‌ی تلاش‌های آدمی یعنی مالکیت، موفقیت‌های ظاهری و تجملات همواره به چشم من خوارمایه و ناچیز بوده‌اند.

شور و شوق من به عدالت اجتماعی و مسئولیت و تعهد اجتماعی همواره با عدم نیاز من به داشتن تماس مستقیم با افراد و جماعت‌های انسانی در تضاد است. من واقعاً «مسافری تنها» هستم و هرگز از ژرفای دل به کشور، خانه، دوستان یا حتی خویشاوندان نزدیکم تعلق نداشته‌ام و هرگز احساس فاصله و نیاز به تنهایی را از دست نداده‌ام.

آرمان سیاسی من مردم‌سالاری است. بگذاریم هر فرد انسانی محترم و آبرومند باشد اما بت نشود. طنز سرنوشت آن است که خود من باید دریافت‌کننده‌ی ستایش‌ها و حرمت‌گذاری‌های مبالغه‌آمیز هم‌جنسان خود باشم که نه مطابق شایستگی من و نه خواست من بوده‌اند. شاید علت آن علاقه به فهم چند موضوعی باشد که من باتوان اندک خود با تلاش‌های خستگی‌ناپذیر بدان‌ها دست پیدا کرده‌ام و خیلی‌ها به فهم آن دست نیافته‌اند. کاملاً آگاهم که در هر سازمان برای دستیابی به هدف یک نفر باید فکر و رهبری کند و کلا مسئولیت را بپذیرد. اما رهبری شوندگان نباید به زور گردن بگذارند بلکه باید خود رهبران را برگزینند. به نظر من نظام‌های اقتدارگرا خیلی زود از هم می‌پاشند، قدرت آدم‌های کم‌جنبه راجذب و شیفته‌ی خود می‌کند.

به نظر من نکته‌ی ارزشمند در میدان زندگی انسان، وضعیت سیاسی نیست بلکه تنها فرد آفرینشگر فهیم و اندیشمند و دارای شخصیت است که می‌تواند امر شریف و والا را بیافریند و برعکس او رهبری‌ی بی‌خبر همچنان بااحساس و اندیشه‌ی کودن برجا می‌مانند.

این نکته مرا به یاد بدترین تجلی زندگی رمه‌ای یعنی نظام میلیتاریستی می‌اندازد که از آن بسیار بیزارم. این نقطه‌ی ضعیف طاعونی تمدن باید هرچه زودتر نابود شود. فرمانروایی قهرمانان و خشونت بی‌معنا و این‌گونه مزخرفات که زیر نام میهن‌پرستی عرضه می‌شوند، خشم و بیزاری مرا برمی‌انگیزند.

زیباترین تجربه‌ای که می‌توانیم داشته باشیم، مرموز و اسرارآمیز است و عبارت است از عاطفه‌ی بنیادی که کنارگهواره‌ی هنر حقیقتی علم حقیقی و ایستاده است. کسی که از این تجربه برخوردار نیست و به شگفت در نمی‌آید و مبهوت نمی‌شود چون مرده‌ای است که چشم‌هایش جایی را نمی‌بیند. آنچه دین را با خطر روبه‌رو می‌کند همین تجربه‌ی مرموز است حتی اگر با ترس آمیخته شود. آگاهی‌بر وجود چیزی که نمی‌توانیم در آن نفوذ کنیم، درک ما از ژرف‌ترین برهان و خرد و درخشان‌ترین زیبایی که تنها در بدوی‌ترین شکل‌ها برای ذهن دسترس‌پذیر است سازندگان دیانت حقیقی هستند. من بدین معنا و تنها بدین معنا عمیقاً به دین مؤمنم. من از رمز ابدیت زندگی و آگاهی و احساس ساختار شگفت هستی و تلاش فروتنانه برای فهم‌کوچک‌ترین جلوه‌ی «خرد» که خود را در طبیعت جلوه‌گر می‌کند خرسندم. در طول عمر دراز خود آموخته‌ام که کل علم ما در برابر واقعیت، ابتدایی و کودکانه است و با همه اینها ارزشمندترین دارایی است.

«ساعت من» اثر مارک تواین و نسبیت

اگر ساعتتان از کار افتاد دو راه دارید: یا می‌توانید آن را در آتش پرت کنید، یا پیش ساعت‌ساز ببرید. راه اولی سریع‌تر است.

مارک تواین

در حدود سه دهه پیش از سال ارائه‌ی معجزات اینشتین، مارک تواین، طنزنویس آمریکایی مقاله‌ای باعنوان «ساعت من» نوشت و در آن ماجرای خود را با ساعت جیبی‌اش که پیشتر دقیق بود و ماجرای کسانی را که می‌کوشیدند به این ساعت زندگی دوباره ببخشند روایت می‌کرد.

مقاله با اقرار به نخستین خطای خود مارک‌تواین آغاز می‌شود: «ساعت نو و خوشگل من مدت هیجده ماه بدون عقب ماندن یا جلو رفتن و بدون خراب شدن قطعات یا از کار افتادن کار کرد. دیگر به درست بودن داوری آن درباره‌ی ساعت‌های روز ایمان پیدا کرده بودم و ساختمان و اجزای درونی آن را خراب نشدنی می‌دانستم. ولی سرانجام یک شب باعث شدم که وضعش خراب شود. چنان غصه خوردم که انگار پیام‌آور شناخته شده یا پیشاهنگ مصیبت و فاجعه از دستم رفته باشد.»

بعد تواین ساعتش را از روی حدس و گمان تنظیم می‌کند و آن را نزد «جواهرساز معتبر شهر می‌برد تا آن را به دقت تنظیم کند» جواهرساز با وجود بی‌میلی تواین ساعت را باز و تنظیم کننده‌ی درون آن را میزان می‌کند و ساعت جلو می‌افتد:

«روز به روز تندتر و تندتر کار می‌کرد. ظرف یک هفته وضع آن به حد التهاب و تب رسید و شمار ضربان‌های نبض آن در سایه به ۱۵۰ رسید. در عرض دو ماه همه‌ی زمان‌سنج‌های شهر را حسابی پشت سر گذاشت و اندکی بیش از سی روز از تقویم جلو افتاد. در ماه نوامبر برف بارید در حالی که در اکتبر تازه برگ درختان داشت زرد می‌شد. زمان پرداخت اجاره‌خانه چنان کوتاه شد و زمان پرداخت قبض‌ها چنان دم به دم فرا می‌رسید که من از انجام آنها عاجز می‌ماندم.»

این پدیده برای ساعتی که مسافر عازم فضا در مدتی کوتاه با سرعتی معادل کسری از سرعت نور در زمین جا می‌گذارد و باز می‌گردد، پیش می‌آید. ساعت همراه مسافر به علت سرعت زیاد، در مقایسه با ساعتی که روی زمین مانده است کندتر کار می‌کند. این پدیده بارها در مقایسه ساعت‌های اتمی متحرک و ساعت‌های اتمی ساکن در دستگاه مختصات زمین ثابت شده است.

تواین ساعت را پیش ساعت‌ساز دیگری می‌برد تا دوباره تنظیم شود. ساعت تمیز و روغنکاری می‌شود و«چنان کند پیش می‌رود که تیک‌تاک آن مانند ناقوس

می‌شود».

«از قطارها عقب می‌افتادم، به قرارها نمی‌رسیدم، از غذا خوردن‌ها چشم می‌پوشیدم. ساعت من سه روز را به چهار روز رساند و من اندک اندک به دیروز، پریروز، و هفته‌ی پیش رسیدم و سرانجام به این احساس رسیدم که بی‌کس و تنها در هفته‌های پیش و پیش‌تر عقب می‌روم و جهان کم‌کم از دیدم بیرون می‌ماند.»

این بخش می‌تواند توصیفی از وضعیت ساعت مسافر در مقایسه با ساعت ساکن روی زمین باشد (که البته مسافر پیش از بازگشت به دستگاه مختصات زمین نمی‌تواند متوجه کند شدن آن بشود). همچنین می‌تواند توصیفی از وضعیت ساعت در کناره‌ی سیاهچاله یعنی بقایای یک ستاره‌ی عظیم فرو پاشیده به درون باشد که در آن‌جا زمان و مکان چنان در اثر گرانش عظیم تاب برداشته است که زمان در حد توقف کند شده است. تواین ساعت را پیش چند ساعت‌ساز می‌برد و معلوم می‌شود که تنه‌ی آن پیچیده است، پیچ اصلی آن شکسته است، ماشه‌ی مویی آن نیاز به تنظیم دارد و فنر اصلی آن کج شده است، بخشی از اجزای آن نیاز به صاف شدن دارد و همه‌ی اینها باعث بد کار کردن آن شده‌اند. عقربه‌ها مانند منظره‌ی کوانتوم مکانیکی مدارهای الکترون، اینجا و آنجا در حد سکون جلوه می‌کنند و در اثر سرعت زیاد درهم می‌آمیزند و فردیت خود را از دست می‌دهند. آخرین ساعت‌ساز می‌گوید «خیلی بخار می‌کند باید آچار لوله‌گیر را به شیر اطمینان آن آویزان کنید».

سرانجام تواین به این نتیجه می‌رسد که لحیم‌گرها، چلنگرها، کفاش‌ها، مهندس‌ها، آهنگرها و ناخداهای موفق کشتی‌های بخاری به خرج او زندگی می‌گذرانند.

من در آغاز تدریس نسبیت به دانشجویان توصیه می‌کنم که این مقاله‌ی تواین را بخوانند و درباره‌ی چگونگی دگرگون شدن زندگی در صورت تنظیم شدن وقت به صورتی که در توصیف‌های تواین آمده است به بحث بپردازند. خواندن این گونه متن‌ها، دانشجویان را از جعبه‌ی نیوتنی‌ی فیزیک کلاسیک بیرون می‌آورد و برای درک مفهوم‌ها به شیوه‌ای دیگر آماده می‌کند و شاید چالش‌های دیگری را که در برابر معماهای ما در پهنه‌ی گسترده‌ی اقیانوسی از حقایق نهفته‌اند و باید کشف شوند به پرسش بکشد.

نقص در آینه‌ی جهانی

مقدمه

در این نوشته، داستان «آلیس در سرزمین شگفتی‌ها» اثر لوییز کرول از یک سو و گونه‌های کوارک از سوی دیگر مطرح شده‌اند. پیش از آغاز اصل موضوع، اشاره‌ی کوتاهی به این دو نکته سودمند است.

۱ـ آلیس در سرزمین شگفتی‌ها

آلیس کوچولو در کنار خواهرش زیر درختی نشسته بود و چون خواهرش سخت مشغول کتاب خواندن بود حوصله‌اش سر آمده بود که ناگهان خرگوش سفیدی را می‌بینند که شتابان می‌دود. آلیس به دنبال خرگوش می‌دود و در پی او به سوراخی وارد می‌شود که سرانجام حالت قائم پیدا می‌کند و آلیس با سرعت بسیار کم به آرامی مدت‌ها در آن به پایین سقوط می‌کند و به اتاقی می‌رسد که چندین در دارد و در آن تنها یک کلید دیده می‌شود که تنها یک در کوچک چند سانتی‌متری را باز می‌کند. آلیس یک شیشه نوشابه می‌یابد که روی آن نوشته شده است:«مرا بنوش». با احتیاط آن را می‌نوشد و بسیار کوچک می‌شود و گمان می‌کند که می‌تواند از در کوچک بگذرد و به باغی که در آن سوی در است وارد شود ولی دستش به کلید که روی میز است نمی‌رسد. پس از مدتی گریه و زاری یک ظرف شیشه‌ای می‌بیند که روی آن نوشته است «مرا بخورید». این بار آلیس بسیار بزرگ می‌شود و چون نمی‌تواند از در کوچک بگذرد به گریه می‌نشیند. پس از مدتی دوباره کوچک می‌شود و در اشک خود شروع به شنا کردن می‌کند و با دیدن موشی که آن هم در اشک او شنا می‌کند به یاد گربه‌اش دینا می‌افتد و موش با شنیدن اسم گربه ناراحت می‌شود و می‌رود.

آلیس به کرمی برمی‌خورد که به او می‌گوید، اگر یک طرف یک قارچ را بخورد بزرگ‌تر و اگر طرف دیگر آن را بخورد کوچک‌تر میشود. پس از آن به گربه‌ای خندان برمی‌خورد که مدام پیدا و پنهان می‌شود. آلیس از گربه می‌پرسد: «از کدام طرف بروم؟» گربه می‌پرسد: «کجا می‌خواهی بروی؟» آلیس پاسخ می‌دهد «فرقی نمی‌کند. هرجا بشود.» و گربه هم می‌گوید: «پس هر طرف که بروی فرقی نمی‌کند». آلیس می‌گوید: «می‌خواهم بالاخره به یک‌جایی برسم» و گربه می‌گوید: «هر جور بروی بالاخره به‌یک جایی می‌رسی.»

خرگوش هنگام دویدن همواره از دیر رسیدن به خدمت ملکه اظهار نگرانی می‌کند. آلیس می‌بیند که یک دسته ورق بازی از راه می‌رسند و ملکه (بی‌بی) خشمگین آن مرتباً دستور اعدام صادر می‌کند. دادگاهی برای محاکمه‌ی کسی که یک کیک را دزدیده است برپا می‌شود و آلیس که از همه بزرگ‌تر شده است به شدت به شاه و ملکه اعتراض می‌کند و ناگهان همه ورق‌ها به هوا می‌روند و به سر و روی او می‌ریزند. آلیس ناگهان از خواب می‌پرد و می‌بیندکه برگ‌های درختان روی سر و صورتش می‌ریزند.

لوییز کرول

لوییز کرول نام مستعار چارلز لوت ویج داجسن (۱۸۹۸-۱۸۳۲) است که اهل انگلستان و نویسنده و ریاضی‌دان و فیلسوف غیرحرفه‌ای بود. رشته تحصیلی او علوم دینی بود ولی به خاطر کمرویی و لکنت زبان خواهان رسیدن به مقام‌های بالای مذهبی نشد. از ۱۸۵۵ تا ۱۸۸۱در کرایست چرچ ریاضیات تدریس کرد و کتابی با عنوان«اقلیدس و رقیبان مدرن او» نوشت.

دو کتاب داستانی‌ی او «آلیس در سرزمین شگفتی‌ها» و دنباله‌ی آن «از درون آینه» در اصل قصه‌هایی بودند که او برای بچه‌های رئیس دانشکده کرایست چرچ تعریف می‌کرد. خود کرول می‌گوید که از نوشتن این کتاب‌ها منظور یا فلسفه خاصی نداشته است اما این کتاب‌ها مایه‌ی تفسیرهای فلسفی و علمی بسیاری شده‌اند.

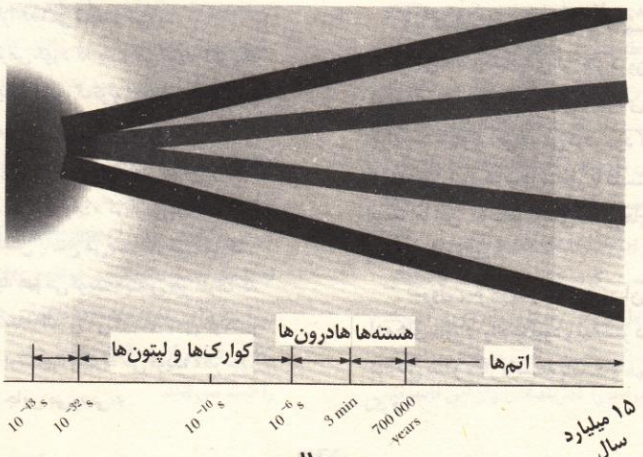
کرول به خاطر لکنت زبان از معاشرت با آدم‌های‌بزرگ راحت نبود و بیشتر دوست داشت با کودکان سر وکار داشته باشد و هم از این رو ازدواج نکرد.

جهان ذرات خرد

جهان پیرامون ما در تسخیر پروتون‌ها و الکترون‌ها ونوترون‌ها و نوترینوها است. دیگر ذرات در پرتوهای کیهانی دیده می‌شوند ولی با دستگاه‌هایی که می‌توانندپروتون‌ها و الکترون‌ها را تا انرژی‌هایی در حد Gev و Tev شتاب بدهند می‌توان ذرات جدید را به دست آورد. این‌انرژی‌ها در سنجش با انرژی‌های گرمایی‌ی امروزی‌ی‌موجود در جهان بسیار عظیم‌اند. به عنوان مثال انرژی درمرکز خورشید در حدود Kev۱ است در حالی که دمای‌جهان در آغاز پیدایش در حد انرژی‌های Tev بوده است.

طبق نظریه‌ی مهبانگ جهان در حدود ۱۵ تا ۲۰ بیلیون‌سال پیش در اثر انفجار یک تکینگی‌ی گوی شکل هستی‌یافت. در چند دقیقه‌ی نخست پس از مهبانگ، انرژی‌هاچنان عظیم بودند که هر چهار اندرکنش فیزیکی یعنی‌اندرکنش‌های الکترومغناطیسی، هسته‌ای ضعیف، هسته‌ای‌قوی و گرانش در نوعی «سوپ کوارک» حل شده بودند.

می‌بینید که در نخستین 10^{-43} ثانیه (یعنی دوره ابرداغ $T=10^{32}$) هر چهار نیروی پیوسته به هم نوعی نیروی یگانه را بر می‌ساختند. میان لحظه $t=10^{-43}S$ و $t=10^{-3}S$ پس از مهبانگ (یعنی دوره داغ $t=10^{29}K$)نیروی گرانش از این مجموعه جدا می‌شود و نیروهای‌قوی و الکترو ضعیف با هم برجا می‌مانند (نظریه‌ی‌یگانگی‌ی بزرگ). در این هنگام انرژی ذرات چنان عظیم‌بود ($>10^{16}Gev$) که هم ذرات سنگین و هم کوارک‌ها ولپتون‌ها و پاد ذره‌های آنها با هم هستی داشتند. سپس جهان‌به تندی گسترش یافت و دمای آن به سطح 10^{29k} تا 10^{15K} کاهش یافت. در این هنگام نیروهای قوی و الکتروضعیف از هم جدا شدند و یگانگی‌ی بزرگ از هم پاشید. خود نیروی الکتروضعیف با سردتر شدن جهان در حدود $t=10^{-10}s$ پس از مهبانگ به دو نیروی ضعیف و الکترومغناطیس تجزیه شد.



جهان تا ۷۰۰۰۰۰ سال پس از مهبانگ همچنان آکنده‌از تابش بود. یون‌ها، فوتون‌های باز تابش یافته را جذب می‌کردند و باعث همترازی‌ی گرمایی میان ماده و تابش می‌شدند. تابش‌های پرانرژی از کلوخه شدن ماده یا حتی‌شکل‌گیری تک اتم‌های هیدروژن جلوگیری می‌کردند. ۷۰۰۰۰۰ سال پس از مهبانگ جهان آنقدر گسترش یافت‌که دمای آن به ۳۰۰۰K رسید و پروتون‌ها توانستند باپیوند یافتن با الکترون‌ها نخستین اتم‌های هیدروژن را به‌وجود آورند. اتم‌های بی‌بار نمی‌توانستند فوتون‌ها راپراکنده کنند. در نتیجه جهان ناگهان برای فوتون‌ها شفاف‌شد. دیگر تابش بر جهان چیره نماند و شمار کلوخه‌های‌ماده بی‌بار روز به روز افزون‌تر شد، نخست اتم‌ها، سپس‌مولکول‌ها، ابرهای گاز، ستارگان و سرانجان کهکشان‌هاآشکار شدند.

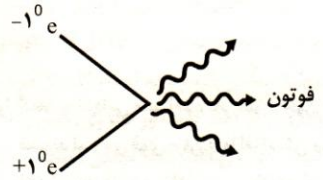
امروز فیزیکدان‌ها ذرات بر سازنده‌ی کل ماده را به دودسته تقسیم می‌کنند: کوارک‌ها و لپتون‌ها. کوارک‌ها ذرات‌سازنده‌ی پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند. لپتون‌ها ذراتی‌هستند که الکترون‌ها و نوترینوها جزو

کوارک‌ها			لپتون‌ها			
نام	نشان	جرم	بار	نام	نشان	جرم	بار
پایین	d	۳۳۰mev	$-\frac{۱}{۳}e$	الکترن	e	۰/۵۱۱mev	- e
بالا	u	۳۳۰mev	$\frac{۲}{۳}e$	نوترینو	De	0	0

حامل‌های نیرو				
نیرو	نام حامل	نماد	جرم	بار
الکترومغناطیس	فوتون	γ	0	0
ضعیف	بوزون ضعیف	w+	۸۰/۶Gev	+ e
ضعیف	بوزون ضعیف	w-	۸۰/۶Gev	- e
ضعیف	بوزون ضعیف	z 0	۹۱/۲Gev	0
قوی	گلوئون	g	0	0
گرانش	گراویتون	G	0	0

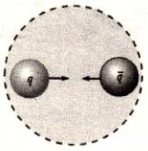
آنها به شمارمی‌روند. ذرات دیگری هم هستند که کار مبادله‌ی نیرومیان ذرات دیگر را برعهده دارند. فوتون حامل نیروی‌الکترو مغناطیسی است. هشت ذره به نام گلوئون حامل‌نیروی قوی هستند که کوارک‌ها را در پروتون به هم پیوندمی‌دهند و پروتون‌ها را در هسته نگه می‌دارند. دراندرکنش ضعیف که در واپاشی بتایی عمل می‌کند سه‌بوزون ضعیف کار می‌کنند. به ذره‌ای که باید حامل نیروی‌گرانش باشد نام گراویتون داده‌اند.

هر کوارک و هر لپتون پاد ذره‌ای دارد که با آن همانندااست و تنها دارای بار مخالف است. در برخورد ذره وپادذره هر دو نابود می‌شوند و به صورت فوتون یاجفت‌های سبک‌تر ذره ـ پادذره و انرژی درمی‌آیند.



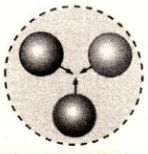
شمار کل کوارک‌ها و لپتون‌ها در جهان ثابت است یعنی تنها به صورت جفت‌های ذره ـ پاد ذره به وجود می‌آیند یا نابود می‌شوند. شمار حاملان بار پایسته نیست ولی کل بار پایسته می‌ماند. برای تولید یا نابود کردن گراویتون‌ها و فوتون‌ها و گلوئون‌ها و بوزون‌های ضعیف انرژی بسیار زیادی لازم است.

طبق مدل کوارکی، پروتون و نوترون از کوارک برساخته می‌شوند. هر نوکلئون از سه کوارک ساخته می‌شود. پروتون از دو کوارک بالا ($+\frac{۲}{۳}e$) و یک‌کوارک پایین ($-\frac{۱}{۳}e$) ساخته می‌شود و این نکته را به‌صورت **P=(uud)** نشان می‌دهیم. نوترون از یک کوارک بالا و دو کوارک پایین ساخته می‌شود. **n=(udd)**

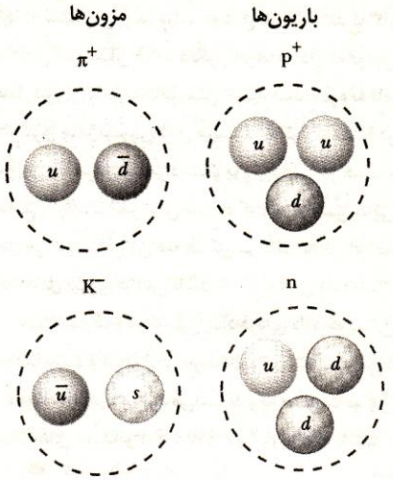


الف : مزون

(a)



ب : باریون



کوارک‌ها به تنهایی مشاهده نمی‌شوند چون اگر از هم دور شوند نیروی قوی میان آنها افزایش می‌یابد یعنی مانند نیروی فنر و برخلاف نیروی الکتریکی عمل می‌کند. در این مدل نیروی قوی حاصل گسیل و جذب گلوئون‌های حامل نیرو است.

اندرکنش ضعیف شامل سه ذره‌ی حامل نیرو یعنی بوزون‌های W^+ و W^- و Z^0 است که در واپاشی‌ی بتایی عمل می‌کند که در آن نوترون به پروتون و الکترون و پادنوترینو بدل می‌شود. تنها یکی از کوارک‌های سازنده‌ی نوترون و پروتون با هم فرق دارند. واپاشی‌ی بتایی در دو مرحله صورت می‌گیرد: نخست یک کوارک d در نوترون با گسیل یک بوزون $\bar{W}$ به کوارک u بدل تبدیل می‌شود.

$$d=u+\bar{W}$$

سپس $\bar{W}$ به یک الکترون و یک پاد نوترینو واپاشی می‌یابد.

$$\bar{W}=\bar{e}+\bar{V}$$

در واپاشی‌ی پروتون، یک بوزون W^+ و یک نوترون گسیل می‌شود و بوزون ضعیف به یک پوزیترون و یک نوترینو واپاشی می‌یابد.

گسیل بوزون Z^0 با تغییر کوارک صورت نمی‌گیرد و باعث ایجاد اندرکنش میان نوکلئون‌ها و الکترون‌های اتم می‌شود و به صورتی ضعیف به نیروی الکترو مغناطیسی میان اتم‌ها شباهت دارد.

اندرکنش الکترو مغناطیسی را فوتون‌ها صورت می‌دهند و چون جرم فوتون‌ها صفر است دامنه‌ی نیروی الکتریکی گسترده است در حالی که نیروی ضعیف به خاطر سنگینی بوزون‌های W و Z بسیار کم دامنه است.

طبق نظریه‌های اختر فیزیکی در هنگام انفجارهای عظیم ستاره‌ای و در لحظه‌های آغازین هستی‌ی جهان این‌دو نیرو یکسان بوده‌اند. به همین دلیل این دو نیرو را به‌صورت یک نیرو در نظر می‌گیرند و آن را نیروی الکتروضعیف می‌خوانند.

در بمباران ذرات با انرژی‌های زیاد ذرات بسیاری باجرم‌های بزرگ و میانه و عمرهای بسیار کوتاه تولید می‌شود. پاره‌ای از این ذرات ترکیبی از دو یا سه کوارک u یا d یا یک جفت کوارک ـ پادکوارک هستند. نوترون‌ها ازکوارک و پادکوارک تشکیل شده‌اند و باریون‌ها از سه‌کوارک ترکیب یافته‌اند. نمی‌توان با ترکیب کوارک‌های u و d همه‌ی این ذرات را به دست آورد. برای ایجاد باریون‌ها و مزون‌های موجود ترکیب سه کوارک دیگر لازم است. چهارمین کوارک یعنی کوارک سر هنوز یافته نشده است ولی نظریه‌ها وجود آن را پیش‌بینی می‌کنند. در برخوردهای پرانرژی دو جفت لپتون دیگر هم تولید می‌شود. کسی نمی‌داند چرا شش کوارک و شش لپتون وجود دارد و آیا ذرات کشف نشده دیگری هم وجود دارد یا خیر. یکی از دلیل‌های ساختن ابر برخورد دهنده‌ی ابررسانا یافتن پاسخ این پرسش است:

کوارک‌های دیگر

نام	نماد	جرم	بار
شگفت	s	۵/۰ Mev	$-\frac{۱}{۳}e$
افسون	c	۰/۰۶ Gev	$+\frac{۲}{۳}e$
ته	b	۵/۲ Gev	$-\frac{۱}{۳}e$
سر	t	>/۰۰ Gev	$+\frac{۲}{۳}e$

لپتون‌های دیگر

نام	نماد	جرم	بار
موئون	M	۱۰۵ Mev	-e
نوئون نوترینو	V_M	۰ Gev	۰
تاو	T	۱/۸ Gev	-e
تاونوترینو	V_T	۰ Gev	۰

در سال‌های ۱۹۷۰ نیروهای ضعیف و الکترومغناطیسی با هم یکی شدند و نیروی الکتروضعیف شناخته شد. اندرکنش قوی هم در نظریه‌ی میدان یگانه‌ی بزرگ (Gut) به آنها می‌پیوندد. یکی از پیش‌بینی‌های نظری آن است که عمر پروتون ابدی نیست و پروتون به لپتون و فوتون واپاشی می‌یابد. نیمه عمر پروتون باید چیزی در حدود $۱۰^{۳۱}$ سال باشد. سه سال آزمایش و بررسی داده‌ها تاکنون نشانه‌ای از این واپاشی آشکار نکرده است. بنابراین همچنان در این زمینه کار در پیش‌رو داریم. هر کشف تازه در فیزیک ذرات خرد همراه با پاسخ به پرسش‌ها، پرسش‌های تازه‌ای طرح می‌کند. این پرسش که عالم از چه چیزی ساخته شده است تاکنون بی‌پاسخ مانده است.

++

درباره‌ی چند اصطلاح

۱ـ باریون‌ها = ها درون‌هایی که در آخرین مجموعه‌ی واپاشی‌ی خود حاوی یک پروتون هستند

۲ـ همیوغی‌ی بار = عملیاتی که ذره را به پادذره بدل می‌کند.

۳ـ رنگ = یکی از ویژگی‌های کوارک‌ها که سبب می‌شود کوارک‌ها طوری آرایش بیابند که اصل طردپائولی را نقض کنند.

۴ـ مزه (طعم) = عامل متمایز کننده‌ی کوارک‌ها

۵ـ تقارن پیمانه‌ای = تقارنی که در آن اگر جای پروتون و نوترون در هر نقطه‌ی فضا مستقلا عوض شود در ویژگی‌های جهان دگرگونی‌ی اندازه‌گیری‌پذیر به وجود نمی‌آید.

۶ـ هادرون = حاملان اندرکنش قوی

۷ـ مزون = ذره‌ای که در فرآورده‌های واپاشی‌ی آن باریون وجود ندارد.

۸ـ پاریته= عملیاتی که جای چپ و راست را عوض می‌کند. تا حدودی معادل عملیات مربوط به تابع‌های زوج و فرد در ریاضیات

۹ـ نقض پاریته= واقعیتی که نشان می‌دهد در پاره‌ای از واپاشی‌های بتایی الکترون‌ها سوی راست را ترجیح می‌دهند.

نقص در آینه‌ی جهانی

اگر اندکی بی‌قرینگی بـا عنوان ناوردایی CP* در «آینـه»ی جهانی روی نمی‌داد، جهانی که امروز می‌شناسـیم به وجود نمی‌آمد و جهانی تهی از ماده جانشین آن می‌شـد. کدام نیرو در جهان باعث پیش آمدن این خطا شد؟

چـرا در جهان ماده وجود دارد؟ اگر تقارن تقریبی‌ی مـاده و پادماده کامل و بی‌نقص بود، جهان بـه گونه‌ای ظریف، سـاده امـا عملاً تهی از مـاده و آفریده‌هایی بود که از آن ماده آفریده شـده باشـند و بتوانند درباره آن ظرافت اندیشـه کنند. اما هسـتی‌ی جهان آن‌گونـه که امروز می‌بینیم، از نقص در تقارن سرچشمه می‌گیرد که در یک آینه‌ی جهانی به نام آینه CP دیده می‌شود. این تقارن نشـان می‌دهـد که حاصل هر رویـداد در طبیعت در صورت جانشـین شـدن پاد ماده به جای ماده (C) و تماشای نتیجه در یک آینه (P) یکسان می‌ماند.

بـه نظر می‌رسـد کـه در زمانی پیـش از نخسـتین یـک ملیونیوم ثانیه پس از آفرینش جهـان در پدیده‌ی مهبانـگ، احتمـالاً ماده و پـاد ماده به یک مقـدار وجود داشـته اسـت.یعنی ذره‌ها و پادذره‌هـا در تعـداد دقیقاً برابـر در فشـار و دمای عظیـم در حالت ترازمنـدی‌ی گرمایی قرار داشـتند. (در برابر هـر ذره، ذره‌ی دیگری با جرم برابر ولـی باویژگی‌های الکتریکی مخالف وجود داشـت، مثلاً در برابر الکترون، پاد الکترون یا پوزیترون وجود داشـت که پادذره‌ی الکترون به شـمار می‌آمـد). با گسـترش یافتن و سردشدن جهان بیشـتر ذره‌ها به پادذره‌های خود رسـیدند و نابودی‌ی جفت آنها صورت گرفـت. اگر تقـارن CP کامل بود تنها شـمار اندکی از ذره‌هـا و پادذره‌ها کـه به یکدیگر نمی‌رسـیدند فرصت برجا مانـدن می‌یافتند. امـا تقارن اندکی‌نقص داشـت و بیشـینگی‌ی یـک در میلیـاردی‌ی پروتـون در برابـر پادپروتـون، جـان بـه در بـرد و در تمامیـت زمان بـه کهکشـان‌ها و سـتاره‌ها و سـیاره‌ها و خود ما انسان‌ها شکل‌داد.

بـا وجود آن که نقـص ناوردایی CP بایـد در مرکز معمای هستی‌ی ما جا داشته باشد و با وجود پژوهش‌های پردامنه‌ی نظری و آزمایشـی، امروز هم ما چندان بیش ازچهل سـال پیش که این موضوع عنوان شد درباره‌ی آن آگاهی نداریم. اما از چند سـال پیش چند اندیشه‌ی نظری مطرح شـد که نسل تازه‌ای از آزمایش‌ها و از آن جمله آزمایش خود ما در آزمایشـگاه ملی بروک هی‌ون، را بـه راه انداخت که نور تازه‌ای بر تبرگـی‌ی این معما تاباند. این آزمایش‌ها می‌بایسـت ویژگـی‌ی نیرویی را بیازمایند که مسئول برهم زدن تقارن CP و تعیین این نکته بود که آیا این بی‌قرینگی‌ی بسـیار کوچک ناشـی از یـک نیروی ضعیف (از مرتبـه ۱/۱۰۰۰ ضعیف) بوده است که دو بار بر برهم کنش ذره‌ها اثر گذاشته است یا ناشی از یک نیروی بسیار ضعیف (ابرضعیف) بوده است که یک بار بر این برهم کنش تأثیر نهاده است.

شـناخت کامل نقـش این بی‌قرینگـی‌ی ناچیز امـا پایـه‌ای، در آینـه‌ی CP مسـتلزم اندکـی نگـرش بـه اهمیـت نقـش تقـارن در طراحی جهان اسـت. امـروز بیشـتر فیزیکدان‌ها به یـک معادله‌ی کلان بـاور دارند

*Charge Parity Invariance

که معرف ویژگی‌های ذره‌ها و نیروهای بنیادی است. به نظر آنان این معادله بایدتقارن‌های بنیادی جهان را توضیح دهد. ساختار مفصل این‌معادله هنوز به خوبی آشکار نیست ولی می‌توان بسیاری از تقارن‌های آن را به خوبی شناخت و تعیین کرد.

«آمالی امانوئه در» از دانشگاه گوتینگن در نخستین‌سال‌های سده‌ی بیستم نشان داد که تقارن‌های معادله‌ی‌بنیادی عموماً به قانون‌های پایستگی ارتباط دارند. بنابراین، مشاهده‌ی پایستگی اندازه‌ی حرکت و انرژی و اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای نشان می‌دهد که معادله‌ی کلان، نسبت به زمان و مکان و جهت، بی‌تغییر می‌ماند. در این‌صورت طبعاً در مورد انواع دیگر تقارن پرسش پیش می‌آید. به ویژه این پرسش که آیا معادله‌ی کلان دارای وارونی‌ی چپ و راست (تقارن آینه‌ای) هست و در نتیجه می‌توان آن را با قانون دست راست (پیچ) تعریف کرد؟ آیامعادله در مورد ذره‌ها و پادذره‌ها فرق می‌کند؟

پاسخ این پرسش‌ها از طریق آزمایش در آزمایشگاه پیدا می‌شود. من به یاری‌ی آلیس قهرمان بی‌باک داستان«آلیس در سرزمین شگفتی‌ها» نوشته‌ی لوییز کرول به‌نشان دادن ویژگی‌ی پژوهش درباره تقارن‌های بنیادی می‌پردازم. روش مناسب آن است که کار را با پژوهش‌تقارن در بازتاب از روی آینه‌ی معمولی شروع کنیم. آینه‌ی معمولی به صورت رسمی‌تر، آینه‌ی P خوانده می‌شود (Pحرف اول واژه‌ی Parityبه معنای عملیاتی که مستلزم جابه‌جا کردن چپ و راست است) آیا آلیس که شاید در یکی از رؤیاهای کرول از خواب بیدار می‌شود می‌تواند بگوید که در جهان آینه است یا در جهان خانه‌ی خود؟ آلیس بی‌گمان تنها در صورتی می‌تواند بداند درکجا است که بتواند فرایند یا ساختاری بنیادی پیدا کند که جهت پیش‌روی‌ی پیچ را تعریف کند. پیچ راستگرد در آینه‌ی خانگی به پیچ چپگرد تبدیل می‌شود.

تا سال ۱۹۵۶ فیزیکدان‌ها می‌توانستند پاسخ دهند که آلیس میان جهان واقعی و جهان آینه گمشده برجا می‌ماند. فیزیکدان‌ها در آن هنگام کلا بر این باور بودند که هیچیک از اندرکنش‌های بنیادی یعنی گرانش، الکترو مغناطیس، اندرکنش‌های قوی (تأمین کننده‌ی نیروهای هسته‌ای) و اندرکنش‌های ضعیف (عامل پاره‌ای از واپاشی‌های هسته‌ای) نمی‌توانند جهت پیش‌روی‌ی پیچ را تعریف کنند.به سخن دیگر به نظر آنان آینه‌ی POd تقارنی بود، بنابراین کسی نمی‌توانست نتیجه‌ی اندرکنش میان ذره‌های بنیادی و نتیجه‌ی تصویر آینه‌ای‌ی آن اندرکنش را از هم تمیز دهد.

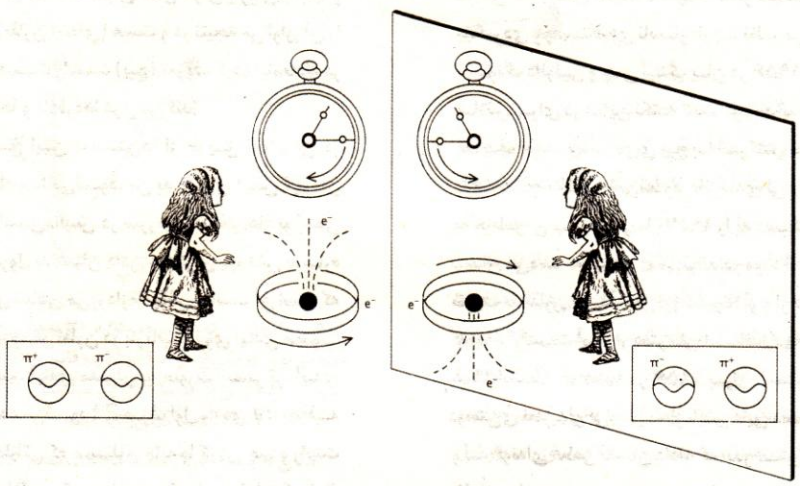
پس از آن ریچارد دالتیس در دانشگاه کرنل نشان داد که ویژگی‌های واپاشی‌ی ذره‌ای به نام مزون K از طریق اندرکنش ضعیف با مفهوم تغییر طبیعت میان چپگردی و راستگردی ناسازگار به نظر می‌رسد. تسونگ دائولی و چن نیننگ یان در ۱۹۵۶ ضمن تلاش برای درک این نکته ثابت کردند که فرض تعریف جهت پیشروی‌ی پیچ با اندرکنش ضعیف، باعث هیچ تناقضی نمی‌شود. نظریه‌ی لی‌ویان که به خاطر آن جایزه‌ی نوبل ۱۹۵۷ را به دست‌آوردند نشان می‌دهد که آینه‌ی P می‌تواند در مورد اندرکنش ضعیف نامتقارن باشد. چی‌ین شیونگ‌و و از دانشگاه کلمبیا و ارنست امبلر از دفتر ملی استانداردها و دیگر همکارانشان در دسامبر ۱۹۵۶ برای نشان دادن درستی‌ی نظریه‌ی لی‌ویان به آزمایش‌هایی دست زدند و به گونه‌ای قطعی نشان دادند که اندرکنش ضعیف واقعاً معرف جهت پیشروی‌ی پیچ است: یعنی طبیعت چپگردی و راستگردی را از هم تمیز می‌دهد.

بنابراین آلیس می‌تواند در همان راستای آزمایش‌های ووو امبلر تشخیص دهد که آیا در جهان آینه است یا در جهان خانه. آلیس استوانه‌ای از کبالت ۶۰ یعنی ایزوتوپ کبالت را که با گسیل الکترون از طریق اندرکنش ضعیف واپاشی می‌یابد در میدان مغناطیسی‌ی الکترونی قرارمی‌دهد که در جهت پاد

ساعتگرد پیرامون یک حلقه سیم دایره شکل می‌چرخد (بخش چپ تصویر ۱). با بهره‌گیری‌از قانون‌های ساده‌ی فیزیکی می‌توان دید که میدان مغناطیسی الکترون در حلقه رو به پایین است. از سویی، هسته‌ی هر اتم اسپین یا گشتاور زاویه‌ای معینی دارد که برپایه‌ی آن می‌توان هسته را مغناطیس کوچکی دانست که‌به دور محوری می‌چرخد. در مورد کبالت این گشتاورهمراستا با میدان مغناطیسی و رو به پایین است.

اگر آلیس این آزمایش را در آزمایشگاه خانه‌اش انجام می‌داد می‌دید که الکترون گسیل شده در واپاشی ضعیف رو به بالا حرکت می‌کند یعنی در جهتی مخالف گشتاور زاویه‌ای هسته. اگر آلیس در آینه این آزمایش را انجام دهد (بخش راست تصویر ۱) می‌بیند که الکترون درحلقه‌ی سیم در جهت ساعتگرد می‌چرخد و میدان مغناطیسی حاصل از چرخش آن رو به بالا و هم جهت با گشتاور زاویه‌ای‌ی هسته‌ی کبالت است. پس الکترون‌های گسیل شده از هسته‌های کبالت در آینه رو به پایین حرکت می‌کنند. این نکته بدان معنا است که جهان واقعی و جهان آینه بازتاب مطلق یکدیگر نیستند. بدین ترتیب تقارن آینه‌ی **Pd** درهم می‌شکند.

اگر چارلز داجسن یک سده بعد به دنیا می‌آمد می‌توانست آینه‌ی دیگری و رویدادهای دیگری برای آلیس بیافریند. شاید آلیس می‌توانست از یک آینه **C** بگذرد، یعنی آینه‌ای که می‌تواند ذره را به پاد ذره تبدیل کند (**C** حرف اول واژه **Charge Conjugation**



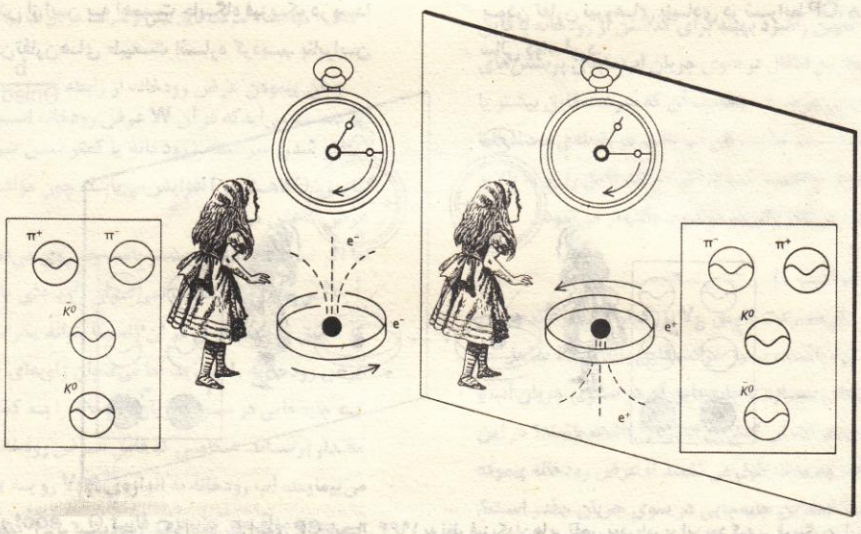
«تصویر ۱: سناریوی آلیس در سرزمین شگفتی‌ها راهی‌برای درک قانون‌های تقارن در طبیعت پیش پای مامی‌گذارد. آنچه در این تصویر می‌بینیم آزمونی است درمورد تقارن بازتاب در آینه که به صورت رسمی‌تر آینه‌ی **P**خوانده می‌شود. آیا آلیس می‌تواند بگوید که در جهان‌واقعی (سمت چپ) است یا در جهان آینه (سمت راست)؟آلیس برای فهمیدن این نکته، استوانه‌ای از کبالت ۶۰ یعنی‌ایزوتوپ کبالت که از طریق گسیل الکترون واپاشی‌می‌یابد را در میدان مغناطیسی الکترونی قرار می‌دهد که‌به صورت پادساعتگرد به دور یک حلقه سیم دایره شکل‌می‌چرخد. میدان رو به پایین و هم‌جهت با اسپین یا گشتاورزاویه‌ای هسته‌ی کبالت است. الکترون‌های گسیلی به سوی‌پایین حرکت می‌کنند. در جهان آینه، الکترون در حلقه به‌صورت ساعتگرد می‌چرخد بنابراین میدان مغناطیسی روبه بالا است. اسپین‌های هسته‌ها در آینه رو به بالا و جهت‌حرکت الکترون‌های گسیلی رو به پایین است. از آن‌جا که‌الکترون‌های گسیلی در دو جهان در دو جهت مخالف‌حرکت می‌کنند، بازتاب قرینه‌ی کامل ندارد یعنی در آینه‌ی **P**تقارن برقرار نیست. آینه‌ی **P** هویت ذره‌ها و پادذره‌ها راحفظ می‌کند (کادرهای مستطیل شکل). جرم پادذره‌ی(مزون) با جرم ذره‌ی برابر است اما علامت بار آنهامخالف است.»

به معنای هم‌یوغی‌ی بار است).

در آخرین سال‌های دهه‌ی ۱۹۲۰ دیراک فیزیکدان انگلیسی که نخستین بار وجود پادماده را در نظر گرفت نشان داد که رفتار ماده و پادماده در برابر تأثیر نیروهای الکترومغناطیسی باید همسان باشد. بعدها دیده شد که ماده و پادماده به یک صورت تحت تأثیر گرانش و نیروهای قوی هسته‌ای قرار می‌گیرند. اگر تقارن در مورد همه‌ی اندرکنش‌ها برقرار باشد، آلیس نمی‌تواند به مشاهداتی دست پیدا کند که نشان دهند آیا او از آینه‌ی C گذشته است یا نه.

اما کارهای نظری و آزمایشی‌ی مرتبط با کشف بی‌قرینگی‌ی آینه‌ی P همچنین نشان داد که اندرکنش‌های ضعیف می‌توانند ماده و پادماده را از هم تمیز دهند: تقارن آینه‌ی C هم نقض می‌شود. به ویژه هسته‌ی پادکبالت دارای راستای معین، پوزیترون گسیل می‌کند و جهت گسیل ترجیحاً در همان راستا است.

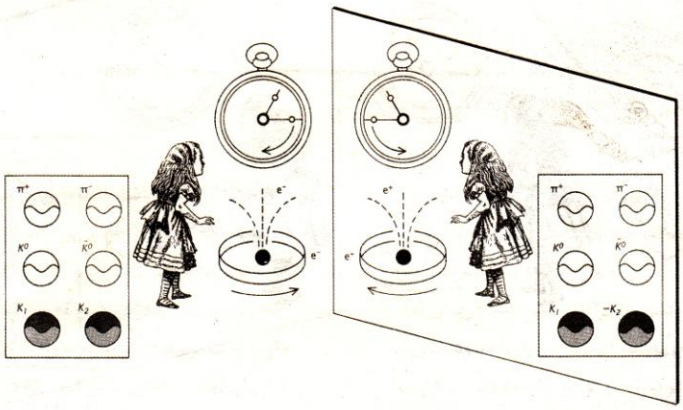
پس آلیس می‌تواند با تعیین جهت گسیل الکترون‌ها از هسته‌های کبالت جهت‌دار خود یا با تعیین جهت گسیل پوزیترون‌ها از هسته‌های پادکبالت جهت‌دار خود، مشخص کند که آیا از آینه‌ی C گذشته است یا نه. باز هم، در خانه، الکترون‌هایی که به طور پادساعتگر در حلقه سیم دایره‌ای می‌چرخند یک میدان مغناطیسی رو به پایین می‌آفرینند، هسته‌های کبالت رو به پایین جهت‌گیری می‌کنند و الکترون‌های گسیلی رو به بالا می‌روند (بخش چپ تصویر ۲). در پاد



«تصویر ۲ ـ آینه C ذره و پادذره را به یکدیگر تبدیل می‌کند ولی جهت‌گیری‌ی نسبی‌ی شیئی را که «بازتاب می‌دهد» حفظ می‌کند. در بخش چپ بار دیگر الکترون درحلقه سیم دایره شکل به صورت پاد ساعتگرد می‌چرخند ویک میدان مغناطیسی رو به پایین به وجود می‌آورد. هسته‌های کبالت در استوانه. الکترون‌هایی رو به بالا گسیل می‌کنند. در پاد جهانی که در آینه‌ی C دیده می‌شود (بخش راست)، پوزیترون‌ها یا پاد الکترون‌ها باز هم به صورت پادساعتگرد در حلقه می‌چرخند (چون آینه‌ی C تنها بار را تغییر می‌دهد)، اما چون بار آنها مخالف بار الکترون است، میدان مغناطیسی آنها رو به بالا است. خواص مغناطیسی هسته‌های پاد کبالت مخالف خواص مغناطیسی هسته‌های کبالت معمولی است، بنابراین اسپین‌های آنها رو به پایین خواهد بود. هسته‌های پاد کبالت در جهت اسپین هسته‌ی خود پوزیترون گسیل می‌کنند، بنابراین جهت حرکت پوزیترون‌ها رو به پایین است. پوزیترون‌های گسیلی درجهت مخالف الکترون‌های گسیلی حرکت می‌کنند بنابراین تقارن آینه‌ی C از میان می‌رود. کادرهای مستطیل شکل نشان می‌دهند که آینه Cبار مزون‌های و را تغییر می‌دهندو مزون K را به پادذره‌ی آن نوترون K تبدیل می‌کنند.»

جهانی که در آینه C دیده می‌شود، پوزیترون‌هاهم در حلقه به صورت پادساعتگرد می‌چرخند. (چون آینه‌ی C بار را معکوس می‌کند)، ولی چون بار الکتریکی آنها مخالف بار الکترون‌ها است، میدان مغناطیسی رو به‌بالا است. خواص مغناطیسی هسته‌های پاد کبالت با خواص مغناطیسی هسته‌های کبالت معمولی مخالف است واسپین‌های آنها رو به پایین است. سرانجام، پوزیترون‌های گسیل شده از هسته‌های پاد کبالت در جهت اسپین‌های هسته حرکت می‌کنند که رو به پایین هستند (بخش راست‌تصویر ۲) واقعیت حرکت پوزیترون‌های گسیلی در جهت‌مخالف الکترون‌های گسیلی به آلیس نشان می‌دهد که اوباید با گذشتن از آینه‌ی C به پاد جهان پا نهاده باشد.

پیش از این به اهمیت جایگاه فیزیک در پیدا کردن تقارن‌های طبیعت اشاره کردیم. بنابراین می‌توان تصور کردکه بی‌قرینگی‌ی آینه‌ی P بسیاری از فیزیکدان‌ها راناراحت کند. خود من به یاد می‌آورم که با پی بردن به این‌موضوع، احساس می‌کردم که دیگر نمی‌توانم به هیچ یک‌از دانسته‌های خود اطمینان داشته باشم. زمین محکمی که‌روی آن ایستاده بودم به مشتی ماسه بدل شده بود. اما بامشاهده‌ی آن که بی‌قرینگی‌ی آینه‌ی P همواره بابی‌قرینگی‌ی آینه‌ی C جبران می‌شود و در شرایط CP همه‌چیز دارای تقارن می‌شود، احساس کردم که بار دیگرطبیعت بسیاری از نظمی را که می‌پنداشتیم از دست داده‌است باز می‌یابد و بسیاری از فیزیکدان‌های دیگر هم به‌همین احساس رسیدند. اگر آلیس از آینه‌ی CP بگذرد به‌همان نتایجی می‌رسد که در خانه می‌بیند (تصویر ۳).اندیشه‌ی مطلق بودن تقارن نیروهای بنیادی در شرایطCP، هفت سالی دوام آورد.

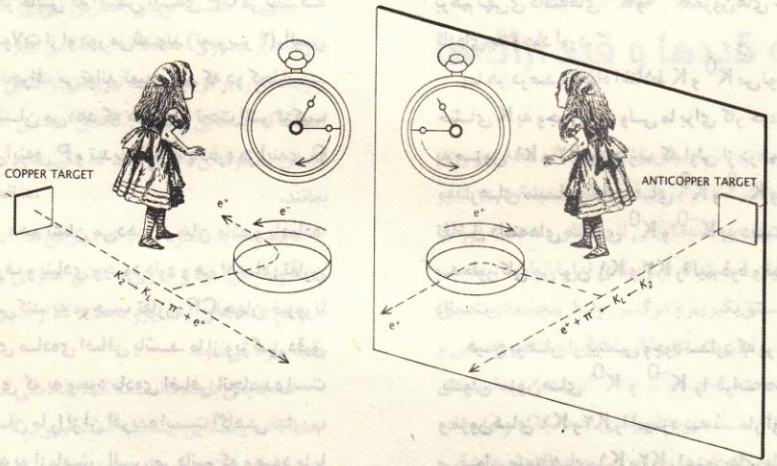


«تصویر ۳ ـ ترکیب آینه‌ی C و آینه‌ی P: آینه‌ی CP تاسال ۱۹۶۴ به نظر فیزیکدان‌ها بی‌نقص بود. باور بر این‌بود که بی‌قرینگی‌ی آینه‌ی P همواره طوری بابی‌قرینگی‌ی آینه‌ی Cهمراه می‌شود که آینه‌ی CP متقارن‌باشد. به سخن دیگر، اگر قرار بود آلیس از آینه‌ی CPبگذرد، نتیجه‌ی آزمایش‌هایی که انجام می‌داد یکسان‌می‌ماند. در مورد خاصی که در این‌جا نشان داده‌ایم، نتایج‌در واقع یکسان می‌ماند: هم الکترون‌ها (سمت راست) وهم پوزیترون‌ها (سمت چپ) رو به بالا گسیل می‌شوند.کادرهای مستطیل شکل تأثیر آینه‌ی CP را بر انواع ذره‌هاو از آن میان مزون‌های خنثای K۱ و K۲نشان می‌دهند.

هر کدام از این مزون‌ها از میزان مساوی مزون‌های Koو Ko- تشکیل شده‌اند. (اختلاط ذره‌ها یکی از پدیده‌های‌شگفت است که مکانیک کوانتومی آن را پیش‌بینی کرده‌است). به هر ذره یک تابع موج وابسته است که خواص آن‌تا حد زیادی به خواص موج آب یا موج نور همانند است.این تابع موج توصیف کننده‌ی ویژگی‌های ذره است. تابع‌موج وابسته به مزون K۱ در آینه‌ی CP متقارن است و تابع‌موج وابسته به مزون K۲ پاد متقارن است (علامت منفی‌در بخش راست مربوط به این نکته است.)»

اما در سال ۱۹۶۴ جیمز کرونین و وال منچ از دانشگاه پرینستون به هنگام کار در بروک هی‌ون نشان دادند که نقض‌های کوچک تقارن CP در عمل روی می‌دهد. من درباره‌ی آزمایش آنها بحث می‌کنم ولی در این‌جا به یک نتیجه‌ی مرتبط به آن توجه می‌کنم که درک آن آسان‌تر است. اگر آلیس به باریکه‌ای از مزون‌های k^+ که دارای‌بار مثبت‌اند شتاب بدهد تا دارای انرژی بالایی شوند و این باریکه را به سوی یک قطعه مس هدایت کند، باریکه‌ای از مزون‌های خنثای K^- از مس بیرون می‌آید. آلیس خواهد دید که در فاصله‌ی دور از هدف، مزون خنثای K واپاشی می‌یابد و در بیشتر موارد به پوزیترون و گاهی هم به الکترون تبدیل می‌شود. آلیس از طریق آینه‌ی CP باریکه‌ای از مزون‌های منفی K^- (پادذره‌های مزون‌های K^+) را به سوی یک قطعه پاد مس شتاب می‌دهد. باز هم مزون‌های خنثای K بیرون می‌آیند و به الکترون وپوزیترون واپاشی می‌یابند که تعداد دفعات واپاشی به‌پوزیترون اندکی بیشتر است. چون در هر دو مورد مزون‌های خنثای K بیشتر به پوزیترون واپاشی می‌یابند، تقارن CP به هم می‌خورد و آلیس می‌تواند دریابد که آیا در خانه است یا از آینه‌ی P و آینه‌ی C گذشته است.

آلیس برای تعیین این موضوع بر این واقعیت



«تصویر ۴ـ نقص آینه‌ی CP آن‌گونه که آلیس نشان می‌دهد. آلیس باریکه‌ای از مزون‌های مثبت K+ را به‌سوی یک هدف مسی شتاب می‌دهد (سمت چپ) تاباریکه‌ای از مزون‌های خنثای K^* از آن به بیرون روان‌شود. مؤلفه‌ی KLمزون‌های K^* به سرعت به جفت‌های‌مزون واپاشی می‌یابند و مؤلفه K۲ مدتی راه می‌پیماید وسپس به ذره‌ای به نام مزون KL و مقدار اندکی مؤلفه K۱تبدیل می‌شود. این ترکیب KL به پوزیترون و الکترون‌واپاشی می‌یابد که مقدار پوزیترون آن بیش از الکترون‌است. آلیس در آینه‌ی CP نیز هم‌زمان به باریکه‌ی‌مزون‌های منفی K^-به سوی هدف پادسی شتاب می‌دهد(بخش راست) تا مزون‌های خنثای K- از سوی دیگر آن‌به بیرون روان شوند. مؤلفه K۱مزون‌های K۰ زود به‌جفت‌های مزون واپاشی می‌یابند و مؤلفه K۲ را برجامی‌نهند. مزون‌های K۲ پس از پیمودن مسافتی به‌مزون‌های KLواپاشی می‌یابند که آنها هم به نوبه‌ی خودبه الکترون و پوزیترون واپاشی می‌یابند که باز هم تعدادپوزیترون‌ها بیشتر است. از آن‌جا که در هر دو موردذره‌هایی که در اصل مزون‌های خنثای K۲ بوده‌اند طی‌واپاشی بیشتر به پوزیترون تبدیل می‌شوند، تقارن CPنقض می‌شود. آلیس با در نظر گرفتن این واقعیت که میدان‌مغناطیسی می‌تواند مسیر ذره‌ی باردار را که عمود برمیدان در حرکت است تغییر دهد می‌تواند تعیین کند که آیااز آینه‌ی CP گذشته است یا نه. در این‌جا هم می‌توان گفت‌که در جهان واقعی میدان مغناطیسی حاصل از گردش‌پادساعتگرد الکترون‌ها رو به پایین است. در آینه‌ی CP، پوزیترون‌ها با گردش ساعتگرد خود میدانی ایجاد می‌کنندکه آن هم رو به پایین است. آلیس متوجه می‌شود که‌پوزیترون‌های مزون K۲ به سوی خود او منحرف می‌شوند،در حالی که آلیس در آینه‌ی CPمی‌بیند که پوزیترون‌ها ازاو دور می‌شوند. بدین ترتیب تقارن آینه‌ی CP نقض‌می‌شود.»

تأکید می‌کند که میدان مغناطیسی مسیر حرکت ذره‌ی باردار را تغییر می‌دهد. او در جستجوی خود با اندازه‌گیری میزان انحراف مسیر پوزیترون‌های دارای بار مثبت و الکترون‌های دارای بار مثبت حاصل از واپاشی‌ی مزون‌های K پیش می‌رود. در این‌جا هم در خانه میدان مغناطیسی رو به پایین با گردش پادساعتگرد الکترون‌ها درحلقه ایجاد می‌شود. در آینه‌ی CP میدان مغناطیسی باگردش ساعتگرد پوزیترون‌ها در حلقه ایجاد می‌شود و رو به پایین است. آلیس می‌بیند که محصولات اصلی واپاشی مزون‌های خنثای K (یعنی پوزیترون‌ها) به سوی خود او منحرف می‌شود در حالی که آلیس آینه‌ی CP می‌بیند که این محصولات از او دور می‌شوند (تصویر ۴). آلیس بامشاهده انحراف می‌تواند تعیین کند که در کجا است. آزمایش نشان می‌دهد که همه چیز تحت اثر ترکیب بازتاب در آینه‌ی P و تبدیل ذره به پادذره در آینه‌ی C ناوردا نمی‌مانند.

آزمایش، هم نشان می‌دهد که میان ماده و پادماده، تفاوتی ژرف و بنیادی وجود دارد و هم ادعای تقارن CP رارد می‌کند. به موجب تقارن CP جهان ضرورتاً نباید دارای ماده‌ی اضافی باشد. ما از ویژگی دقیق ساز و کاری که به وجود ماده‌ی اضافی انجامیده است و ما و جهان ما را از آن آفریده است آگاهی نداریم، اما با توجه به آزمایش آلیس می‌دانیم که وجود ما با تقارن‌هایی که می‌بینیم تناقضی ندارد.

فهم کامل‌تر تقارن CP نیازمند فهم و شناخت کامل‌تر ذراتی است که از تقارن پیروی می‌کنند. چرا مزون خنثای K بدین شیوه رفتار می‌کند؟

تا این‌جا به خاطر رعایت سادگی از مزون خنثای K چنان یاد کرده‌ام که گویی نوع یگانه‌ای از ذره است. جهان واقعی پیچیده‌تر از این است. نخست با مزون K خنثایی سرو کار داریم که با نشانه‌ی K^0 مشخص می‌شود، به جز آن باپادذره‌ی آن یعنی مزون K^{-0} سر و کار داریم خط بالای K صرفاً پاد ذره بودن K را نشان می‌دهد.

البته مزون خنثای K الزامی ندارد که یا به صورت K^0و یا k^{-0} باشد و می‌تواند آمیزه‌ای از هر دو باشد. مفهوم‌این‌گونه آمیختگی در نظر کسانی که مزون‌ها را ذراتی‌مانند گلوله یا خرده‌های سنگ تجسم می‌کنند عجیب جلوه می‌کند ولی برای کسانی که آنها را برحسب توصیف آنها در مکانیک کوانتومی به پیروی از دوبروی به صورت امواجی با ویژگی‌هایی همانند امواج سطح در ذهن خود مجسم می‌کنند جای تعجب نمی‌ماند. حتی می‌توان گفت به همان شیوه که می‌توان با برهم‌نهی‌ی دامنه‌های دو موج، امواج تازه‌ای ایجاد کرد، می‌شود با برهم نهی‌ی دامنه‌های k^0 و K^{-0} مزون‌های خنثای K تازه‌ای به وجود آورد.

با هر درصد دلخواه اختلاط K و K^0 می‌توان مزون خنثای K به وجود آورد. ولی ما برای کار خودمان تنها به مزون k۱ و k۲ نیاز داریم که اولی از درهم آمیختن مقدارهای مساوی دامنه‌های K^0 و K^{-0} و دومی از تفاضل دامنه‌های مساوی K^0 و K^{-0} به دست می‌آید. به طور کلی می‌توان K۱ و K۲ را نیم ذره و نیم پادذره دانست.

هیچ برهان از پیشی وجود ندارد که بر پایه آن بتوان مزون‌های K^0 و K^{-0} را ذرات «خالص» و مزون‌های K۱ وK۲ را آمیزه به شمار آورد. حتی می‌توان مزون‌های K۱ وK۲ را مزون‌های پایه و K^0 و K^{-0} را آمیزه دانست. مزون K^0 حاصل جمع K۲ و K۱ (K^0=K۱+K۲) و مزون K^{-0}حاصل تفریق K۲ و K۱ (K^{-0}=K۱-K۲) است.

هنگامی که آلیس هدف مسی را با مزون‌های K^+ که دارای بار مثبت بودند بمباران کرد، مزون‌های بی‌بار K^0 از آن به بیرون گسیل شد و هنگامی که آلیس جهان PC هدف پادمسی را با مزون‌های منفی K^- بمباران کرد مزون‌های بی‌بار K^{-0} از آن گسیل شد. دیدیم که هر یک از این پرتوهای آغازین مزون‌های K^0 و K^{-0} را می‌توان آمیزه‌ای از مقدارهای یکسان

مزون‌های K۱ و K۲ دانست. همنه K۱ هر دو پرتو تقریباً به سرعت به جفت ذره‌هایی واپاشی می‌یابد که مزون خوانده می‌شوند و همنه K۲ آنها برجا می‌ماند.

بخش K^0 مزون K۲ واپاشی می‌یابد و به پوزیترون بدل می‌شود و بخش K^0 که با آن هم‌اندازه است واپاشی می‌یابد و به الکترون تبدیل می‌شود، بنابراین در واپاشی‌ی K۲ شمار پوزیترون‌ها بر شمار الکترون‌ها برتری ندارد و مشاهده‌ی این واپاشی نمی‌تواند به آلیس نشان دهد که درکجا است. اما خطای نقض ناوردایی CP در آینه به گونه‌ای‌خود به خود بخش اندکی از K۱ را با K۲ درمی‌آمیزد و ترکیبی به نام KL به وجود می‌آورد و KL همراه با K^0 که اندکی بزرگ‌تر از بخش $\bar{K}$ است در بیشتر موارد به جای واپاشیدن به الکترون به پوزیترون واپاشی می‌یابد. (L آغاز اصطلاح Long-Lived به معنای دراز عمر است). آلیس برای تعیین جای خود از همین تأثیر نقض ناوردایی CP بهره می‌گیرد.

نقض ناوردایی CP ناشی از افزودن بخش K۱ به K۲ برای ایجاد KL از یک راه دیگر هم آشکار می‌شود. کرونین و فیچ در ۱۹۶۴ واپاشی‌ی KL به دو مزون را مشاهده کردند. این واپاشی از بخش K۱ متعلق به KL سرچشمه می‌گیرد و K۲ عملا هرگز به دو مزون واپاشی نمی‌یابد.

تفاوت شیوه‌ی واپاشی مزون‌های K۱ و K۲ در ویژگی‌های CP ذرات ریشه دارد. در بازتابش از روی آینه‌ی CP کامل دامنه‌ی موج K۱ مانند دامنه‌ی موج توصیف کننده‌ی دو مزون بی‌تغییر می‌ماند، ولی دامنه‌ی‌موج K۲ برعکس می‌شود یا به عبارت دیگر تغییر علامت می‌دهد. در نتیجه K۱ بسیار زود به جفت مزون‌های و جفت‌های واپاشی می‌یابد در حالی K۲ واپاشی نمی‌یابد.(K۲ به گونه‌ای کند به شیوه‌ای دیگر واپاشی می‌یابد).

کرونین و فیچ هم مانند آلیس، کار خود را با باریکه‌ی مزون‌های K^0 آغاز کردند [تصویر ۶].

در این‌جا هم‌مولفه‌ی K۱ بی‌درنگ به جفت مزون‌های واپاشی یافت ومؤلفه‌ی K۲ برجا ماند. اگر آینه‌ی CP کامل بود. مزون K به‌صورت مزون K۲ برجا می‌ماند و به جفت پوزیترون واپاشی نمی‌یافت. اما بی‌تقارنی CP چنان عمل می‌کند که K۲ خود به خود مقدار اندکی بر دامنه K۱ بیفزاید و از طریق آن دامنه $_{۵۰۰}$ مزون‌های K۱ بتوانند به جفت مزون‌های واپاشی بیابند.

آیا آینه‌ی CP برای نظام‌هایی که با مزون K سر و کارندارند شکسته است؟ فیزیکدان‌ها کاملاً مطمئن‌اند که نقص آینه‌ی CP جهانی است، ولی بزرگی‌ی تأثیرهای آن کمتر از آن به نظر می‌رسد که در دیگر مجموعه‌های مورد پژوهش هم دیده شود. پس شاید یک نیروی جدید بسیار ضعیف مسئول این پدیده باشد. ویژگی‌های این نیرو کدامند؟

متوجه شده‌ام که نقض CP در مزون K را می‌توان به‌منزله‌ی افزایش بخش کوچکی از مزون K۱ به مزون K۲ توضیح داد یا به سخن دیگر بخش کوچکی از مزون K^0 که‌خود بخشی از K۲ است به مزون K^0 تبدیل می‌شود.

مزون‌ها را ترکیب‌هایی از کوارک‌ها و پادکوارک‌ها می‌دانیم. مثلا مزون K از دو کوارک پایین و شگفت و دوکوارک پاد پایین و پادشگفت ترکیب شده است و مزون K^0 از یک کوارک پایین و یک کوارک پادشگفت و مزون K^0 از یک کوارک شگفت و یک کوارک پاد پایین ترکیب شده‌اند. برای آن که مزون K^0 به مزون K^0 تبدیل شود باید دو رویداد روی بدهد: یک کوارک پاد پایین باید به یک کوارک پاد شگفت و یک کوارک شگفت به یک‌کوارک پایین تبدیل شوند. (کوارک‌ها به پاد کوارک تبدیل نمی‌شوند). این‌گونه دگرگونی‌ها در کوارک‌ها با نیروهای ضعیف صورت می‌گیرند ولی CP را پایسته نگه می‌دارند به طوری که تغییر در یک جهت (K^0 به K^0) از تغییر معکوس آن (K^0 به K^0) محتمل‌تر نباشد. پس تغییر خالص صورت نمی‌گیرد یعنی آینه‌ی CP نمی‌شکند.

اما وجود نیروی نامتقارن CP می‌تواند باعث نقض ناوردایی CP شود که مشاهده شدنی است. نیرو می‌بایست یک کوارک پاد پایین را به یک کوارک پاد شگفت تبدیل کند و احتمال این امر بیش از تبدیل کوارک پاد شگفت به‌کوارک پاد پایین باشد، همچنین یک کوارک شگفت را به‌کوارک پایین تبدیل کند و احتمال این امر بیش از احتمال تبدیل کوارک پایین به کوارک شگفت باشد. از آن‌جا که مزون K^0 به ندرت به مزون $\bar{K}^0$ تبدیل می‌شود، ممکن است این گذار از با هم روی دادن تصادفی دو فرایند مستقل نسبتاً نادر باشد. نقض CP در اثر با هم روی دادن گذار نسبتاً نامحتمل و متقارن CP حاصل از تأثیر نیروی ضعیف و گذار تا حدودی محتمل‌تر و نامتقارن CP حاصل از نیروهای نامتقارن CP صورت بگیرد. (احتمال دومی ۵۰۰ برابر احتمال اولی است). این نیروی نسبتاً ضعیف را نیروی میلی ضعیف می‌خوانیم (که ۱۰۰۰ برابر ضعیف‌تراز نیروی ضعیف است).

پیداست که مجموعه‌ی مزون‌های K خنثا، نظامی تشکیل می‌دهد که زمینه را برای آزمون‌های نقض ناوردایی‌ی CPبسیار حساس آماده می‌کند. آیا نظام دیگری هم از این نوع وجود دارد؟ کار تازه‌ای که در شتاب‌دهنده‌ی الکترون ـ پوزیترون DESY در هامبورگ انجام شد به افزایش علاقه به نظام مزون B خنثا انجامید که قرینه‌های مهمی در برابر نظام مزون‌های K دارد. همان‌گونه که مزون‌های K خنثا از کوارک‌های پایین و پادشگفت یا پاد پایین و شگفت بر ساخته می‌شوند، مزون‌های B هم از کوارک‌های پایین و پادته با پاد پایین‌و ته ترکیب می‌شوند. کوارک‌های ته مانند کوارک‌های شگفت‌اند تنها بسیار سنگین‌تر یعنی ده بار سنگین‌تر از آنها هستند. اما نظر خود من آن است که جرم زیاد مزون B از میان عوامل دیگر به گونه‌ای عمل می‌کند که نمی‌توانیم انتظار داشته باشیم که در آینده نزدیک مطالب زیادی درباره‌ی نقض ناوردایی CP در پژوهش‌های مزون B بیاموزیم.

فرضیه‌ی وجود نیروی میلی ضعیف پرکشش است اما اشکال آن در این است که نیرو ممکن است به حد کافی ضعیف نباشد؛ چرا مشاهده‌ی نقض CP باید به مزون خنثای K محدود باشد؟ نیروی متقارن CP با قدرتی در حد خیلی‌ضعیف باید در جایی خود را نشان دهد. آیا می‌توان نیروی بسیار ضعیف‌تری را در نقص آینه‌ی CP مؤثر دانست؟ ظاهراً باید همین طور باشد. لینکلن ولفنستاین از دانشگاه کارنگی ـ ملون پیشنهاد کرده است که به جای با هم روی دادن یک گذار ضعیف و یک گذار میلی‌ضعیف، می‌توان نقض ناوردایی CP را حاصل تأثیر یک نیروی فوق‌العاده ضعیف دانست که طی یک بار عمل کردن، هر دو تغییر را ایجاد می‌کند. این نیرو که می‌توان آن را نیروی ابر ضعیف متناقض نامید یک میلیارد بار ضعیف‌تر از نیروی ضعیف است و مشاهده‌ی آن در جای دیگر بسیار دشوار است.

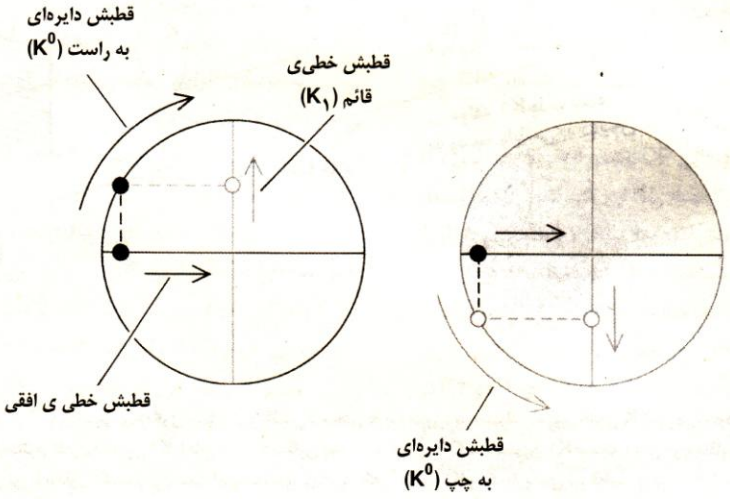
دو مفهوم میلی‌ضعیف و ابرضعیف بیش از آن که دونظریه باشند دو مجموعه نظریه هستند. بیشتر پژوهش‌های CP به سوی ردیابی تأثیرهای میلی ضعیف جهت می‌گیرند.این جستجوها تاکنون به نتیجه‌ی مثبت نرسیده‌اند. ولی تاهمین اواخر نتایج منفی پژوهش‌ها را نمی‌شد دلیلی بر کنارنهادن الگوهای میلی ضعیف دانست چون هیچ پیش‌بینی‌درباره پی‌آمدهای این الگوها ارائه نشده است. اکنون تأیید کاملا ویژه‌ای درباره‌ی نیروی میلی ضعیف باپیشگامی فردریک جی گیلمن از دانشگاه استنفورد ومارک وایز از نهاد فناوری کالیفرنیا در نظریه‌پردازی آغازشده است و با کارهای دیگران ادامه یافته است. مزون K۲طبق نظریه در مقام حاصل اثر نیروهای میلی ضعیف‌نامتقارن CPعلاوه بر آن که بخشی به مزون K۱تبدیل‌می‌شود مستقیماً به دو مزون هم واپاشی می‌یابد.

واپاشی‌ی مستقیم مزون K۲ به یک جفت مزون باواپاشی‌ی مزون K۱ به یک جفت مزون متفاوت است وبنابراین باید ردیابی‌پذیر باشد. در واپاشی‌ی

مزون K_1 به‌یک جفت مزون احتمال واپاشی مستقیم آن به مزون‌های ودو برابر احتمال واپاشی آن به دو مزون است. در مورد K_2وارون این نکته درست است یعنی احتمال واپاشی به دومزون در مورد آن دو برابر است. در نبود واپاشی‌های‌مستقیم K_2، مزون KL تنها از طریق بخش K_1 خود به دوپیون واپاشی می‌یابد و سپس نسبت بار دو پیون K_1 رانشان می‌دهد. اگر از طریق بخش K_1 K_2 هم واپاشی‌مستقیم به دو پیون صورت بگیرد این نسبت تعدیل‌می‌شود. نظریه‌های گوناگون نامتقارن بودن CPگوناگونی‌هایی پیش‌بینی می‌کنند ولی تقریباً همگی به‌تعدیل‌های اساسی‌ی نسبت دو به یک در واپاشی‌های‌خالص K_1 می‌رسند.

مقیاس کلی پدیده باید در حدود ۳۰درصد باشد.

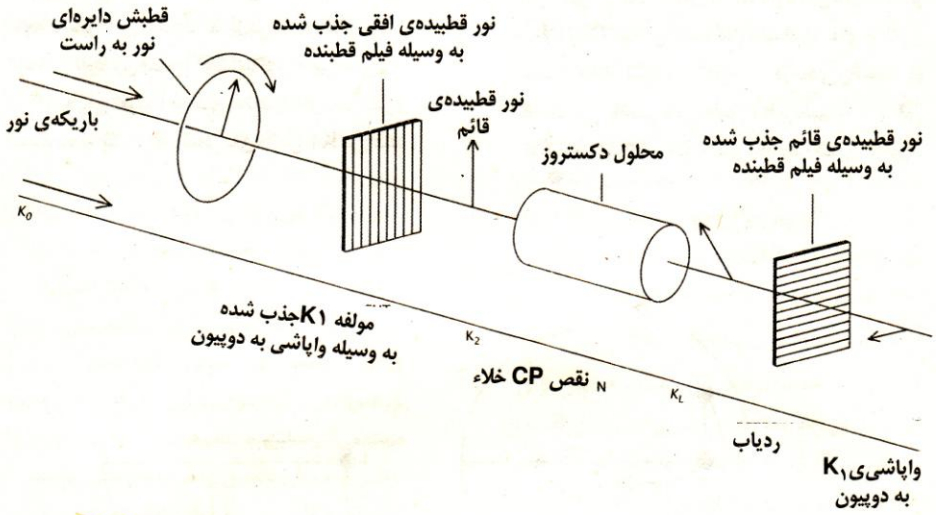
نخستین آزمایش‌ها این تفاوت سی درصدی را رد می‌کردند، اما پاره‌ای از مدل‌های نظری تأثیرهای‌کوچکتری را هم پیش‌بینی می‌کردند. آزمایش‌های جدید در چندین نهاد و دانشگاه نشان داده‌اند که تفاوت می‌تواند کمتر از ده درصد باشد و بدین شیوه پاره‌ای از مدل‌های جالب میلی ضعیف نقض ناوردایی ی cp را کنار زده‌اند. باآزمایش‌های جدیدتر در CERN امید آن است که به‌حساسیت‌های بالاتری دست یافته شود و به تفاوت دو درصدی‌ی نسبت دو به یک در واپاشی‌های خالص k_1 برسیم. خطا آن قدر کوچک است که صفر را کنار بگذارد. اکنون تلاش‌ها



تصویر ۵ : «همانندی‌ی ویژگی‌های نور و مزون‌های خنثای K می‌تواند «آمیزه‌ی» این مزون‌ها را توضیح دهد. نور به‌شیوه‌های گوناگون قطبیده می‌شود. فرض کنید باریکه‌ای ازنور از صفحه به بیرون بتابد. اگر میدان‌های نوسانگرالکتریکی این باریکه در صفحه به راست و چپ نوسان کنند، نور در راستای افقی قطبیده می‌شود. مزون K_1 با این‌گونه قطبش متناظر است. اگر میدان‌ها در صفحه به بالا و پایین نوسان کنند باریکه در راستای قائم قطبیده می‌شود و مزون K_2 با این‌گونه قطبش متناظر است. اگر جهت میدان الکتریکی به صورت دایره‌ای در همان جهتی بچرخدکه پیچ می‌چرخد و در مهره فرو می‌رود نور قطبش دایره‌ای می‌یابد و در جهت راست قطبش دایره‌ای پیدامی‌کند که با مزون K^0 متناظر است و در جهت عکس نورقطبش چپ دایره‌ای می‌یابد که با مزون $\bar{K}^0$ متناظر است. قطبش دایره‌ای در جهت راست برآیند قطبش‌های خطی‌ی‌افقی و قائم است (چپ) در حالی که قطبش دایره‌ای درجهت چپ تفاضل آنها است. اگر در سنجش پیش برویم‌دامنه‌ی موج مزون K^0 مجموع دامنه‌های K_1 و K_2 است. ($K^0=K_1+K_2$) و دامنه‌ی موج مزون $\bar{K}^0$ تفاضل آنها است($K^0=K_1-K_2$)

در راستای پالایش فهم منابع خطا متمرکز است. چند سال دیگر خواهیم دانست که آیا باد تقارن CP معلول نیروی میلی ضعیف است و آیا وردایی‌ی ناشی از واپاشی‌ی خالص کمتر از یک درصد است و باد تقارن CP احتمالا ناشی از اثر نیروی ابر ضعیف است. نتیجه هرچه باشد قیدهایی بر شکل معادله‌ی بزرگ اعمال می‌کند و ما را به فهم جهان نزدیک‌تر می‌کند.

نوشته رابرت. ک. ادر
ترجمه: علی معصومی
از Scientific American ,February ۱۹۸۸



«تصویر ۶ ـ تقارن CP به شیوه‌ی دیگری متمایز از واپاشی‌ترجیحی به پوزیترون، به وسیله‌ی مزون خنثای K نقض‌می‌شود. «تصویر ۴». این نقض مستلزم گذار یک مزون K۲ با تابع موج پاد متقارن نسبت به آینه‌ی CP به یک‌موزن K۱ است با تابع موج متقارن. این نقض همانندانددرکنش نور با محلول دکستروز است. این همانندی بایک باریکه‌ی مزون K^0 و یک باریکه‌ی نور قطبیده‌ی‌چپگرد آغاز می‌شود. مؤلفه K۱ مزون K^0 واپاشی می‌یابدو مؤلفه‌ی K۲ را ترک می‌کند. همزمان با این‌ها یک قطعه‌فیلم قطبنده از عبور مؤلفه‌ی افقی نور جلوگیری می‌کند وتنها مؤلفه‌ی قائم را از خود می‌گذراند. به هنگام گذشتن‌مزون‌های K۱ از درون فضا، نقض CP روی می‌دهد و بخشی از آنها را به مزون‌های K۱تبدیل می‌کند (ترکیب آنها مزون KL است)، به همین شیوه، محلول دکستروز یک‌مؤلفه‌ی کوچک نور را از حالت قطبیده‌ی قائم به حالت‌قطبیده افقی می‌چرخاند. در نتیجه مزون‌های K۱ در جایی‌که پیشتر وجود نداشتند و نور قطبیده هم در جایی که‌پیشتر وجود نداشت آفریده می‌شوند. «چرخش» مزون‌های K۲ با CP پاد متقارن به مزون‌های K۱ با CP متقارن تنها نقض تقارن CP است که تا امروز می‌شناسیم.»

کشیدن جعبه
ارائه قیدها و قید ارائه‌ها

زاویه‌ی بهینه برای کشیدن یک جعبه بر روی زمین وبه حرکت درآوردن آن با طناب با کمترین نیرو چگونه تعیین می‌شود؟ یکی از راه‌های به دست آوردن این زاویه‌آن است که از رابطه‌ی نیرو با زاویه برحسب زاویه مشتق‌بگیریم و درگیر روابط پیچیده‌ی جبری بشویم. می‌توان‌مشتق را از راه‌های ساده‌ی هندسی و مثلثاتی به دست‌آورد و در ضمن این عمل به شیوه‌ی دیگری از اندیشیدن‌به نیروهای اصطکاک و نیروهای عمودی اشاره کرد. با این‌شیوه‌ی اندیشیدن به نکته‌هایی درباره‌ی محدودیت‌های‌احتمالی‌ی نخستین روش ارائه که برای حل مسأله‌برمی‌گزینیم به ارزش ارائه‌های دیگر برمی‌خوریم و متوجه‌می‌شویم که ما دبیران سه نیروی «قیدی»ی عمود،اصطکاک ایستایی و کنش را چگونه ارائه می‌کنیم.

مشتق‌گیری برای به دست آوردن زاویه‌ی بهینه

برای کشیدن جعبه بدون نیاز به عملیات جبری و...

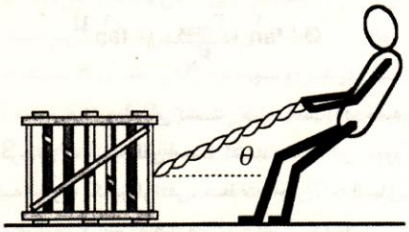
در شکل (۱) چها رنیرو بر جعبه وارد می‌شود:

۱) نیروی گرانش $Fg=mg$ که از طرف زمین وارد می‌شود

۲) نیروی واکنش عمودی سطح

۳) F_N نیروی اصطلکاک‌ایستایی که باز هم از سوی سطح بر جعبه وارد می‌شود F_S

و ۴) نیروی کشش طناب



برای به دست آوردن کمترین نیروی کششی که بتواند بر نیروی اصطکاک ایستایی چیره شود باید زاویه‌ای را برگزینیم که نیروهای واکنش عمودی و اصطکاک ایستایی را بدون کاهش همنه‌ی افقی نیروی کشش به گونه‌ای‌کاهش دهد که تغییرهای دیگر بی‌اثر بمانند.

نخست باید اشاره شود که در واقع تنها سه نیرو بر جعبه وارد می‌شود و نیروی واکنش عمودی و اصطکاک در واقع همنه‌های یک نیرو هستند که از سوی سطح بر جعبه وارد می‌شود.

همچنین باید دانست که هنگامی که نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه است نیرویی که سطح بر جعبه وارد می‌کند راستای معین و ثابتی دارد، چون اگر نیرو ثابت باشد با تغییر یکی از همنه‌ها دیگری هم به همان نسبت تغییر می‌کند.

$$F_{max}=\mu_s F_N$$

سومین نکته آن است که به جای نمودار آزاد بهتر است به شیوه‌ی جمع‌برداری با روش رسم چند ضلعی بپردازیم. در این حالت شتاب و برآیند نیروها صفر است.

از میان سه نیروی بالا تنها نیروی گرانش ثابت است (شکل ۲ـ الف) اندازه‌ی نیرویی که سطح بر جعبه

وارد می‌کند متغیر است ولی راستای ثابتی دارد و ما در آغاز آن را با خط نقطه‌چین نمایش می‌دهیم و زاویه‌ی آن، با راستای قائم را با حرف Ø نمایش می‌دهیم که (شکل ۲ ـ ب)

$$Ø = \tan^{-1}\left(\frac{F_{max}}{F_N}\right) = \tan^{-1}\mu_s$$

سومین نیرو، نیروی کشش طناب است. اگر جعبه درحالی که طناب افقی است کشیده شود این نیرو به صورت یک بردار افقی، خط نقطه‌چین را به انتهای بردار نروی گرانش متصل می‌کند و (شکل ۲ پ)

$$F_T = F_g \tan Ø = \mu_s mg$$

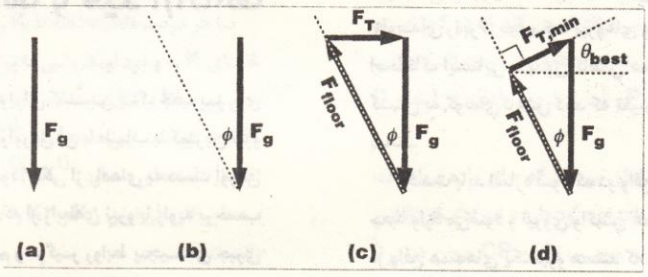
پس باید ببینیم بردار F_T را چگونه از خط نقطه‌چین تا انتهای نیروی گرانش رسم کنیم که اندازه‌ی آن کمینه باشد. پاسخ آن است که F_T باید بر خط نقطه‌چین عمود باشد. (شکل ۲ ـ ت). زاویه‌ای که این بردار با راستای افق می‌سازد با زاویه‌ی Ø برابر است پس

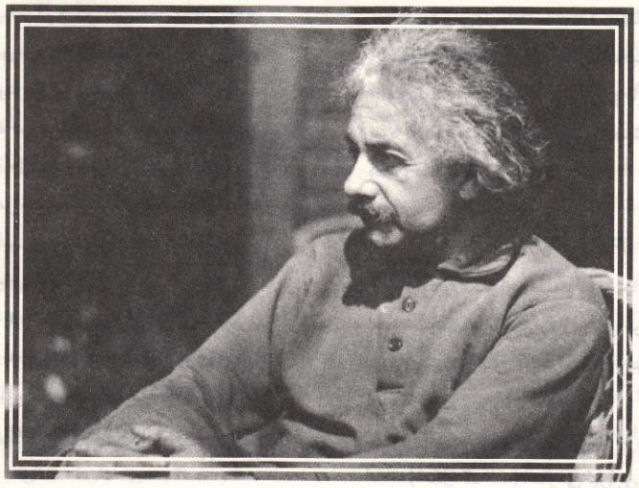
$$\theta_b = Ø = \tan^{-1}\mu_s \qquad \text{(زاویه مناسب)}$$

و این همان نتیجه‌ای است که با مشتق‌گیری از راه روابط جبری به دست می‌آید.

برای به دست آوردن کمترین نروی کشش می‌توان نوشت:

$$F_{T\,min} = F_g \sin Ø = \frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu_s^2}}$$





از آبشار نیفتیم!

تعیین راهبرد بهینه برای گذشتن از رودخانه با قایق با کمترین انتقال در سوی جریان آب مایه‌ی پرسش‌های ساده‌ای می‌شود. برحسب آن که سرعت قایق بیشتر یا کمتر از سرعت جریان آب باشد دو رابطه‌ی مختلف اما همانند خواهیم داشت. اگر حرکت قایق را رو به بالای آبشار در نظر بگیریم موضوع جالب‌تر می‌شود.

موقعیت ۱)

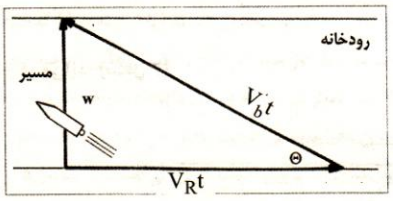
اگر سرعت قایق V_b بزرگ‌تر از سرعت جریان آب V_Rباشد، مسیر حرکت قایق باید با خط ساحل چه زاویه‌ای بسازد تا جابه‌جایی آن در سوی جریان آب و زمان حرکت آن کمترین اندازه را داشته باشند؟ در این حالت چه مدت طول می‌کشد تا عرض رودخانه پیموده شود؟ کمترین جابه‌جایی در سوی جریان چقدر است؟

چون $V_b > V_R$ است، قایق می‌تواند چنان جهت‌گیری کند که یکراست عرض رودخانه را بپیماید. با نزدیک شدن V_b و V_R به یکدیگر زاویه‌ی محور طولی قایق با خط کرانه کاهش می‌یابد. اندازه‌ی مؤلفه‌ی سرعت قایق در راستای مخالف جریان با اندازه‌ی مؤلفه‌ی سرعت جریان برابر است. اگر زمان پیمودن عرض رودخانه t باشد آنگاه

$V_R t = V_b t \cos\theta$ و در نتیجه:

$$\cos\theta = \frac{R}{b}$$

از این رابطه اندازه‌ی زاویه‌ی بهینه به دست می‌آید و در این حالت جابه‌جایی در سوی جریان صفر است (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت ۱ سرعت قایق بیش از سرعت جریان آب رودخانه

زمان پیمودن عرض رودخانه از رابطه $t = \frac{d}{b\sin\theta}$ به دست می‌آید که در آن W عرض رودخانه است. با زیادتر شدن سرعت آب رودخانه یا کمتر شدن سرعت قایق، θ کاهش و t افزایش می‌یابد، چون مؤلفه در عرض کاهش می‌یابد.

اما اگر سرعت رودخانه بیشتر باشد چه روی می‌دهد؟

اگر $V_b < V_R$ باشد، نمی‌توان زاویه‌ای یافت که قایق با جهت‌گیری در آن راستا بتواند یکراست عرض رودخانه را بپیماید، اما می‌توان زاویه‌ای یافت که جابه‌جایی در سوی جریان رودخانه را به کمترین مقدار برساند. هنگامی که قایق عرض رودخانه را می‌پیماید، آب رودخانه به اندازه‌ی $V_R t$ رو به پایین می‌رود و مؤلفه‌ی جابجایی قایق $V_b t \cos\theta$ رو به بالا است. جابه‌جایی در جهت جریان از رابطه‌ی

$$m = V_R t - V_b t \cos\theta$$

به دست می‌آید. ولی چون $t = \frac{W}{V_b \sin\theta}$

مشتق اول این رابطه نسبت به θ برابر است با:

$$\frac{dm}{d\Theta} = \frac{dV_b^2 \sin^2\Theta - dV_b R\cos\Theta + dV_b^2\cos^2\Theta}{V_b \sin^2\Theta}$$

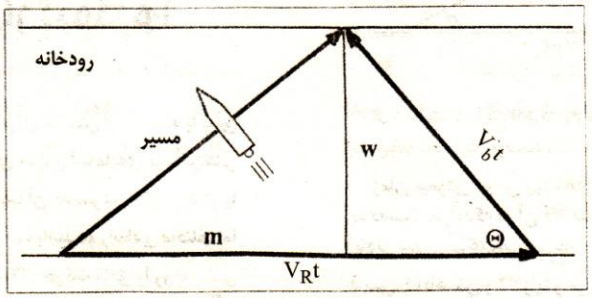
اگر این رابطه را برابر با صفر بگیریم به این نتیجه می‌رسیم که

$$\cos\Theta = \frac{V_b}{V_R}$$

از این رابطه زاویه‌ی بهینه به راحتی به دست می‌آید و کمترین جابه‌جایی در جهت جریان هم به صورت:

$$m = \left(\frac{d}{V_b}\right)\left(R^2 - V_b^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

در می‌آید (شکل ۲)



کارآمدترین راهبرد، آن‌چه را که با عزیمت سرراست‌در خلاف جهت جریان به دست می‌آید با مزیت صرف‌کردن زمان کوتاه حرکت بر روی آب ترازمند می‌کند. باافزایش سرعت جریان آب، اندازه‌ی زاویه‌ی بهینه افزایش‌می‌یابد. سودمندی‌ی هدف‌گیری‌ی حرکت قایق در خلاف‌جهت جریان با افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد و ازآن مهم‌تر مستقیم رفتن در عرض در کوتاه‌ترین زمان نیزچندان سودی نخواهد داشت.

با آن که در این مورد هم معادله‌ی محاسبه‌ی زمان‌پیمودن عرض رودخانه با مورد اول همانند است، می‌توان‌زمان را برای شرایط گوناگون به دست آورد. برای گروه‌قایق‌هایی که در مورد همه‌ی آنها $V_b < V_R$ است و بازاویه‌ی بهینه عرض رودخانه را می‌پیمایند، هرچه V_b بزرگ‌تر باشد جابه‌جایی در جهت جریان کمتر و هرچه V_b کوچک‌تر باشد این جابه‌جایی بیشتر است. البته قایق‌هایی‌که بیشترین و کمترین سرعت را داشته باشند نسبت به‌قایق‌هایی که سرعت‌های متوسطی دارند مدت بیشتری درسفر خواهند بود. زمان گذار رو از آن از کمترین زمان درمی‌گذرد که در سرعت‌های بالا بهتر است. جابه‌جایی را درکمترین میزان نگه داشت تا هجوم مستقیم برخلاف جریان‌امکان‌پذیر و مؤلفه در عرض رودخانه کمتر شود. قایق‌های‌کندروتر بهتر است یکراست در عرض رودخانه حرکت‌کنند ولی زمان حرکت آنها نسبتاً زیاد خواهد بود. زاویه‌برای کوتاه‌ترین زمان گذار را می‌توان با گرفتن مشتق اول رابطه‌ی $t = \frac{d}{V_b \sin\Theta}$ نسبت به V_b به دست آورد:

با جا دادن $\cos\Theta = \frac{V_b}{R}$ خواهیم داشت:

$$\frac{dt}{dv_b} = -\frac{d}{Vb^2 \sin\Theta} - \frac{d\cos\Theta}{(V_b \sin^2\Theta)} \frac{d\Theta}{dV_b}$$

$$\frac{d\cos\Theta}{d\Theta} \times \frac{d\Theta}{dV_b} = \frac{1}{R}$$

$$\rightarrow \frac{d\Theta}{dv_b} = -\frac{1}{R\sin\Theta} \rightarrow \frac{dt}{dv_b} = -\frac{d}{Vb^2 \sin\Theta} + \frac{d\cos\Theta}{RV_b \sin^3\Theta}$$

اگر این رابطه را برابر با صفر بگیریم:

$$\frac{\cos\Theta}{\sin^2\Theta} = \frac{V_R}{Vb}$$

و چون: $\cos\Theta = \frac{V_b}{V_R}$

$$\frac{\cos^2\Theta}{\sin^2\Theta} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{V_R}{V_b} = \frac{1}{\cos\Theta}$$

از سوی دیگر می‌دانیم که

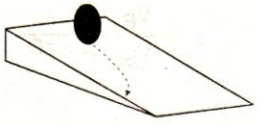
$$\cos^2\Theta - \sin^2\Theta = 0 \rightarrow 1 - 2\sin^2\Theta = 0 \rightarrow \Theta = \frac{\pi}{4}$$

پس قایق‌هایی که سرعتشان به اندازه‌ای باشد که زاویه‌ی بهینه برای کمترین جابه‌جایی در جهت جریان برای آنها ۴۵ باشد، زمان حرکتشان کمترین مقدار اما جابه‌جایی‌شان متوسط است. البته شرایط برای یک قایق با سرعت‌های متفاوت جریان مختلف است. با افزایش سرعت جریان آب در یک رودخانه با عرض معین، زاویه‌ی بیشتر می‌شود وکمترین جابه‌جایی افزایش می‌یابد و زمان سفر کوتاه می‌شود.

جهان واقعی

قایقران می‌تواند زاویه‌ی بهینه را برای کمترین جابه‌جایی در جهت جریان حفظ کند بدون آن که عملاً ازسرعت آب یا قایق آگاه باشد چون، مسیر و جهت حرکت قایق برهم عمودند. می‌توان یک ابزار مشاهده را عمود برمحور قایق نصب کرد. بهترین مسیر در صورتی به دست می‌آید که این ابزار همواره به سوی دو نقطه در دو سوی ساحل هدف‌گیری شده بماند. اگر بیش از اندازه کوچک باشد این دستگاه حرکت در جهت جریان را نسبت به هرمجموعه نقاط نشان می‌دهد و اگر بیش از اندازه بزرگ باشد، حرکت را نسبت به مجموعه‌ی نقاط در جهت مخالف نشان می‌دهد. اگر سرعت جریان ثابت و تنظیم بدون فوت وقت صورت بگیرد، این مجموعه‌های دو نقطه، نقطه‌ی‌عزیمت و نقطه‌ی مقصد در ساحل روبه‌رو خواهند بود. اگرنقطه‌ی مقصد بیش از اندازه پایین باشد بهتر است از پیمودن عرض چشم‌پوشی شود!

یک آزمایش جالب و ساده مغناطیس غلتان



وسائل مورد نیاز:

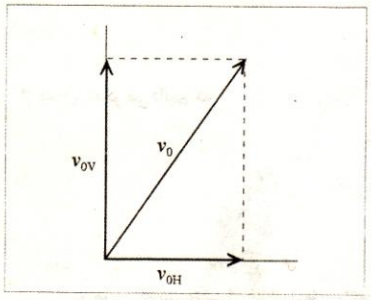
۱ـ یک گرده‌ی مغناطیسی ۲ـ یک قطعه‌تخته‌ی صاف

شرح آزمایش: تخته را طوری قرار دهید که سطح شیب‌داری با شیب جزیی تشکیل دهد. حال گرده‌ی‌مغناطیسی را از بالای سطح شیب‌دار به غلتش وا دارید. با شگفتی خواهید دید که حتی در غیاب مواد مغناطیسی در اطراف سطح شیب‌دار، قرص مغناطیسی مسیر خمیده‌ای را می‌پیماید. در صورتی که گرده را ۱۸۰ درجه بگردانیم و آزمایش را تکرار کنیم. خواهیم دید که گرده مسیر خمیده‌ای در خلاف سوی مسیر اول می‌پیماید.

میزان خمیدگی بستگی به جهت شیب سطح شیب‌دار دارد. با این آزمایش می‌توان به آسانی قطب‌های گرده رامشخص کرد. با تغییر شرایط اولیه می‌توان با رسم نوعی نمودار به بررسی کمی مسأله پرداخت و آن را به یک بازی‌ی آموزشی تبدیل کرد. بدیهی است که این بازی آموزشی می‌تواند ذهن‌های خلاق دانش‌آموزان را برای نوآوری بیدار کند.

حرکت پرتابی بدون توابع مثلثاتی

در این مقاله برداشتی از حرکت پرتابی را فراهم می‌کنیم که قابل دسترس برای دانش‌آموزانی باشد که بامثلثات آشنا نباشند اما دانش مختصری از جبر مقدماتی و قضیه‌ی فیثاغورث داشته باشند. در این نگرش، سرعت اولیه پرتاب را ترکیبی از دو مؤلفه افقی V_{0X} و مؤلفه قائم V_{0Y} در نظر می‌گیریم. این برداشت در تقابل با رهیافت متداولی است که سرعت اولیه پرتابه و زاویه پرتاب اولیه را در نظر می‌گیرند.



حرکت پرتابه‌ای را که با سرعت اولیه V_0 به طرف بالاپرتاب شده می‌توان ترکیبی از دو حرکت افقی و قائم درنظر گرفت که سرعت اولیه این دو حرکت به ترتیب‌مؤلفه‌های افقی و قائم سرعت اولیه پرتابه است.

مکان اولیه‌ی ذره را مبدأ مختصات می‌گیریم و از مقاومت هوا چشم‌پوشی می‌کنیم. با توجه به معادلات حرکت راست خط با شتاب ثابت می‌توان نوشت:

$$V_X=V_{0x} \quad \text{الف - ۱} \rightarrow \quad X=V_{0x}t \quad \text{ب - ۱}$$

که X و t به ترتیب مسافت افقی پیموده شده و زمان پرتاب‌است.

به همین ترتیب می‌توان سرعت قائم پرتابه و جابه‌جایی‌قائم آن را به صورت زیر نوشت:

$V_y=V_{0y}- gt$ ۲ - الف

$y = Voyt - \frac{۱}{۲}gt^۲$ ۲ - ب

که در آن **g** بزرگی شتاب گرانش زمین است.

بـا توجه به معادلات بـالا می‌توان مکان و سـرعت پرتابه را در هر لحظه **t** به دست آورد هم چنین می‌توان معادله مسـیر پرتابـه را با ترکیب معـادلات (۱ ـ ب) و (۲ ـ ب) به صورت زیر به دست آورد:

$$y = - \frac{g}{۲Vo^۲x} x^۲ + \frac{Voy}{Vox} X$$

همان‌طـوری کـه دیـده می‌شـود مسـیر پرتابـه یـک سهمی‌کاو واژگون است.

طول برد پرتابه را می‌توان با جایگزینی صفر به جای **y** در معادله (۳) به دست آورد حل این معادله دو جواب **x** ۰= و طول برد را خواهد داشت:

$$X=R=\frac{2V_{0x} V_{0y}}{g}$$

بـا توجـه به معادلـه بالا فـوراً درمی‌یابیـم که بـه ازای دوشـرط اولیه طول برد یکسـانی خواهیم داشـت، مثلا می‌توان‌جـای $V0_x$ و $V0_y$ را با هم عوض کرد. در این صـورت به‌ازای دو زاویه پرتاب که متمم یکدیگرند یک برد به دست می‌آید. البته دو پرتابه‌ی هم برد ارتفاع‌های اوج متفاوتی دارند. با اسـتفاده از معادلات (۲ ـ الف) و (۲ ـ ب) می‌توان نشـان داد که پرتابه‌ای که سـرعت اولیـه‌ی قائم بیشـتری دارد بـه ارتفـاع اوج بیشـتری می‌رسد.

یافتن شـرایطی کـه در آن پرتاب به طول برد بیشـینه برسد دشوار نخواهد بود.

ابتدا با اسـتفاده از قضیه‌ی فیثاغورث می‌توان نوشـت (شکل ۱ را ببینید)

$V_0^۲=V_0x^۲+V_0y^۲$

حـال معادلـه‌ی (۴) را بـه صـورت $Rg=۲V_{0x}V_{0y}$ می‌نویسیم و آن را از معادله‌ی (۵) می‌کاهیم

$V_0^۲-Rg=V_{0x}^۲+V_{0y}^۲-۲V_{0x}V_{0y}=(V_{0x}-V_{0y})^۲$

بنابراین طول برد به صورت زیر به دست می‌آید.

$$R= \frac{V_0^۲- (V_{0X}-V_{0Y})^۲}{g}$$

از معادله‌ی بالا فوراً می‌توان نتیجه گرفت که وقتی‌طول برد پیشـینه می‌شـود که $V_{0x}=V_{0y}$ باشـد. یعنی وقتی پرتابه درسـت در راستای وسط امتدادهای قائم و افقی پرتاب شود ($\Theta = ۴۵$) طول برد بیشینه است و از رابطه زیر به دست می‌آید. $R_{max} = \frac{V_0^۲}{g}$

اظهارنظر:

در خلال سال‌ها تدریس فیزیک مقدماتی بدون مثلثات یکـی از ما (پیروز مهذبـی) با تعـدادی از دانش‌آموزان علاقمند روبـه‌رو بودیم که می‌خواسـتند بدانند چـرا با زاویه پرتاب **A**=۴۵ طول برد بیشینه می‌شود.

برداشت فوق این نیاز را به انجام می‌رساند و هم‌چنین اجـازه می‌دهد تا سـایر جنبه‌های حرکت پرتابـی را به روش کمـی و بـدون اسـتفاده از توابـع مثلثاتی مـورد بررسی قرارگیرد.

مولفان:

۱ـ پیـروز مهذبـی در سـال ۱۹۷۵ موفـق بـه دریافت مـدرک دکتـرای فیزیـک در علوم مـواد و مهندسـی از دانشـگاه کالیفرنیا در برکلی شـده اسـت. وی در حال حاضر اسـتاد فیزیک در دانشـگاه ویسکانسین ـ پارک ساید است.

۲ـ زهـرا الف. کهنه در سـال ۱۹۹۵ درجه‌ی لیسـانس در ریاضیـات کاربـردی و علوم کامپیوتر را از دانشـگاه ویسکانسـین ـ پـارک سـاید دریافـت کـرده اسـت و هم‌اکنـون به عنوان مربـی ریاضیات مشـغول تدریس است.

ترجمه: صیاد رزم کن

Physics Teacher * Vol , 43 , Feb 2005

مغناطیس زمین

نوشته‌ی هوشنگ حسن‌شاهی

در سال ۱۶۰۰ میلادی ویلیام گیلبرت کره زمین را به عنوان یک مغناطیس بزرگ نام برد چون عقربه‌ی مغناطیسی را منحرف می‌کرد.

فرضیه‌هایی که در این رابطه توسط دانشمندان ارائه شده عبارتند از:

۱ـ فرضیه‌ی مغناطیسی سنگ‌های زمینی: بنا به این فرضیه مغناطیس زمین نتیجه‌ی اثر سنگ‌های مغناطیده‌ای است که در سطح زمین وجود دارند. در این صورت حجمی که با آن سر و کار داریم حجم زمین نیست، بلکه یک پوسته‌ی کروی است که دمای آن برای کانی‌های مغناطیسی پایین‌تر از دمای کوری است. چرا که به ازاء هر کیلومتر که به داخل زمین فرو می‌رویم ۳۰ درجه دما افزایش می‌یابد و در عمق ۲۰ کیلومتری زمین به دمای کوری می‌رسیم و در دمای کوری سنگ‌ها خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند. حرارت کره‌ی زمین معلول مواد رادیواکتیوی است که در داخل زمین وجود دارد و با افزایش عمق، فشار نیز افزایش می‌یابد لذا در آن دما و فشار فوق‌العاده بالا هیچ آهنربای طبیعی نمی‌تواند در مرکز زمین باشد. از طرفی برای ایجاد گشتاور مغناطیسی $۹/۲ \times ۱۰^{۲۵}$ واحد CGS در پوسته‌ی زمین شدتی معادل ۸ واحد CGS لازم است و این مقدار بسیار بزرگ‌تر از مقداری است که در سنگ‌های معمولی پوسته دیده می‌شود به علاوه در این نظریه توصیفی در مورد چگونگی قرار گرفتن راستای میدان در امتداد محور چرخش و تغییر سده‌ای‌ی میدان وجود ندارد.

۲ـ فرضیه‌ی بارهای الکتریکی و جریان الکتریکی در زمین:

بنا به این فرضیه بارها و جریان‌های الکتریکی موجود در زمین مغناطیس زمین را سبب شده‌اند. اما شدت جریان‌لازم برای تولید چنین میدان مغناطیسی در زمین بایستی $۱۰^{۹}$ آمپر باشد که جریان بسیار زیادی است و قابلیت هدایت پوسته‌ی زمین قادر به هدایت چنین جریانی نمی‌باشد همچنین میدان الکتریکی‌ای که این جریان باید مولد آن باشد تاکنون در زمین دیده نشده.

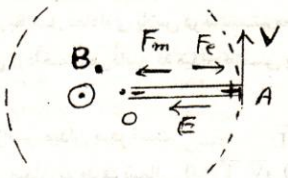
۳ـ نظریه‌ی دینامو یا دینام مغناطیسی:

Self excitingdynamo

در سال ۱۹۱۹ دانشمندی به نام لارمور نظریه‌ی دینام مغناطیسی را پیشنهاد کرد و در سال‌های جنگ جهانی دوم این نظریه توسط الساسر و بولارد ارائه شد. کلمه‌ی دینام از همان دینام دوچرخه گرفته شده حال باید ببینیم در زمین چه می‌گذرد که این شرایط فراهم شده است. وجود مواد رادیواکتیو در زمین آن هم با نیمه عمرهای طولانی سبب شده است تا با افزایش عمق، دمای زمین بالا رود به گونه‌ای که در مرکز زمین انگار که خورشیدی است. از طرفی سنگینی لایه‌های فوقانی فشار را در لایه‌های تحتانی بالا می‌برد. لذا با افزایش عمق فشار نیز بالا می‌رود. تحقیقات ژئوفیزیکی و لرزه‌نگاری نشان داده‌است که هسته‌ی زمین شامل دو قسمت است: هسته‌ی جامد مرکزی و هسته‌ی مایع خارجی. در هسته‌ی مایع زمین که فشار و

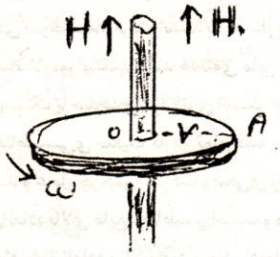
دما فوق‌العاده بالاست همه‌ی اتم‌ها یونیزه شده و مایع مذاب سرتاسر یون است. در این هسته‌عناصری نظیر آهن و نیکل و آلیاژهای مربوط وجود دارند. از طرفی حرکت وضعی زمین حول محورش مایع مذاب را حول این محور به چرخش وا می‌دارد. به طورخلاصه در هسته‌ی زمین بارهای الکتریکی تحت تأثیر دما و فشار فوق‌العاده بالا مثل جوشیدن مایع به غلیان‌در می‌آیند یعنی مایع مذاب باردار حرکتی از پایین به بالا و از بالا به پایین خواهد داشت که حرکتی تلاطمی وحلقوی می‌باشد و سلول انتقال یا هدایت حرارتی thermalconvection است.

از طرفی حرکت وضعی زمین مایع درون هسته راحول محورش با فرکانس ثابتی می‌چرخاند و بنا به روابط $v=rw$ و $a=rw^2$ سرعت و شتاب ذرات درون هسته متفاوت خواهد بود و این اختلاف سرعت حرکت ذرات نیز می‌تواند خود مولد تلاطم و حرکت حلقوی مایع باشد. سرعت متوسط حرکت ذرات درون هسته $\bar{V}=\frac{1}{2}rw$ خواهد بود که r شعاع هسته و w بسامد چرخش وضعی زمین است. اگر میله‌ای رسانا به طول r در میدان مغناطیسی B با بسامد w بچرخد نیروی مغناطیسی وارد بر الکترون‌ها برابر $\vec{F}=e\vec{V}\times\vec{B}$ است و الکترون‌ها را در ناحیه‌ی O و بارهای مثبت را در ناحیه A جای می دهد و در دو سر میله اختلاف پتانسیلی ایجاد می‌شود و میدان الکتریکی E درون میله از A به O و نیروی الکتریکی وارد بر الکترون از O به A $\vec{F_e}=-e\vec{E}$ است و تبادل الکترون تا زمانی که برایند نیروها صفر شود ادامه دارد. پس $f_e=f_m$



نیروی محرکه‌ی القاء شده در دو سر این میله $E=r\bar{E}$ و اختلاف پتانسیل متوسط ایجاد شده در میله $E=\frac{1}{2}r\bar{E}$ و اگر مقاومت الکتریکی میله R باشد $\bar{E}=Ri$ و شدت جریان عبوری در میله برابر با $\bar{E}=\frac{1}{2}rBV\rightarrow i=\frac{1}{2}\frac{rBV}{R}$

اگر دیسکی رسانا به شعاع r در یک میدان مغناطیسی H۰ که موازی محور دیسک است با بسامد w بچرخد میان محیط دیسک و محور آن نیز نیروی محرکه‌ای القاء می‌شود که جریان القایی حاصل از آن از رابطه $i=\frac{1}{2}\times\frac{H\cdot Vr}{R}$ به دست می‌آید که V سرعت حرکت محیط دیسک و r شعاع‌دیسک و R مقاومت الکتریکی دیسک است. این جریان مولد میدان مغناطیسی خواهد بود. اگر $v>\frac{R}{\pi}$ باشد هر میدان اولیه‌کوچکی تقویت می‌شود مشروط بر این که عامل حرکت دیسک بتواند سرعت زاویه‌ای را در مقابل گشتاور نیروی الکترومغناطیسی بازدارنده القاء کند. از طرفی اگر این عامل بتواند فقط گشتاور نیروی ثابتی را به وجود آورد گشتاور نیروی الکترومغناطیسی مخالف به صورت $G=IH\int_0^r rdr=\frac{1}{2}IHr^2$ می‌باشد. اگر دیسک با سرعت زاویه‌ای خیلی بزرگ شروع به حرکت کند میدان H از ابتدای امر تقویت خواهد شد ولی حرکت دیسک کند می‌شود تا جایی که جریان به زیر مقدار بحرانی Ic سقوط کند که در این هنگام دیسک دوباره سرعت می‌گیرد در نتیجه نقشی نسبتاً نامتقارن ولی‌تکراری از تغییر میدان نتیجه می‌شود ولی نه علامت جریان و نه علامت میدان هیچ کدام معکوس نمی‌شوند.



اگر $V > \frac{R}{\pi}$ باشد میدان اولیه به همان صورت پا برجا می‌ماند. در این حالت پایا $\omega = \frac{R}{\pi}$ و آهنگ انرژی ورودی به وسیله‌ی محرک عبارت است از $P = G\omega = \frac{GR}{\pi r} = RIe^{2}$ که انرژی مصرفی درست برابر باانرژی گرمایی در مقاومت اهمی **R** است، در ضمن **G** گشتاور نیروست. در تعمیم دینامو به هسته‌ی زمین همین‌اصول دخالت می‌کند به گونه‌ای که یک دینامو‌ی خودنگهدار به وجود حرکت‌های مناسب و یک چشمه‌ی انرژی برای ادامه حرکت نیاز دارد. چشمه‌ی میدان کوچک اصلی‌برای راه‌اندازی فرایند مسئله‌ی جدی تلقی نمی‌شود چرا که این چشمه را می‌توان در پرتوهای کیهانی و باد خورشیدی در خارج کره زمین جستجو کرد. مسئله‌ی مهم، هیدرودینامیک مغناطیسی یا حرکت مایع مغناطیسی در هسته زمین است. این مایع مغناطیسی را می‌توان به‌صورت یک سیم‌پیچ در نظر گرفت که در اثر حرکت وضعی زمین در میدان خارجی در حال چرخش است لذا براثر تغییر شار مغناطیسی عبوری از سیم‌پیچ در آن جریان القاء خواهد شد و این جریان خود مولد یک میدان مغناطیسی است. ماهواره‌ها وجود میدان مغناطیسی‌خارجی را تأیید می‌کنند و تحقیقات ژئوفیزیکی وجود هسته مایع را نیز تأیید می‌کنند پس حرکت مایع مغناطیسی‌درون هسته نیز بر اثر حرکت وضعی زمین و دما و فشارفوق‌العاده بالا قابل تصور است. اما این چه منبع انرژی‌ای‌است که تاکنون حدود چهار میلیارد سال به زمین انرژی‌داده است و تمام نشده است؟ دینامی که خود به خود کار می‌کند و این اندیشه از آزمایش فارادی سرچشمه گرفته است. بنا به نظریه‌ی دینامو که توسط لارمور پیشنهاد شد هسته‌ی مایع کره زمین مانند دیسک یا صفحه‌ی گرد فلزی است که در یک میدان مغناطیسی‌ی ضعیف که در تمام فضا وجود دارد می‌چرخد و عامل چرخش، حرکت وضعی‌ی زمین و دمای فوق‌العاده بالای مایع مغناطیسی‌است و منبع حرارت و دمای فوق‌العاده بالا وجود مواد رادیواکتیو در داخل زمین است. مثلاً اگر ظرفی پر از آب را روی بخاری بگذاریم و حرارت دهیم آب به جوش می‌آید و مولکول‌های آب به غلیان و حرکت گردابی درمی‌آیند. همچنین سرعت حرکت مایع درون هسته برای ذرات نزدیک‌تر به محور و دورتر از محور متفاوت است. به طوری که ذرات دورتر باید سریع‌تر حرکت کنند و همین اختلاف سرعت حرکت ذرات نیز به مایع مغناطیسی یک حرکت موازی نیز خواهد داد.

پس مایع مغناطیسی هم جریان‌های موازی و هم جریان‌های حلقوی‌ی همرفتی خواهد داشت و همه‌ی این جریان‌ها خود مولد میدان مغناطیسی می‌باشند.

در سال ۱۸۳۹ اولین شخصی که ریاضیات را وارد میدان مغناطیسی زمین کرد گوس آلمانی بود که با فرمول‌های ریاضی و مدل‌سازی و با استفاده از هارمونیک‌های کروی سعی کرد پتانسیلی را به زمین نسبت دهد که مولد میدان مغناطیسی زمین باشد. میدان مغناطیسی‌ی زمین قابل اندازه‌گیری است. حال باید پتانسیل مغناطیسی نرده‌ای مولد این میدان را بیابیم. به عقیده‌ی گوس پتانسیل مغناطیسی‌ی زمین یکی از پاسخ‌های معادله‌ی لاپلاس $\nabla^{2}V=0$ خواهد بود. این پتانسیل را می‌توان برحسب یک سری از توابع هارمونیک کروی بسط داد. اگرچه پتانسیل را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری‌کرد ولی مشتقات پتانسیل و مؤلفه‌های میدان مغناطیسی قابل اندازه‌گیری‌اند.

گوس به حل معادله‌ی پلاس در سیستم مختصات کروی پرداخت. می‌دانیم که میدان مشتق پتانسیل است.

$\vec{E} = -\vec{\nabla}U$ و دیورژانس میدان صفر است.

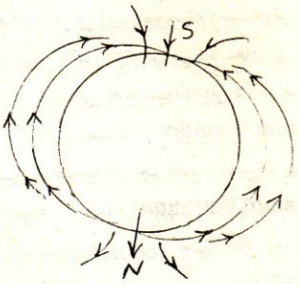
$\vec{\nabla}.\vec{F} = 0$ و $-\nabla^{2}u=0$ مؤلفه‌ی میدان به طرف شمال

مؤلفه‌ی میدان به طرف شمال $x = -\frac{\partial u}{\partial \chi} = -\frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial \theta}$

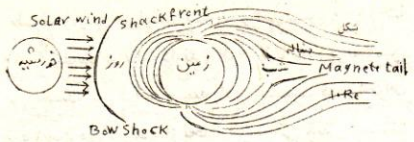
مؤلفه‌ی میدان به طرف شرق $y = -\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial u}{\partial \phi}$

مؤلفه‌ی قائم به طرف Z $Z = -\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial 4}{\partial r}$

به لحاظ عدم وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری در زمان گوس داده‌های کافی وجود نداشت. میدان مغناطیسی‌ی زمین بنا به نظریات گوس و اشمیت ۹۰ درصد منشاء داخلی دارد یعنی از حرکت مایع مغناطیسی ناشی می‌شود که آن را میدان اصلی می‌گویند و ۱۰ درصد بقیه منشاء خارجی دارد و این منشاء را می‌توان در پرتوهای کیهانی یا باد خورشیدی و یونسفر جستجو کرد چرا که در یونسفر یعنی لایه‌ی کروی یون‌ها، جریان الکتریکی وجود دارد و این جریان خود مولد میدان مغناطیسی است.



پس میدان مغناطیسی زمین هم منشاء داخلی دارد و هم منشاء خارجی. حدود ۳۰ سال پیش خطوط میدان مغناطیسی‌ی زمین را متقارن رسم می‌کردند. ولی از زمانی که ماهواره‌ها پیدا شدند تقارن خطوط میدان نفی شد. گویا ذرات باردار و امواج الکترومغناطیسی‌ای که ازخورشید به سمت زمین گسیل می‌شوند یعنی باد خورشیدی خود نیز حامل میدان مغناطیسی است لذا خطوط میدان آن سمت زمین که مقابل خورشید می‌باشد متراکم و فشرده می‌شود و خطوط میدان سمت دیگر زمین از هم وا شده و دنباله‌ای را می‌سازند.



فضایی که در اطراف کره زمین بر اثر بر هم کنش خورشید و زمین ایجاد شده و یونسفر را نیز دربر دارد یعنی کیسه‌ای که حاوی کره‌ی زمین خطوط میدان مغناطیسی زمین و یونسفر می‌باشد مگنتوسفر نام دارد و در مگنتوسفر سه نوع جریان یا هدایت الکتریکی وجود دارد.۱ ـ جریان هال ۲ـ جریان پدرسون ۳ـ جریان موازی

بیش از ۹۸ درصد میدان مغناطیسی‌ی زمین بنا به‌بسط هارمونیک‌های کروی‌ی گوس میدان حاصل از یک‌دو قطبی مغناطیسی است و کمتر از ۲ درصد آن میدان‌حاصل از غیر دوقطبی مغناطیسی می‌باشد که منشاء آن را باید در خارج زمین جستجو کرد. از ارتفاع حدود ۶۰ کیلومتری تا هزار کیلومتری بالای زمین را یونسفر گویند. این لایه کروی در اثر تابش پرتو خورشیدی و برخورد این‌تابش با اتم‌ها و مولکول‌های اتمسفر به وجود می‌آید. یک‌باریکه‌ی نور خورشید حاوی فوتون‌هایی با طول موج‌های مختلف است این فوتون‌ها مولکول‌های جو را تجزیه می‌کند و اتم‌هایشان را به حالت برانگیخته یا یونیزه در می‌آورد. عمل جذب فوتون به وسیله‌ی جو طبق اصل انتخاب انجام می‌شود. اولین ناحیه‌ای که در آن جذب شدید است ناحیه فرو سرخ از ۷۰۰۰ تا 10^8 آنگستروم و دومین ناحیه جذب ناحیه فرابنفش است که توسط ازن انجام می‌شود. لایه‌ی ازن در دو ناحیه ۲۵ و ۱۰۰کیلومتری سطح زمین قرار دارد. تمام حالت‌های جذب پرتوهای خورشید به وسیله‌ی مولکول‌ها و اتم‌های جو باعث تغییری عمیق در جو می‌شود و این تغییر نیز به ارتفاع بستگی دارد و مهم‌ترین نتیجه‌ی اثر پرتوهای‌خورشید در جو تولید یون‌های مثبت و منفی و تشکیل یونسفر است.

علاوه بر نور خورشید ذرات بارداری نیز از خورشیدبه

طـرف زمیـن می‌آینـد کـه سـرعتی بیـن ۱۰۰۰ تـا ۲۰۰۰کیلومتر بر ثانیه دارند و ظرف ۲ تا سه روز به زمین می‌رسـند. این ذرات شـبیه بادی هسـتند که از اطراف کره زمین می‌گذرند و از لحاظ الکتریکی خنثی هسـتند و لیکـن حرکت آنها بـه طرف زمین مثل یـک صفحه‌ی هادی متحرک اسـت و این صفحه‌ی هادی را پلاسـما گویند و میدان مغناطیسـی زمین اجازه ورود این صفحه را به زمین نمی‌دهد. لذا میدان مغناطیسی زمین حرکت کلی‌ی این پلاسـما را تغییر خواهـد داد، نیز هنگامی که یک بار الکتریکی وارد یک میدان مغناطیسـی می‌شود. بدین‌ترتیب بارهای مثبت و منفی‌ی صفحه‌ی پلاسما از هم جدا می‌شوند و اختلاف پتانسیل الکتریکی‌ای ایجاد می‌کنند. لـذا یک میدان الکتریکی نیز خواهیم داشـت. در سـال ۱۸۹۶فیزیکـدان نروژی به نـام بیرک‌لند باد خورشیدی را تشـخیص داد و فیزیکدان دیگری به نام اسـتورمر معادلات حرکـت ذرات باردار موجـود در باد خورشیدی را در میدان الکترومغناطیسی نوشت.

$$m\frac{dv}{dt} = q\,[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{H}] + mg$$

در سـال‌های اخیر دانشـمندی به نام آلفن روی خطوط منجمد شـده‌ی میدان مغناطیسـی بحث کرد. صفحه‌ی هـادی‌ی پلاسـما که در داخـل میـدان مغناطیسـی در حرکت اسـت خطوط میدان را با خود حمل می‌کند یعنی این خطوط در صفحه‌ی پلاسما منجمد می‌شود. چنانکه یک دو قطبی‌ی مغناطیسـی‌ی متحرک ایجاد می‌شود و میدان مغناطیسی‌ی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از حل معادله‌ی فوق فهمیدند که بارهای الکتریکی به دور خطوط میدان حرکتی مارپیچی خواهند داشت. وان آلن در سـال ۱۹۵۸ توسـط ماهواره‌ای به نام **Explorer** دو کمربنـد از ذرات پرانـرژی پروتون و الکتـرون را در اطراف کره زمین کشـف کرد. کمربنـد اول در فاصله‌ای کمتر از **2Re** و شـامل پروتون‌هـای پرانرژی و کمربند دوم در فاصله **Re** ۳/۵ و شـامل الکترون‌های پرانرژی می‌باشـد. این دوکمربند را کمربندهای وان‌آلن نامیدند.

ذرات باردار مثبت و منفی در کمربندهای فوق با حرکت مارپیچی به دورخطوط میدان در نقاطی متوقف شـده و باز می‌گردند این نقاط را نقاط آینه‌ای نامیدند.

الکترون‌های پرانرژی در برخورد با اتم‌ها و مولکول‌های جو نوعی اندرکنش‌های فتوشـیمیایی به وجود می‌آورند کـه تشـدیدی از یک تخلیـه‌ی الکتریکـی در مقیـاس بـزرگ در اطـراف کره زمین اسـت که در حقیقت ایـن پدیده به کل طیف امواج الکترومغناطیسـی بستگی دارد و پرده‌هایـی رنگی درعرض جغرافیایی ۶۷ درجه ایجاد می‌شود. این پدیده را شفق قطبی گویند.

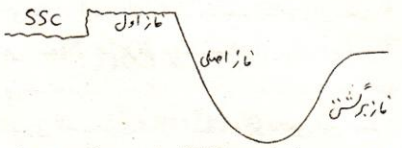
میدان مغناطیسـی‌ی زمین پیوسـته دسـتخوش تغییر بوده و هسـت و تاکنون چندین بار قطب‌های آن عوض شـده است. تغییراتی که منشـاء داخلی دارند تغییراتی آهسـته و طولانی هسـتند. **(Secular Variation)** و تغییراتـی که منشـاء خارجی دارنـد تغییراتی زودگذر و آنی و سـریع می‌باشند. **(transient Variation)** تغییرات آهسـته را با بررسی‌ی سـنگ‌های مغناطیسی و تغییـرات ناگهانـی را بـا بررسـی‌ی فعالیت‌هـای خورشـیدی به انجام می‌رسـانند. تغییـرات ناگهانی‌ی میدان مغناطیسی‌ی زمین به طور متناوب اتفاق می‌افتد و شـامل چندین مرحله اسـت. چنین تغییراتی را توفان مغناطیسـی **(Magnetic Storm)** مـی‌گوینـد کـه شامل مراحل زیر است:

۱ـ شروع ناگهانی توفان **Storm Suden Comencement:** که با یک تغییر ناگهانی در مؤلفه‌ی افقی **H** میدان شروع می‌شود و این پدیده به طور ناگهانی در سرتاسر دنیا در زمانی کمتـر از ۱ دقیقه رخ می‌دهد و تمام ردیاب‌ها آن را ثبت می‌کنند.

۲ـ فـاز اول (initial phase) کـه در این مرحله یک افزایـش ۳۰ تا ۵۰ گامایی در مؤلفه‌ی افقی H خواهیم داشت. این فاز اغلب چند ساعت طول می‌کشد.

۳ـ فـاز دوم یا فاز اصلـی (Main Phase) که بخش اصلـی توفان اسـت و ۲ تا ۱۰ سـاعت طول می‌کشـد و مؤلفـه‌ی افقی‌ی میدان کاهشـی تا حـدود ۱۰۰ گاما خواهد داشت.

۴ـ فـاز برگشـتی بـه حالـت عـادی (recovery phase) که دراین مرحله از توفان میدان مغناطیسـی طی چند روز به‌طور نمایی و آهسته به حالت اولیه‌ی خود باز می‌گردد.



در ضمن در زمان شروع SSC و شروع برگشتی‌ی یک زنجیره از نوسان‌های پیچیده در هر سه مولفه‌ی میدان ظاهر می‌شـود این اغتشـاش‌ها را نوسـان‌های نامنظم می‌گویند. توفان مغناطیسـی کـه تغییرات ناگهانـی‌ی میـدان مغناطیسـی‌ی زمیـن می‌باشـد، بنا بـه قانـون القای الکترومغناطیسی باعث می‌شـود که در لایه‌های رسانای‌کره زمین جریان‌های ادی (eddy current) القاء شـود و میدان‌های مغناطیسـی‌ی ثانویـه‌ای ایجاد کند کـه خود مولـد تغییرات میـدان مغناطیسـی زمین می‌شـود. تغییرات میـدان زمین همبسـتگی‌ی کاملی با چرخه‌ی فعالیت لکه‌های خورشـیدی دارد. خورشید هر ۲۷ روز یـک دور حول محـورش می‌چرخد و بـا همین تنـاوب تعـداد محل لکه‌هـای خورشـید تغییر می‌کنـد و تعـداد لکه‌های خورشـیدی هر ۱۱سـال یک بار بـه بیشـینه‌ی مقدار خود خواهد رسـید. در سطح خورشید آتشفشـان‌هایی زبانه می‌کشـد و تا چند هـزار کیلومتر ذرات بـاردار را پرتـاب می‌کند. و این ذرات بـه صورت باد خورشیدی (Solar wind) ظرف چند روز به زمین می‌رسـد و تغییرات شـدیدی در میدان مغناطیسـی‌ی زمین ایجـاد می‌کند. توفان‌های مغناطیسـی پدیـده‌ی ناگهانی‌نظیر زلزله می‌باشـند ولی توفان جهانی اسـت و زلزلـه محلی‌اسـت. تقریبـاً هـر ۲۷ روز یک توفـان مغناطسی و یک شفق قطبی رخ می‌دهد.

میدان مغناطیسی‌ی زمین اگر تغییراتی یا دوره‌ی ۰/۰۱ تا ۰/۱ ثانیه داشته باشند تغییر قطب و اگر تغییرات۲۴ ساعته داشته باشند، تغییرات روزانه و بالاخره تغییرات با دوره ۱۱ ساله نیز دارند.

تغییرات آهسـته‌ی میدان مغناطیسـی‌ی زمین منشـاء داخلی دارند و به ماه و خورشـید وابسته نیستند بلکه به جریان‌های حلقوی‌ی مایع مغناطیسـی‌ی درون هسـته وابسـته‌اند. مثـلاً میدان مغناطیسـی‌ی زمین هر سـال حدود ۰/۱۸ درجه از شـرق به سـمت غرب در حرکت است (west wards drift).

نانوتکنولوژی از تحقیق تا تولید

مصطفی همت‌آبادی
مدرس دانشگاه صنعتی‌ی شیراز

چکیده

واژه‌ی نانوتکنولوژی، علی‌رغم ایجاد امید در دسـتیابی به محصولات فـوق مدرن، ابهاماتی را نیز باعث شـده اسـت، در این مقاله سعی می‌شود واقعیات این حوزه‌ی نوظهـور از مبهمات و تصورات پیراسـته و توضیح داده شـود. امروزه فناوری‌های منسوب به عصر نو از لابلای اوراق کتاب‌هـای علمـی ـ تخیلی یک یک بـه عرصه‌ی عمل وارد می‌شـوند و نام‌هایی مانند: نانو بیولوژی، نانو

شیمی، نانوفیزیک، نانو کامپیوتینگ، نانو الکترونیک، نانو بافندگی، نانوطب، نانو اپتیک،... جامه‌ی دانش واقعی به خود می‌پوشند.

اندیشه‌ی اولیه‌ی تحقیق در تکنولوژی‌ی نانو مربوط به دو دهه‌ی اخیر و مهندسی‌ی آن مربوط به چند ساله‌ی اخیر است که به یمن وجود میکروسکوپ‌های قوی الکترونی و بازوهای روباتیک میکروسکوپی پدید آمده‌است.

عناوین مورد اشاره در مقاله عبارتند از: تعریف نیروها و حوزه‌های علمی و عملی، آینده، وضعیت پیشرفت و موقعیت جهانی، بازار سرمایه‌گذاری و پیشنهاداتی پیرامون نحوه‌ی برخورد با فناوری‌های قرن جدید درکشور ما.

کلمات کلیدی

مقدمه

نانومتر مقیاسی است به ابعاد ۳ تا ۵ اتم کنار هم و کوتاه‌ترین تعریف برای نانوتکنولوژی این است: جابه‌جایی اتم‌ها و کار با آنها برای ساخت ماشین‌های مکانیکی، بیولوژیک، شیمیایی، و اطلاعاتی در ابعاد مولکولی.

نانو از قلمرو شیمی و فیزیک موجود فراتر می‌رود زیرا در ابعاد اتمی کار می‌کند و در آن مهندسی هم گام با بیولوژی نقش اساسی دارند. بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی، تکنولوژی‌های حالت هوشمند (smartstate) نام گرفته‌اند زیرا محصولات آنان پس از خروج از چرخه‌ی تولید واکنش با محیط را ادامه می‌دهند و در مراحل پیشرفته (که در افقی دور قرار دارد) آثار شبه حیاتی بروز می‌دهند.

راز اصلی نانو در این است که ماشین‌هایی که اتم به اتم و از پایه ساخته شوند، همانند آنزیم‌ها و هورمون‌ها که ماشین‌های بیولوژیک کارانداز سیستم‌های حیاتی هستند، با دقت و قدرت و در پس زمینه عمل خواهند کرد.

نیروهای علمی

این تکنولوژی به دانشمندانی از علوم مختلف و تیم‌های چند رشته‌ای از افرادی با پیش‌زمینه‌ی زیست‌شناسی، طب، ریاضیات کاربردی و محاسبات کامپیوتری، فیزیک، شیمی و مهندسی‌های برق، شیمی و مکانیک نیاز دارد. افرادی که وارد این حوزه می‌شوند حداقل بایستی در زمینه IT مطلع بوده و تجربیات و اطلاعات اولیه از نانو داشته باشند پرورش چنین نیروی کارآمدی مشکل بزرگ دانشگاه‌ها و پژوهش‌گاه‌های دنیا است. طبق یک برآورد در ایالات متحده تنها ۸۰۰دانشجو در سال وارد تحصیلات تکمیلی با گرایش‌های نانو می‌شود، و تعداد کل دانشمندان این رشته و حوزهای وابسته نزدیک به ۲۵۰۰۰ نفر است. به دلیل کمبود نیروی انسانی محتمل است یک مجمع بین‌المللی از دانشمندان تمام کشورها جهت همکاری و همفکری متقابل در این زمینه به وجود آید.

آینده‌ی دور

از نانو ماشین‌ها چه کاری ساخته است؟ ممکن است به درون سلول‌های سرطانی بروند و با تزریق درون سلولی و فوق مؤثر دارو آنها را نابود کنند. یا به درون مولکول‌های لاستیک اتومبیل بروند و میزان باد آن را با استفاده از هوای مجاور ثابت نگه دارند. طراحی مولکولی به تراشه‌ها و حافظه‌ها خاصیت باز تولید و خود ترمیمی و در نتیجه بهای ارزان‌تر و توانایی بیشتر از تکنولوژی امروز خواهد داد. بر روی هم کمتر صنعتی از هجوم نانو در امان‌خواهد ماند.

بعضی افراد نیز خطراتی را برای آینده تصور می‌کنند نظیر خطر ماشین‌هایی با قدرت تکثیر بالا که زمین را تسخیر و نسل بشر را منهدم کنند یا نانوهاگ‌ها و نانوویروس‌هایی که توسط انسان‌های شرور تولید و به داخل بدن نفوذ نمایند.

آینده‌ی قابل پیش‌بینی

امید بستن زیاد به آینده‌ی پیش رو مبالغه‌آمیز است. سرمایه‌داران دره‌ی سیلیکان مترصد سرمایه‌گذاری‌های بزرگ‌اند و روزی را مجسم می‌کنند که کامپیوترها، اتومبیل‌ها و حتی ذرت صبحانه بتوانند خود را باز تولید کنند، یعنی با هزینه‌ای اندک و استفاده از موادی که در دسترسشان قرار می‌گیرد تکثیر شوند. اما حقیقت این است‌که شرکت‌های نانوتکنولوژی‌ی اندکی در عرصه‌ی واقعیت وجود دارند. این حوزه سال‌ها جولانگاه قصه‌های علمی تخیلی بوده و خواهد بود.

تنها حدود یک دهه است که محققان فعالانه در آن‌وارد شده‌اند، لیکن باید اذعان داشت که در چند ساله‌ی اخیر جهشی عظیم واقع شده و محصولاتی نیز تولید و به بازار عرضه شده‌اند.

خوشبینان امکان ارائه‌ی نخستین تولیدات واقعی نانوکامپیوتری را تا ۵ سال دیگر می‌دانند، و بدبینان ظهور ابتدایی‌ترین قطعات را تا ۱۰ سال دیگر نیز ممکن نمی‌دانند.

اما هنوز محصولاتی ارزان قیمت نظیر: مانیتوری به شفافیت و کم‌آزاری‌ی کاغذ گلاسه، لباسی که باسنسورهای کامپیوتری سلامت بدن را چک و آسایش آن‌را فراهم کند، و... به عالم تخیل و آینده‌ی دور تعلق دارند.

پیشرفت‌های امروزه
State of the Art

در این قسمت خلاصه‌ای از وضعیت موجود با استفاده‌از بعضی اصطلاحات و توضیح مختصر آنها خواهد آمد:

۱ـ در دانشگاه کورنل برای پروژه‌ی تولید موتورهای مولکولی از ریبونوکلئیک اسید (که یک آنزیم است) الهام گرفته‌اند. این آنزیم برای حرکت از محلی به محل دیگر از واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌کند.

در نهایت وسیله‌ای نیمه بیولوژیکی ـ نیمه مکانیکی ساخته شده که روتور آن با سرعت ۳ دور در ثانیه می‌چرخد و نمونه‌ای از یک نانوموتور عملی است.

۲ـ دانشگاه آکسفورد با همکاری شرکت بل با استفاده از DNA نانوموتوری را طراحی کرده و ساخته است. این موتور به تنهایی کارایی چندانی ندارد، اما دانشمندان از انبوه آنها به عنوان نیروی محرکه‌ی تأسیسات میکروسکوپی معالج استفاده خواهند کرد. این تأسیسات طوری برنامه‌ریزی می‌شود که پس از تزریق در بدن در نزدیکی تومور پارک کند و دارو را در محل بسازد. و تزریق کند، به نحوی که سایر ارگان‌های بدن از تأثیرات منفی آن در امان بمانند. اما در عضو مورد نظر به حداکثر مؤثر واقع شود.

۳ـ حدود ۳۰ سال دیگر ترانزیستورهای تراشه‌های کامپیوتر با رسیدن به ابعاد ریز نهایی دیگر نمی‌توانند کوچک‌تر شوند، و اگر اکتشاف نوینی پدید نیاید پیشرفت در این تکنولوژی بسیار کند خواهد شد. این جا نانو با جواب‌های مخصوص خود وارد صحنه می‌شود:

الف ـ نانو تیوب کربنی (اختراع شده توسط کمپانی NEC ژاپن در ۱۹۹۱) شامل مولکول‌های کربن است و ۱/۴ نانومتر عرض دارد. این نانو ساختار شبیه یک تیوب خالی است با خواص استثنایی نظیر: قدرت هدایت الکتریسیته، مدوله کردن سیگنال، نشکن بودن، قابلیت خم شدن، و چسبیدن به سطوح.

نانو تیوب کربنی ممکن است سیم‌های رابط کامپیوترهای آینده باشد، زیرا امروز برای فشرده‌تر کردن تراشه‌ها سیم‌های میکروسکپی داخل تراشه را ظریف‌تر و نازک‌تر می‌کنند اما اگر این سیم‌ها به نازکی‌ی چندین اتم شوند طاقت عبور سیگنال را نیاورده و پاره می‌شوند امانانو تیوب‌ها چنین مقاومتی را دارند. آی بی‌ام و دیگران‌در حال مسابقه برای ساخت اولین تراشه‌ی کربنی (جانشین‌تراشه‌ی نیمه هادی) هستند اما همگی در ابتدای راه‌اند.

ب ـ جالب‌تر از این امکان ساخت کامپیوترهای بدون سیم است. آیگلر مهندسی از آی بی ام و همکارانش بااستفاده از چندین اتم موفق به ساخت یک لانه‌ی کوانتومی (quantum corral) شدند که در یک لحظه خاص الکترون‌ها را در سطح اتم مس به دام می‌انداخت، سپس با تعجب دریافتند که اگر الکترون‌های در دام، در یک سطح لانه‌ی کوانتومی توزیع شوند یک کپی کامل از آنها در طرف دیگر لانه پدید می‌آید. اطلاع از طریق ایمپالس الکتریکی سفر نمی‌کند (چنانچه در سیم اتفاق می‌افتد) الکترون‌ها رزونانس می‌کنند و در سمت دیگر، کپی خود را پدیدمی‌آورند (شبیه سفر موج). این راهی نو برای انتقال اطلاع و سمت‌گیری مهمی در ساخت تراشه خواهد بود. در حال حاضر سیم‌های چیپ قادر به تقاطع نیستند و با خمش از روی هم می‌گذرند که به ضخامت و کندی تراشه می‌افزاید. با استفاده از لانه‌های کوانتومی موج‌ها درون هم منتشر خواهند شد، لذا چندین سیگنال می‌توانند هم‌زمان از یک لایه عبور کنند. نتیجه ابعاد کوچک و سرعت است. البته مانند موارد مشابه در آینده پیش‌رو شاهد محصولات واقعی از این دست نخواهیم بود اما وقوع آن در آینده حتمی است.

۳ـ شرکت کربن نانوتکنولوژی (CNI) نانوساختاری بانام single - vall - carbon nano tubes و با نام تجاری bucky tubes را در دست توسعه دارد. مشخصه‌های اصلی باکی تیوب عبارت است از: هدایت الکتریکی بهتر از مس، هدایت حرارتی بهتر از الماس، تحمل کشش بهتر از آهن، سبکی و استحکام. کاربردهای مختلفی برای این ساختار پیش‌بینی می‌شود، از جمله جذب، شیلد کردن، یا تغییر دادن امواج الکترومغناطیس، که در امور نظامی بسیار بااهمیت هستند.

دولت ایالت متحده هم اکنون کاربرد با کی‌تیوب را درجذب امواج راداری، و ناسا در امور فضایی مانند باطری‌های فضایی، سوپر خازن‌ها، سوخت فضایی، شیلد،پوشش و فیبرهای محکم در دست مطالعه دارند.

۴ـ شرکت فوق همچنین Laser oven bucky tube را در تاریخ ۹ ژانویه ۲۰۰۲ به ثبت رسانده، که به تولید صفحه‌ی نمایش‌های مسطح با ضخامت، ولتاژ، مصرف، و بهای بسیار کمتر و وضوح و روشنی بیشتر نسبت به تکنولوژی امروز منجر خواهد شد. این امر تحولی چشمگیر را در صنعت تلویزیون، مانیتور و سکوپ پدید خواهد آورد.

۵ـ شرکت نانترئو که دارای تیم علمی درخشانی است با استفاده از کربن نانو تیوب، حافظه (NRAM high densitynonvolatile RAM chip) را معرفی کرده که به تدریج جانشین حافظه‌های فعلی خواهند شد و نمونه تجاری آن تایکی دو سال آینده به بازار می‌آید. ان‌رم نسبت به انواع فعلی دارای ظرفیت بالاتر (گیگابایت)، سرعت بیشتر، و امکان ساخت آسان‌تر است.

۶ـ در حال حاضر برای سوئیچینگ در مسیرهای بین کامپیوترها از کابل‌های نوری که سر راه آنها قرار می‌گیرد استفاده می‌کنند. شرکت بل ماشین‌های ظریفی را ابداع‌کرده (شبیه لنز) که شبکه‌ای از ابزارها در ابعاد گلبول قرمز را دربر می‌گیرد که هر کدام می‌توانند موج نوری را مدوله و سوئیچ کنند این محصول هم‌اکنون به بازار عرضه شده وشرکت کورویس هم وسیله مشابهی ساخته است. این ابزارها سرعت شبکه‌های نوری را افزایش داده و هزینه‌ی تبادل اطلاع را کاهش می‌دهند. این اولین تجارت واقعی نانو است که تا سال ۲۰۰۴ در انتظار بازاری یک بیلیون دلاری است.

۷ـ دو شرکت یو اس ژنومیکس و ولکام تراست سنگر هم‌کاری در مورد آنالیز خطی دی ان ای DNA را در بررسی ژنوم انسانی آغاز کرده‌اند. دستگاه Gene EngineSequencer دانشمندان را به باز کردن خمش و جداسازی رشته‌های دی ان ای و آر ان ای RNA قادر می‌سازد که بعداً در یک دنباله‌گیر نانو

(Nano Sequencer) به صورت رشته‌های بلند و نشکسته ردیابی می‌شوند. دی ان ای‌خوان مینیاتوری با تکنیک شبیه سی ـ دی خوان کارمی‌کند. هر خال دی ان ای از مقابل یک نانو سنسور عبورکرده و خوانده می‌شود. اطلاعات حاصل از این تکنیک مفیدتر از روش‌های متداول فعلی است. این روش که در آن می‌توان یک مولکول دی ان ای را هم تحلیل کرد کاربردی وسیع در تحقیق، تشخیص، ژنتیک جمعیت، و داروسازی خواهد یافت.

۸ـ شرکت نانو فاز تک امتیاز ساخت یک نانو ذره مرکب را به دست آورده که دارای یک هسته و یک پوسته است. ساختارهای مرکب امکان تولید موادی را فراهم می‌سازد که در آن‌ها بعضی خواص نظیر چگالی توسط هسته و بعضی دیگر نظیر ضریب شکست یا خصوصیات شیمیایی توسط پوسته قابل کنترل و برنامه‌ریزی است.کاربرد آن در کریستال‌ها، مواد الکترومغناطیس، مواد خنثای شیمیایی، قطعات الکترونیکی، و افزوده‌های سوخت است. هم‌چنین در این نانو ذره‌ها امکان ذخیره‌سازی فراوان اکسیژن وجود دارد که به تولید کاتالیست‌های قوی با کارکرد در درجه حرارت‌های بالا منجر می‌شوند که برای تسریع واکنش می‌توانند اکسیژن زیادی آزاد سازند. این شرکت دارای ۳۸ پتنت Patent (ثبت اختراع) در زمینه‌ی مواد نانو است.

۹ـ شرکت سکریپس ریسرچ (TSRI) اعلام کرد راهی برای اتصال تعداد زیادی مولکول به پوسته‌ی نوعی ویروس یافته است که از نتایج درازمدت آن تهیه مدارات بر پوسته ویروس و تهیه کامپیوتر در اشل مولکولی و هم‌چنین نانوسیم‌ها می‌باشد. کاربردهای دیگر آن در علم مواد، پزشکی، و الکترونیک است.

۱۰ـ شرکت نانو تکس تکنولوژی توانسته است نانوذره‌هایی را در سطح مولکولی به پنبه پیوند زند. این کار مثل افزایش یک لایه کتان به فیبر سینتتیک است که خواص پنبه یعنی: نرمی، زیبایی و آسایش و خواص پارچه فابریک یعنی: استحکام، دوام، رنگ‌پذیری و قابلیت انعطاف را یک جا ارایه می‌دهد. این شرکت محصولات فابریک دیگری نیز در دست تولید دارد که یکی از آنها فابریک پنبه‌ای مقاوم در برابر آب و روغن می‌باشد.

۱۱ـ دانشگاه کالیفرنیای جنوبی یک عطیه ۱/۵ میلیونی از بنیاد ملی علوم دریافت کرده تا روبات‌های میکروسکوپی را برای تحت نظر داشتن میکروارگانیسم‌های خطرزای اقیانوس‌ها، که از زباله‌های شهری و کشتی‌ها حاصل می‌شوند، ابداع کند. این تحقیق مجموعه‌ای از نانوروباتیک، کامپیوتر و زیست ـ دریاشناسی را دربر می‌گیرد و شامل تهیه حس‌گرهای مینیاتوری و سیستم‌های نرم‌افزاری است. روبات میکروسکوپی اتصال شیمیایی با ذرات برقرار می‌کند و روی آنها نانوسیم رسوب می‌دهد.

سرمایه‌گذاری

حرکت به سوی تولید یک نانو قطعه‌ی واقعی با بیم و امید همراه است. تردید در این امر به خاطر ریز بودن فوق‌العاده‌ی ابزارهای تولید نانو و فاصله آنها با ابعاد انسانی است. لذا دسترسی به آنها، مربوط و متصل کردن، و کنترل‌شان فقط از طریق نرم‌افزار ممکن است و طبق یک اصل ثابت، نرم‌افزار همواره چند گام عقب‌تر از سخت‌افزار است. و این یکی از نقاط ضعف عمده‌ی تکنولوژی‌ی نانو است. لیکن در ده‌های آینده نانوتکنولوژی میدانی عظیم برای اختراع و تجارت خواهد شد. دانشمندان امید بسیار دارند که ابزارهای نانوانرژی خورشیدی را صید و جنگ پنهان بین‌المللی برای انرژی را به صلح درازمدت تبدیل خواهند کرد، و به معضل زیست محیطی‌ی گرمایش زمین خاتمه می‌دهند. نانو تکنولوژی‌حوزه‌ای دیریاب و زمان‌بر است، و هر پروژه آن برای رسیدن به مقصود به زمانی ۵ تا ۱۰ ساله نیاز دارد. به همین دلیل مستلزم ریسک بالا در بازگشت سرمایه است و بایستی توسط دولت‌ها

پیشنهاد شود.

در کشور ما کمیته مطالعات نانوتکنولوژی در نهاد ریاست جمهوری تشکیل شده تا سیاست‌های کلان این فن- دانش را بررسی و تدوین کند.

در زیر مثال‌هایی از سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی در زمینه نانوتکنولوژی ارایه می‌شود:

۱- در آمریکا شرکت‌های آی بی ام و لوسنت جسورترین سرمایه‌گذاران در نانو هستند، و موتورولا وهیولت پاکارد نیز پروژه‌هایی را در دست دارند. پروفسورسمالی **Smalley** استاد دانشگاه رایس شرکت کربن نانوتکنولوژی را برای تولید نانو تیوب راه‌اندازی کرده، و شرکت زایوکس در تکزاس خود را به عنوان اولین مبدع نانو تکنولوژی مولکولی اعلام کرده است.

۲- در اروپا شرکت فیلیپس دست به یک سرمایه‌گذاری ۱۶۰ میلیون دلاری برای ساخت ابزارهای میکروالکترومکانیکی زده است.

۳- در ژاپن میتسوبیشی با کمک بنیاد نانو تک ونچر ۱۶۰ میلیون دلار بر روی این صنعت سرمایه‌گذاری کرده‌اند. تویوتا و سامسونگ (کره جنوبی) نیز در این زمینه سرمایه‌گذاری بسیاری نموده‌اند.

چشم‌انداز بازار بین‌المللی

این تکنولوژی‌ی جدید پتانسیل چشمگیری برای تغییر در بخش‌های بزرگی از اقتصاد کشورهای صنعتی در دهه‌های آینده دارد. به عنوان مثال:

۱- در ۱۰ الی ۱۵ سال آینده، بازار سالانه ۳۰۰ میلیارد دلاری صنعت نیمه هادی و ۹۰۰ میلیون دلاری مدارات مجتمع تحت تأثیر نانوتکنولوژی خواهد بود.

۲- در حدود نیمی از تولیدات دارویی در ۱۰ الی ۱۵سال آینده (سالانه ۱۸۰ میلیارد دلار) وابسته به نانوتکنولوژی خواهد بود.

۳- بازار سالانه ۱۰۰ میلیارد دلاری کاتالیست‌ها درصنایع نفت و فرآیندهای شیمیایی وابسته به کاتالیست‌های نانو ساختاری خواهد بود.

۴- در ۱۰ الی ۱۵ سال آینده نانوتکنولوژی توانایی کاهش ده درصدی مصرف انرژی و در نتیجه صرفه‌جویی میلیاردها دلار در سال و کاهش ۲۰۰ ملیون تن آلاینده‌های کربنی را خواهد داشت.

۵- در همین مدت بازار سیستم‌های میکروالکترومکانیکال به ۷ بیلیون دلار بالغ خواهد شد.

وضعیت در کشور ما

چنانچه گذشت نانوتکنولوژی در حوزه‌های وسیعی از حیات طبیعی و اجتماعی نظیر غذا، دارو، تشخیص پزشکی، بیوتکنولوژی، الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا، و امنیت ملی اثرگذار خواهد بود. بنابراین نگرش زیربنایی به آن درسطح کشوری ضروری است. این کار در کشور ما با همت‌چند شرکت یا سرمایه‌گذار به سامان نمی‌رسد و به عزم و حمایت ملی نیازمند است.

خوشبختانه کمیته‌ی مطالعات سیاست نانو تکنولوژی در نهاد ریاست جمهوری تشکیل شده است که اهداف خود را چنین ذکر می‌کند: «مطالعه‌ی ابعاد مختلف تکنولوژی نانو، کاربردها و تأثیرات آن در سایر تکنولوژی‌ها، بررسی پتانسیل کشور و نحوه انجام فعالیت‌های تحقیق و توسعه در جمهوری اسلامی ایران.» این کمیته درصدد انتشار مقالات، کتاب‌ها و شناسایی محققان علاقمند ایرانی و غیرایرانی و ارتباط با آنها است که در این زمینه پیشرفت‌هایی نیز حاصل شده است.

درک موقعیت و آغاز حرکت

نخستین گام، اجرای یک پروژه‌ی مطالعاتی در زمینه‌ی موقعیت جهانی نانو و میزان سرمایه‌گذاری و رشد آن در کشورهای پیشرو می‌باشد. تحقیق پیرامون تأسیس آزمایشگاه‌ها، برنامه‌های دانشگاهی، و مراکز پژوهشی

باشناسایی‌ی پتانسیل‌های موجود هدف مرحله‌ی بعدی خواهد بود. توجه فزاینده‌ی کشورهای مختلف به امر نانوما را مجبور می‌سازد که تحقیقات بنیادی در نانو را آغاز و تکنولوژی مورد نیاز را به هر طریق ممکن فراهم کنیم. آنچه مسلم است نیروی کار لازم بایستی در آزمایشگاه‌های پیشرفته آموزش ببیند و پس از ورود دانش و تکنولوی مورد نیاز پایه‌ی اولیه‌ی برای تولید تجاری‌ی آینده حاصل شود.

پی‌آمدهای اجتماعی گسترش این فناوری نیز بایستی‌موضوع مطالعات گسترده قرار گیرد و از هم‌اکنون‌علم‌الاجتماع و اخلاقیات نانو به عنوان مبحثی پیش‌تاز به‌مراکز پژوهش و آموزش عالی راه یابد.

این تکنولوژی می‌تواند در توسعه‌ی تأسیسات صنعتی تغییرات بنیادی پدید آورد و در مناسبات و معادلات مطرح در نیروی کار و نیروی مولد نیز تغییرات اساسی را باعث شود.

بدون تردید مباحث نو ظهور حقوقی نیز در این زمینه پدیدار خواهد شد و حقوق‌دانان و قانون‌گزاران را به خود مشغول خواهد کرد.

از سوی دیگر، اقتصاددانان هنوز تحقیق جدی روی نانوتکنولوژی را آغاز نکرده‌اند. پیش‌بینی متداول این است که ابداعات جدید، گران‌تر ولی با کارآیی بهتر خواهد بود. از این رو محصولات مربوط ابتدا به بازارهایی که الویت را به کیفیت می‌دهند و نه قیمت (مثل درمان، امور فضایی و امنیت) راه خواهند یافت.

جایگزینی‌ی روش‌های متداول تولید با انواع جدید درهمه جا خصوصاً در کشور ما محتاطانه است، و در این‌مورد طبعاً نگاه ما به دیگران خواهد بود. و این وضعیت تازمانی که امکان انتقال و فروش تکنولوژی در بازار رقابت بین‌المللی فراهم نشود شتاب چندانی نخواهد گرفت. این اصل مانع حرکت‌های بنیادین جهت شناخت فن‌آوری و تولید کنندگان بین‌المللی نیست. خصوصاً فعالیت در زمینه‌های نرم‌افزاری و تأمین نیازهای جانبی در حد توان تکنولوژیکی و استعداد دانشمندان جوان ما خواهد بود. هم‌چنین فن‌آوری‌های قدیم برای ادامه‌ی رقابت، و تولیدمحصولات مکمل تابع پیشرفت‌های جدید خواهد شد، که می‌تواند عرصه‌ای مناسب برای گسترش صنایع داخلی باشد. دولت در این بین، نقشی مهم، پرخرج، و ریسک‌پذیر اما پرثمر دارد، که عبارت است از آماده‌سازی اجتماعی، پیش‌بینی صنایع جدید، تعلیم دانشمندان و کارشناسان، و...

برای برآورد این اهداف اتخاذ تدابیر و راه‌کارهای فوق‌العاده و ضربتی، ضرورتی انکارناپذیر است.

لازم به ذکر است که نانوتکنولوژی در زمینه‌ی نیروی انسانی به تیم‌های چندرشته‌ای از افرادی با پیش‌زمینه‌ی زیست‌شناسی، طب، ریاضیات کاربردی و محاسبات کامپیوتری، فیزیک، شیمی و مهندسی‌های برق، شیمی و مکانیک وابسته خواهد بود. پرورش چنین نیروی کارآمد دشواری‌ی بزرگی برای موسسات دانشگاهی ما است. لذا از هم‌اکنون برای رؤیارویی با چالش‌های آینده، بایستی به فکر اعزام دانشجو و ورود نیروی متخصص باشیم.

پیشنهادات

۱ـ شناساندن نانو تکنولوژی در سطح ملی و اطلاع‌رسانی پیرامون اهمیت آن در جهان امروز و آینده و توسعه‌ی عرصه‌های گفتگو و اظهارنظر در این زمینه.

۲ـ پایه‌گذاری‌ی تحقیقات علمی، اجتماعی و اقتصادی روی نانوتکنولوژی.

۳ـ حمایت از کمیته‌ی مطالعات نانوتکنولوژی و کوشش در جهت گسترش و چندجانبه کردن فعالیت‌های آن.

۴ـ پی‌گیری سرمایه‌گذاری و پیشرفت‌های این فن‌آوری در سطح بین‌المللی.

۵ـ تعلیم نسل جدیدی از دانشمندان و نیروی ماهر.

۶ـ وارد نمودن مفاهیم مقیاس نانو در رشته‌های دبیرستانی.

۷ـ ایجاد مشارکت واقعی بین صنعت و مؤسسات آموزشی برای ارایه دوره‌های اینترن شیپ و ایجاد پیش‌زمینه در دانشجویان.

۸ـ ایجاد انجمن‌های غیردولتی و کمک به توسعه‌ی بخش خصوصی در علوم و فناوری نانو.

۹ـ اقناع مسئولان رده‌ی بالا برای حمایت از طرح‌ها و سیاست‌ها در زمینه فن‌آوری نانو.

۱۰ـ تدوین یک پروژه‌ی ملی شامل بررسی و پیش‌بینی مناظر پیش‌رو، میان فاصله و دور.

۱۱ـ سرمایه‌گذاری‌ی واقع‌بینانه در بخش‌هایی که در کوتاه مدت برای ما قابل دسترسی خواهد بود نظیر نرم‌افزار و صنایع مکمل.

۱۲ـ تأسیس رشته‌های دانشگاهی، حتی با اهداف بلندپروازانه، زیرا آموزش و تحقیق می‌تواند چند گام‌جلوتر از تولید حرکت کند. در این راه نباید از ایجاد روابط میان ـ رشته‌ای بین علوم فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، مواد و مهندسی، علوم اجتماعی و اقتصاد غفلت کرد.

۱۳ـ بررسی معضلات و خطرات احتمالی این تکنولوژی با نگاه به آینده.

نتایج

در دهه‌های آینده نانوتکنولوژی میدان گسترده صنعت و تجارت خواهد شد. دانشمندان امید بسیار دارند که ابزارهای نانو انرژی‌ی ارزان خورشیدی را به وفور در اختیار بشر گذاشته و به معضل مرگ‌آور آلودگی محیط زیست پایان دهند.

پروژه‌های این حوزه به کندی پیش می‌رود و برای رسیدن به جواب نهایی به زمان زیاد نیاز دارد و به دلیل ریسک بالا در بازگشت سرمایه بایستی توسط دولت‌ها حمایت شود.

در آینده‌ی نه چندان دور حوزه‌های صنعت و اجتماع تحت تأثیر فن‌آوری نانو قرار خواهند گرفت. لذا ضروری است برای شناخت و تبیین اهمیت آن: اطلاع‌رسانی وسیع، گفتگو و اظهارنظر، تحقیق علمی، اجتماعی، اقتصادی، و سرمایه‌گذاری در بخش‌های قابل دسترس انجام گیرد. درصورت نتیجه بخشی تحقیقات و ادامه کشفیات جهانی، این تکنولوژی چنان گسترشی خواهد یافت که ترکش‌های آن به همه جوامع بشری اصابت خواهد کرد. از هم‌اکنون تدوین یک پروژه ملی در این زمینه قدرت پیش‌بینی و توانایی برخورد ما را با حوادث آینده تضمین می‌نماید.

مراجع

۱ـ کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، تهران

2- No Need To Fear: Nanotechnology is Near
By Kevin Many, 24 Oct 2000.

3- Scientists Create Molecular - Scale Transistor
By Guy Gugliotta, Washington Post. 18 Oct 2001.

4- Small is huge, How is future technology relevant tocurrent pursuits?
By Nelson King Janary 2002.

5- Is small the next big thing?
By Tiffany Kary Staff Writer, February 11, 2002.

6- Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology -Volume 5, issue 17

7- Nanotech News.com

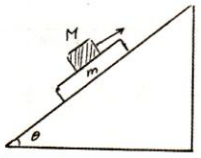
8- Forbes - com - Magazine Aricle.htm

9- CNET News. com

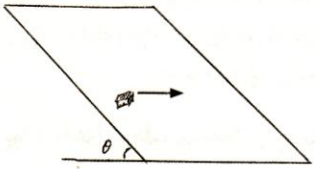
چالش های فیزیکی برای دبیران و دانش آموزان

۱) باز هم چوب و سطح شیب‌دار

قطعه چوبی به جرم m روی یک سطح شیب‌دار بدون اصطکاک به زاویه شیب θ گذاشته شده است. جسمی به جرم M روی قطعه چوب است. اگر به این جسم ضربه سریعی رو به بالا وارد شود با سرعت اولیه V_0 رو به بالا به حرکت در می‌آید. این جسم تا هنگامی که سرعتش به $\frac{V_0}{2}$ برسد چه مسافتی می‌پیماید؟ (قطعه چوب نسبت به سطح ساکن می‌ماند.)

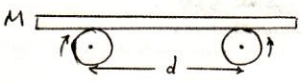


۲ـ نه بالا نه پایین جسمی به جرم m روی یک سطح شیب‌دار به زاویه شیب θ گذاشته شده است. ضریب اصطکاک ایستایی مایل جسم و سطح μ_s است. کمترین نیرویی (F) را که باید بر جسم وارد شود تا روی سطح در مسیری موازی افق حرکت کند، به دست آورید.



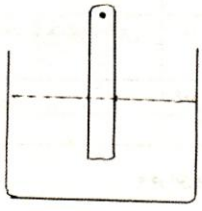
۳ـ چرخش ممنوع

مطابق شکل دو استوانه در دو سوی مخالف در حال‌چرخش‌اند. محور چرخش آنها به اندازه d از هم فاصله دارد. یک قطعه الوار همگن به جرم M به طور افقی روی‌این دو استوانه جا دارد. حرکت الوار را توضیح دهید. ضریب اصطکاک ایستایی میان الوار و استوانه‌ها μ_s است.



٤ـ خیس تا مغز استخوان

انتهای بالایی یک میله‌ی چوبی همگن مطابق شکل به محوری متصل و انتهای پایینی آن در آب است. اگر انتهای بالایی به آرامی رو به بالا کشیده شود در یک لحظه‌ی معین، راستای میله از راستای قائم منحرف می‌شود. در این لحظه چه کسری از طول میله هنوز در آب است؟ چگالی چوب را نصف چگالی آب در نظر بگیرید.



مقایسه‌ای بین حجم کتاب فیزیک و شیمی پیش دانشگاهی

کبری غلامی
دبیر فیزیک منطقه کیش

این موضوع که حجم کتاب فیزیک در دوره‌ی پیش‌دانشگاهی با زمان تدریس آن متناسب نیست همواره از سوی دبیران اعلام شده است که هیچ‌گاه پاسخ قانع‌کننده‌ای از سوی برنامه‌ریزان و مولفان محترم داده نشده است.

این مسأله موجب شد که نگاهی کنجکاوانه‌تر به سایر کتاب‌های این مقطع تحصیلی خصوصاً دروس علوم پایه بیندازیم و ببینیم آیا این موضوع در مورد این درس‌ها صادق است یا خیر؟

در این راستا کتاب‌های فیزیک، شیمی و ریاضی پیش‌دانشگاهی را تنها به طور کمی مورد ارزیابی قرار گرفته که نتیجه‌ی در جدول زیر ارائه شده است.

نام درس	تعداد صفحات	زمان تدریس بر حسب دقیقه در یک سال*	زمان تدریس برای هر صفحه کتاب دریک سال*
فیزیک تجربی	۲۰۴	۳۵۱۰	۱۷/۲۰
ریاضی عمومی	۱۹۱	۳۵۱۰	۱۸/۳۸
فیزیک ریاضی	۲۳۶	۴۶۸۰	۱۹/۸۰
دیفرانسیل	۲۳۰	۴۶۸۰	۲۰/۳۴
ریاضی گسسته	۱۰۵	۲۳۴۰	۳۲/۲۸
جبر خطی و هندسه تحلیلی	۱۵۱	۲۳۴۰	۲۲/۲۸
شیمی	۱۰۶	۴۶۸۰	۵۰/۸۶

* در این بخش صفحاتی که جزء ارزشیابی نیستند محاسبه نشده‌اند.

ایـن که هر درسـی جایگاه خـود را دارد و محتـوای آن مربـوط به متخصصـان آن درس اسـت کاملاً صحیـح اسـت، ولـی هماهنگی میان حجـم و محتوای کتـاب با زمان تدریس آن موضوعی اسـت که بایسـتی در کلیه دروس در نظر گرفته شود.

آن‌چه مسلم است کتاب درسـی نمی‌تواند حجیم باشد ولی محتوا نداشته باشد. پس با پربار بودن کتاب زمان بیشتری برای تدریس مفهومی و دقیق آن لازم است.

در ادامـه دو کتـاب فیزیـک و شـیمی را در ایـن مقطع دقیق‌تر بررسی کرده‌ام و در نتیجه مقایسه‌ای میان این دو کتـاب انجام دادم که نتیجه‌ی آن در جدول زیر ارائه شده است.

عنوان	فیزیک تجربی	فیزیک ریاضی	شیمی هردو رشته
خود آزمایی و تمرین متن	۳۹	۵۴	۲۷
مشاهده کنید وفعالیت	۳۴	۵۱	۶
بیشتر بدانید و مطالعه آزاد	۸	۱۲	۲۸
هم چون دانشمندان	-	-	۷
نمونه حل شده و مثال	۵۶	۶۳	۱۷
تمرین آخر بخش	۱۰۲	۱۲۰	
فکر کنید و پرسش متن	۱۱	۲۳	۲۷
تعداد فصل های کتاب	۸	۸	۴
تعداد صفحات کتاب	۲۶۶	۲۷۷	۱۰۶
جلسات تدریس در هر هفته*	۳	۴	۴
تعداد واحد درسی	۱/۵	۲	۲
تعداد جلسات تدریس دو کتاب در دو ترم*	۷۸	۱۰۴	۱۰۴
زمان تدریس در سال به دقیقه	۳۵۱۰	۴۶۸۰	۴۶۸۰
زمان تدریس برای هر صفحه کتاب به دقیقه**	۱۷/۲۰	۱۹/۸۰	۵۰/۸۶
تعداد صفحات کتاب با حذف قسمت هایی که جزء ارزشیابی نمی باشد	۲۰۴	۲۳۶	۹۲

* هر جلسه درسی ۴۵ دقیقه و هر ترم ۱۳ هفته منظور شده است.
** در این قسمت صفحاتی که جزء ارزشیابی نیستند محاسبه نشده‌اند.

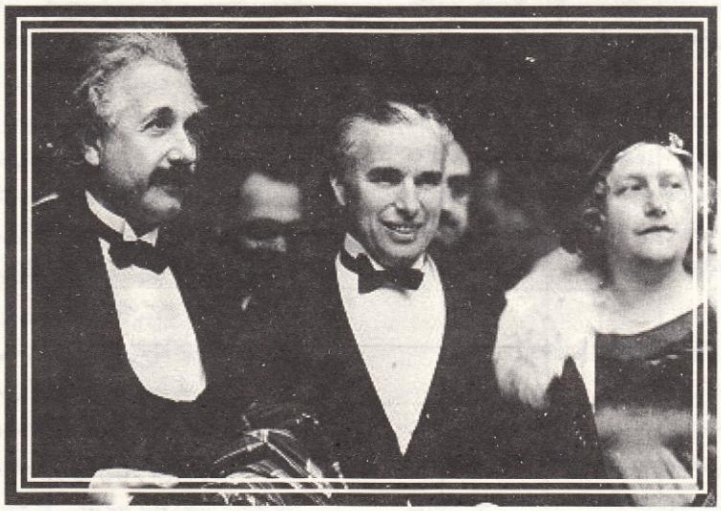
آمار به دست آمده نشان می‌دهد که تقریباً حجم کتاب فیزیک ۲/۵ برابر شیمی است، ولی زمان تدریس آن ۰/۴ زمان تدریس شیمی است. توجه به این نکته لازم است که برای حل تمرین‌ها وقت کافی لازم است، هر مثال‌حل شده خود آموزش یک نکته‌ی درسی است.

با توجه به این که واحد درسی و زمان تدریس برای رشته‌ی ریاضی در طول یک دوره‌ی درسی برای هر دو کتاب یکسان و برای رشته‌ی تجربی در درس فیزیک کمتراست، و تفاوت چشمگیری میان ضریب آنها در کنکور سراسری وجود ندارد، این عدم تناسب در زمان تدریس دو کتاب با حجم آنها چگونه توجیه می‌شود؟

ضمن تشکر مجدد از مولفان و برنامه‌ریزان محترم کتاب‌های درسی و مسئولین محترم آموزش و پرورش تقاضا دارم این مقاله تحقیقی را مطالعه نموده و اگر توضیحی منطقی در رابطه با متناسب بودن حجم این دو کتاب با زمان تدریس آنها در مقایسه با یکدیگر دارند، اعلام فرمایند.

۱) به نظر شما برنامه‌ریزان محترم آموزشی کدام یک صحیح‌تر برنامه‌ریزی شده است؟

۲) آیا یکی از دلایل پایین بودن نمرات فیزیک دانش‌آموزان در کنکور و دبیرستان در مقایسه با شیمی مرتبط با این موضوع نمی‌باشد؟



آلبرت اینشتین و چارلی چاپلین

حل مسائل جامع فیزیک شماره‌ی قبل (سال اول - شماره‌ی دوم)

ترجمه‌ی صیاد رزم‌کن

۱ـ نیروی ثابت F بر جسمی که با سرعت ثابت V درحرکت است وارد می‌شود. پس از بازه‌ی زمانی θ سرعت‌جسم V/2 می‌شود. پس از θ ثانیه‌ی دوم سرعت جسم دوباره نصف می‌شود. سرعت جسم پس از θ ثانیه‌ی سوم از اعمال نیرو چقدر است؟

حل: از صورت مسأله برمی‌آید که نیروی F باید با سرعت اولیه زاویه بسازد. (زیرا اگر $\alpha = 0$ باشد، تغییرات سرعت در فاصله زمان‌های مساوی باید یکسان باشد.)

اگر $\overrightarrow{OA}$ بردار سرعت اولیه، $\overrightarrow{AB}$ بردار تغییر سرعت در بازه‌ی زمانی θ از زمان اعمال نیرو باشد در این صورت اندازه‌ی بردار $\overrightarrow{OB}$ برابر $V_1=V/2$ می‌شود. (V_1 سرعت جسم پس از زمان θ است).

حال بردار $\overrightarrow{BC}$ را که هم‌اندازه با بردار $\overrightarrow{AB}$ است درامتداد $\overrightarrow{AB}$ رسم می‌کنیم. بنابراین اندازه‌ی بردار $\overrightarrow{OC}$ برابر با $V_2=\frac{V}{4}$ می‌گردد. (V_2 سرعت جسم پس از بازه‌ی زمانی ۲θ پس از اعمال نیرو است.) با ادامه‌ی این عمل بردار $\overrightarrow{OD}$ که اندازه‌ی آن V_3 است رسم می‌کنیم (V_3 سرعت جسم پس از بازه‌ی زمانی θ است) اگر بردار $\overrightarrow{AB}$ را روی محورهای X و Y تصویر کنیم، به ترتیب دو مؤلفه‌ی ΔVx و ΔVy به‌دست می‌آید. پس داریم:

$$(V + \Delta V_x)^2 + (\Delta Vy)^2 = (\frac{V}{2})^2$$

$$(V + 2\Delta V_x)^2 + (2\Delta Vy)^2 = (\frac{V}{4})^2$$

با توجه به رابطه زیر سرانجام V_3 به دست می‌آید:

$$V_3^2 = (v + 3\Delta v_x)^2 + (3\Delta Vx)^2$$

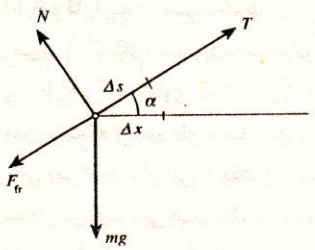
$$V_3 = \frac{V\sqrt{7}}{4}$$

۲ـ کودکی با یک طناب سورتمه‌ای را از تپه‌ی برفی‌بالا می‌کشد. طناب همواره موازی با تپه است. ارتفاع تپه h و طول تپه L و جرم سورتمه m است. کار انجام شده به وسیله کودک را بیابید. ضریب اصطکاک μ را بگیرید.

حل: کار انجام شده برای بالا کشیدن سورتمه، جمع دو قسمت زیر است:

الف ـ کار انجام شده برای غلبه بر نیروی گرانش که از رابطه‌ی wi=mgh به دست می‌آید

ب ـ کار انجام شده برای غلبه بر نیروی اصطکاک W_2 برای محاسبه‌ی W_2، جابه‌جایی‌ی کوچک ΔS را در امتداد تپه در نظر بگیرید. خط مماس در این نقطه با محور افقی زاویه α می‌سازد. (شکل زیر)



چون کودک آهسته بالا می‌رود و نیروی کشش طناب (T) در امتداد ΔS است، می‌توان فرض کرد که سورتمه در حال تعادل قرار دارد. بنابراین داریم:

$$f_k = \mu N = \mu\, mg \cos\alpha$$

کار انجام شده Δw_2 برای غلبه بر اصطکاک در جابه‌جایی‌ی ΔS برابر است با:

$$\Delta w_2 = \mu\, mg \cos\alpha \,.\, \Delta S$$

با توجه به شکل بالا می‌توان دریافت که $\Delta S \cos\alpha$ برابر جابه‌جایی‌ی افقی‌ی سورتمه است و کل کار انجام شده برای غلبه بر اصطکاک در بالا کشیدن سورتمه تا بالای‌تپه برابر است با:

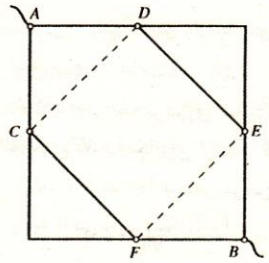
$$w_2 = \mu\, mgl$$

که در آن l طول تپه است.

بنابراین کل کار انجام شده به وسیله‌ی کودک برابراست با:

$$w = w_1 + w_2 = mgh + \mu\, mgl = mg\,(h + \mu l)$$

۳ـ شکل زیر از سیمی با سطح مقطع ثابت ساخته شده‌است. طول ضلع مربع بزرگ a و مقاوت هر متر آن P است. مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B چقدر است؟



حل: نقاط A و B را به دو سر یک باتری به ولتاژ V0 وصل می‌کنیم. آشکار است که نقاط C و D از یک سو و نقاط E و F از سوی دیگر هم پتانسیل‌اند. این بدان معناست که از سیم‌های واصل بین C و D و E و F جریانی نمی‌گذرد. بنابراین با حذف این سیم‌ها مقاومت معادل کل تغییر نمی‌کند. مقاومت معادل این مدار ساده شده آسان است و می‌توان نوشت:

$$R_{AB} = \frac{1}{2}\left[\frac{a}{2}p + \frac{\frac{ap}{\sqrt{2}}\cdot\frac{a}{2}p}{ap + \frac{a}{\sqrt{2}}p}\right] =$$

$$\frac{ap}{2}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}+1}\right) \rightarrow R_{AB} = \frac{ap}{\sqrt{2}}$$

۴ـ اندازه‌گیری نشان می‌دهد که یک آینه‌ی نیمه‌شفاف $\frac{1}{5}$ نور تابش شده را عبور می‌دهد و بقیه را بازتابش می‌کند. اگر دو آینه‌ی مشابه از این نوع را عمود بر شعاع تابش قرار دهیم، می‌توان انتظار داشت که $\frac{1}{25}$ نورتابشی را از خود عبور دهند. اما در حقیقت $\frac{1}{10}$ نورتابشی از دستگاه عبور می‌کند. علت این امر چیست؟

حل: وقتی که نور از آینه‌ی دوم بازتابش می‌کند و به آینه‌ی اول برمی‌گردد، به طور جزیی منعکس می‌شود و به آینه‌ی دوم فرود می‌آید. در این فرآیند، شدت کلی پرتو نور افزایش می‌یابد.

اگر شدت پرتو اولیه‌ی نور را I بگیریم، (به شکل زیر نگاه کنید که برای وضوح بیشتر پرتو فرودی مایل رسم شده است.) شدت پرتو نوری که از آینه‌ی اول عبور کرده است. $I_o = \frac{I}{K}$ (که در آن K ضریب حذف و بنا به صورت مسأله دراین‌جا برابر ۵ است.)

نور محصور شده میان دو آینه به صورت متوالی به‌وسیله‌ی آینه‌ها بازتابش شده و به تدریج ظاهر می‌شود. (زیرا آینه‌ها نیمه شفاف‌اند.) میزان نور ظاهر شده در طرف‌راست تقریباً برابر نور ظاهر شده در طرف چپ است.بنابراین شدت نور عبوری برابر است با:

$$I' \simeq \frac{I_o}{2} = \frac{I}{2k} = \frac{I}{10}$$

این مسأله جواب دقیقی هم دارد. برای تغییر در شدت باریکه‌ی نور پس از بازتابش‌های متوالی می‌توان نوشت:

$I_1 = I_0 (1 - \frac{1}{k})^2$

$I_2 = I_1 (1 - \frac{1}{k})^2 = I_0 (1 - \frac{1}{k})^4$

هر بار که نور بـه آینه‌ی دوم فرود می‌آید، به طورجزیی در سمت راست ظاهر می‌شود:

$I_1 = \frac{I_0}{K}$ و $I_2 = \frac{I_1}{K}$ و $I_3 = \frac{I_2}{K}$ و.....

شدت کلی نور عبوری برابر است با:

$I = I_1 + I_2 + ... = \frac{I}{K} (I_0 + I_1 + ...)$

$I = \frac{I_0}{K} [1 + (1 - \frac{1}{k})^2 + (1 - \frac{1}{k})^4 + ...]$

عبـارت بالا جمع یک سـری هندسـی بـا قدر نسـبت $q = (1 - \frac{I}{K})^2$ است.

بنابراین داریم:

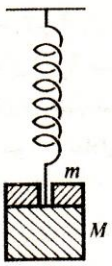
$I' = \frac{I_0}{K} (\frac{1}{1 - q}) = \frac{I_0}{K} (\frac{k^2}{k^2 - (k-1)^2})$

$= \frac{I_0 k}{2k-1} = \frac{I}{2k-1} = \frac{I}{q}$

۵ـ خلبانـان بالگـرد ترجیـح می‌دهنـد کـه در نواحـی کوهسـتانی،صبح زود به پرواز درآینـد. اگر هوای ملایم صبحگاهـی (که‌به نظر می‌رسـد دلیـل این امر باشـد) اثری بر روی این‌موضوع نداشـته باشـد علت واقعی را چه می‌دانید؟

حل: نیروی بالابر بالگرد (و هم‌چنین هواپیما) بستگی‌به چگالی هوا دارد. در صبح‌ها که هوا سـرد اسـت، به طور چشـمگیری چگال‌تر اسـت. به همین سـبب اسـت که بالگردها در صبح‌ها می‌توانند بار بیشتری را حمل کنند. بـرای هواپیماها افزایش نیروی بالابـر در صبح‌ها، فقط به هنگام بلند شـدن و نشسـتن هواپیما مطرح اسـت. برای‌بالگردهـا این امـر در تمام پرواز دخیل اسـت. در هـوای رقیق کوهسـتانی اختـلاف قابل ملاحظه اسـت. بنابراین خلبانان بالگردها ترجیح می‌دهند که در نواحی کوهستانی در هوای غلیظ صبحگاهی به پرواز درآیند.

۶ـ وزنـه‌ای بـه جـرم **m** را روی وزنه دیگری به جـرم **M** که به انتهای فنری آویزان شده است قرار می‌دهیم. در ابتدا جرم **M** را در وضع اولیه نگه می‌داریم و سپس



وزنه‌ها را رها می‌سـازیم. حداکثر نیرویی که وزن **M** بر وزنه‌ی **m** وارد می‌سازد، چقدر است؟

حـل: برای یافتن نیروی **N** که جرم **M** به جرم **m** وارد می‌سازد با توجه به قانون دوم نیوتن می‌توان نوشت:

$ma = mg - N$

وقتـی کـه وزنه‌ها رهـا می‌شـوند دسـتگاهی به جـرم $M+m$ به حرکت نوسـانی سـاده در می‌آید. این بدان معنی اسـت که شـتاب **a** به طور تناوبی تغییر می‌کند. نیروی $N = m(g-a)$ وقتی پیشـینه می‌شود که اندازه‌ی این شـتاب بیشینه و به سوی بالا باشد، یعنی وقتی که فنر بیشترین افزایش طول را داشته باشد.

برای محاسـبه‌ی اندازه‌ی این شتاب، قانون دوم نیوتن را برای جرم $M+m$ به کار می‌بریم:

$(M+m)\alpha = (M+m)g - k\chi$

بـا توجه به قانون پایسـتگی انرژی مکانیکـی و این که بیشـترین افزایش طول فنر (χ_{max}) هنگامی اسـت که سرعت وزنه‌ها صفر باشد می‌توان نوشت:

$(M+m)g\chi_0 + \frac{k}{2}\chi_0^2 = -(M+m)g\chi_{max} + \frac{k}{2}\chi^2_{max}$

اسـت. **m** افزایـش طول فنر بدون جرم X_0 کـه در آن اسـت و روابط (۲) و (۳) $K\chi_0 = Mg$ بـا در نظر گرفتن :می‌توان شتاب بیشینه را به صورت زیر محاسبه نمود

$k\chi max = (M + 2m)g$

$|\alpha_{max}| = |-\frac{m}{M+m}g| = \frac{m}{M+m}g$

$N_{max} = mg\frac{M+2m}{M+m}$

۷ـ یـک مول گاز کامل تک اتمی را درون یک اسـتوانه

وزیر یک پیستون سنگین قرار می‌دهیم. استوانه عایق‌بندی شده و دمای آن T_0 است. با پایین آوردن پیستون، گاز را متراکم می‌کنیم. پس از انجام کار **W**، پیستون را رها می‌سازیم تا به تعادل جدید برسد. دمای گاز را در این حالت بیابید؟

حل: کار انجام شده بر روی دستگاه به تغییرات انرژی درونی گاز Δup و انرژی پتانسیل پیستون Δus تبدیل می‌شود:

$$W = \Delta u_S + \Delta u_p$$

برای یک مول گاز کامل تک اتمی، تغییرات انرژی‌درونی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta u = \frac{3}{2}R(T_X - T_0)$$

تغییرات انرژی پتانسیل پیستون از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Delta u_p = mg\Delta h = ps\Delta h = p\Delta v$$

همان طوری که دیده می‌شود چون پیستون در ابتدا و در پایان در حالت تعادل قرار دارد، نیروی گرانش برابر نیرویی است که از طریق فشار گاز اعمال می‌شود. **(mg=PS)**. باید توجه داشت که از فشار هوای خارج صرف‌نظر شده است.

با توجه به معادله گازهای کامل می‌توان نوشت:

$$\Delta u_p = p\Delta v = R(T_X - T_0)$$

$$W = \frac{3}{2}R(T_X - T_0) + R(T_X - T_0)$$

$$W = \frac{5}{2}R(T_X - T_0) \rightarrow T_X = T_0 \frac{2W}{5R}$$

۸ـ جسمی را در فاصله‌ی **L** از یک پرده و یک عدسی هم‌گرا به فاصله‌ی کانونی‌ی **F** را میان جسم و پرده قرار می‌دهیم. با تغییرات وضعیت عدسی، از جسم دو تصویر بزرگ و کوچک تشکیل می‌شود. نسبت اندازه‌های این دو تصویر را بر حسب **F** و **L** بیابید.

حل: فرض کنید که طول جسم **h** باشد. در این صورت طول تصویر **H=mh** است. بنابراین نسبت اندازه‌های دو تصویر برابر است با:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{m_1 h}{m_2 h} = \frac{\frac{I_1}{O_1}}{\frac{I_2}{O_2}}$$

حال باید O_1 و O_2 و I_1 و I_2 را تعیین کرد. با توجه به فرمول عدسی‌ها داریم:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{F}$$

با توجه به صورت مسأله می‌توان نوشت:

$$O + i = L$$

اگر **O** را در معادلات فوق حذف کنیم معادله زیر را خواهیم داشت:

$$i^2 - iL + FL = 0 \rightarrow i_{1,2} = \frac{L}{2} \pm \frac{\sqrt{L^2 - FL}}{4}$$

با به کارگیری اصل بازگشت نور می‌توان نوشت:

$$O_1 = i_2 \quad و \quad O_2 = i_1$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{i_1}{i_2}\right)^2 = \frac{\frac{L}{2} + \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}}{\frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}}$$

۹ـ نخ سبک و غیرکشسانی را از روی یک قرقره‌سبک عبور می‌دهیم و به طرفین آن دو جرم **۱Kg** و **۳kg** آویزان می‌کنیم. قرقره روی محوری با اصطکاک سوار می‌شود و نیروی اصطکاک متناسب با نیروهای وارد بر محور قرقره است. در این دستگاه شتاب جرم سنگین‌تر **$2m/s^2$** است. چه جرمی را روی جرم کوچک‌تر قرار دهیم تا دستگاه به حالت تعادل قرار گیرد؟

حل: ابتدا نیروی کشش را در دو طرف نخ محاسبه می‌کنیم. اگر نیروی کشش نخ در مجاورت جرم **M=۳kg** را برابر T_1 بگیریم، برای این وزنه می‌توان نوشت:

$$Mg - T_1 = M\alpha \rightarrow T_1 = M(g - a)$$

به همین ترتیب اگر نیروی کشش در طرف دیگر نخ T_2باشد می‌توان نوشت:

$$T_2 - mg = ma \rightarrow T_2 = m(g + a)$$

اختلاف نیروهای کشش در دو طرف قرقره به وسیله اصطکاک محور خنثا می‌شود. (در واقع باید به گشتاور

نیروها توجه کرد نه خود نیروها، اما در این حالت فرقی نمی‌کند.)

نیروی اصطکاک متناسب با باری است که بر محور قرقره وارد می‌شود. این سنگینی T_1+T_2 است می‌توان نوشت: $T_1-T_2=K(T_1+T_2)$

گرچه می‌توان ضریب K را از معادله بالا به دست‌آورد، اما عملی‌تر آن است که نسبت $\frac{1-K}{1+K}$ را که بعداً هم مورد نیاز است محاسبه کنیم:

$$\frac{1-k}{1+k}=\frac{m(g+a)}{M(g+a)}$$

تعادل وقتی برقرار می‌شود که گستره‌ی کلی ممکن باراضافی را، از کمینه (وقتی شتاب رو به پایین وزنه‌ی سنگین‌تر صفر است) تا بیشینه (وقتی که این جرم به طور یکنواخت بالا کشیده می‌شود) در نظر بگیریم.

برای یافتن کمینه‌ی بار اضافی Δm_1 می‌توان نوشت:

$$\frac{m+\Delta m_1}{M}=\frac{1-k}{1+k}\rightarrow \Delta m_1=\frac{2ma}{g-a}=\frac{1}{2}\ kg$$

به همین ترتیب برای بیشینه‌ی بار اضافی داریم:

$$\frac{M}{m+\Delta m_2}=\frac{1-k}{1+k}\rightarrow \Delta m_2=\frac{M^2(g-a)-m^2(g+a)}{m(g+a)}=5kg$$

۱۰ـ حداقل دوره‌ی گردش یک سفینه‌ی فضایی به دور خورشید را محاسبه کنید. زاویه‌ی بزرگی خورشید که از زمین دیده می‌شود $\alpha = 9/3\times10^{-3}$ رادیان است.

حل: با توجه به قانون سوم کپلر داریم: $\frac{T^2}{a^3}=$ مقدار ثابت

یعنی هرچه شعاع مدار سفینه‌ی فضایی به دورخورشید کوچک‌تر باشد، دوره‌ی گردش آن هم کوتاه‌تر است. بنابراین وقتی دوره‌ی تناوب کمینه است که شعاع مدار گردش سفینه به دور خورشید کمینه یعنی برابر شعاع خورشید باشد پس می‌توان نوشت:

$$a_{min}=R_S=\frac{\alpha}{2}R_{SE}$$

که در آن R_{SE} فاصله‌ی زمین تا خورشید است.

حال با مقایسه‌ی گردش سفینه به دور خورشید با گردش زمین به دور خورشید داریم:

$$\frac{T^2_{min}}{a^3_{min}}=\frac{TE^2}{R_{ES}^3}\rightarrow Tmin=TE\ (\frac{\alpha}{2})^{\frac{3}{2}}$$

$$\simeq 365/25\ (9/3\times10^{-3})^{\frac{3}{2}}\simeq 0/116\simeq$$ ۴۷ دقیقه و ۲ ساعت و ۹ روز

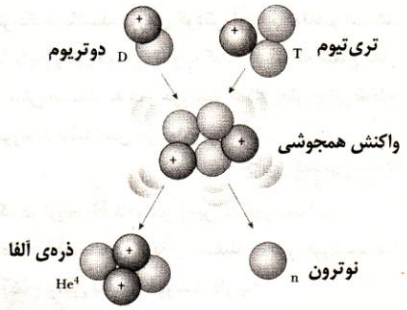
دستاوردهای توکوماک TFTR

پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۴۰ به ۱۰ میلیارد نفر برسد و با صنعتی شدن کشورهای آسیایی و آفریقایی و آمریکایی مصرف انرژی سه برابر شود. با این حساب اندوخته‌های نفتی تنها تا ۶۰ سال و اندوخته‌های گاز تا ۱۰۰ سال دیگر به نیازهای انسان پاسخ می‌دهند. پیداست که باید در اندیشه‌ی دستیابی به انرژی‌های پایان‌ناپذیری چون انرژی خورشیدی و شکافت هسته‌ای و همجوشی هسته‌ای بود.

همجوشی هسته‌ای یعنی فرایند ترکیب هسته‌های هیدروژن که در خورشید و دیگر ستاره‌ها روی می‌دهد جانشین عملی کاربرد انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی است.

در این فرایند یون‌های دوتریوم و تری‌تیوم درون پلاسمای بسیار داغ در ظرفی از میدان مغناطیسی بسیار قوی همجوشی می‌یابند و هم یون‌های هلیوم ۵/۳

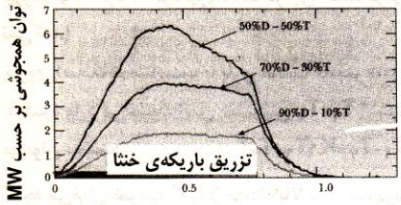
مگاالکترون ولتی (ذرات آلفا)ی محبوس در پلاسما و هم نوترون‌های پرانرژی‌ی ۱۴ مگاالکترون ولتی تولید می‌کنند که گرمای ناشی از واکنش‌ها را با خود حمل می‌کنند. همجوشی برخلاف شکافت هسته، فرآورده‌های رادیواکتیو با عمر طولانی ایجاد نمی‌کند. پس می‌توان آن را سرچشمه‌ی سالم و مطمئن و پایان‌ناپذیری از دوتریوم حاصل از آب معمولی دانست که سوخت لازم برای همه گونه فعالیت‌های تولیدی را فراهم می‌سازد. (تصویر ۱)



در دسامبر ۱۹۹۳ در آزمایش‌های تاریخی با **TFTR** (راکتور آزمایشی‌ی همجوشی‌ی توکوماک) در دانشگاه پرینستون آمریکا ۲/۶ مگاوات انرژی‌ی همجوشی به دست آمد. در این آزمایش‌ها نخستین بار آمیزه‌ی ۵۰٪ - ۵۰٪ سوخت دوتریوم- تری تیوم به کار رفت و آشکار شد که می‌توان به کاربرد عملی آن امیدوار بود.

در **TFTR** با تزریق باریکه‌ی نوترون‌های پرقدرت، دمای پلاسما به $T_i = ٤ \times ١٠^{٨K}$ و چگالی یون‌های آن به $Ni = ٠/٦ \times ١٠^{١٤}$ در هر سانتی‌متر مکعب رسید. با ورود اتم‌های دوتریوم و تری‌تیوم خنثای پرانرژی (١٠٠^{kev}) در محفظه‌ی پلاسما، می‌توان برخورد یون‌ها و دمای پلاسمای زمینه را بالا برد. با یک میدان مغناطیسی پرقدرت با شدت $B = ٥٠^{kv}$ پلاسمای ملتهب از تماس با دیواره‌ها بازداشته می‌شود. قطر مقطع پلاسما در حدود ۶/۱ متر و شعاع پلاسمای دونات شکل در حدود ۵/۲ متر است.

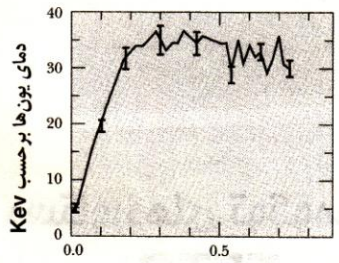
دستگاه‌های ردیاب، امواج الکترومغناطیسی و نور و یون‌های پرانرژی‌ی در رفته از پلاسما و نوترون‌های ۱۴ مگاالکترون ولتی‌ی حاصل از همجوشی را ردیابی می‌کنند. در شکل ۲ توان همجوشی برحسب زمان برای سه آزمایش با سه درصد گوناگون آمیزه‌ی دوتریوم و تری تیوم نشان داده شده است. زمان از t=۰ تا t=۰/۷۵ ثانیه و آمیزه‌ی ۵۰-۵۰ وضعیت بهینه را با ۲/۶ مگاوات انرژی مشخص می‌کند. (تصویر ۲)



زمان برحسب ثانیه

در شکل ۳ نمودار تغییرات دما برحسب زمان دیده می‌شود. همان گونه که نشان داده شده است Ti به ۳۵ کیلو الکترون ولت می‌رسد که معادل $٣٥^{kev} = ٣/٥ \times ١٠^{٧} ev = ١/١ \times ١٠^{٨} \frac{rk}{ev} = ١٠^{٨k} \times ٣/٩$ آزمایش‌ها با انرژی‌ی بالا نشان می‌دهند که دمای الکترون‌ها در اثر برخورد ذرات آلفای ۵/۳ مگاالکترون ولتی به $Te = ٠/٧٥^{kev} = ٨ \times ١٠^{٦k}$ بالاتر از دمای پایه‌ی $Teo = ٩^{kev} = ١٠^{٨k}$ در پلاسماهای نوع دیگر می‌رسد. در راکتورهای مولد توان در آینده، ملتهب کردن پلاسمای زمینه به وسیله‌ی ذرات آلفا اهمیت بسیار دارد و در آینده ITER (راکتورهای آزمایشی دما هسته‌ای بین‌المللی) از TFTR بسیار عظیم‌تر خواهد بود و توانی معادل ۱۰۰۰ مگاوات تولید خواهد کرد یعنی در واقع ۱۰۰ برابر توان تولیدی TFTR . در این راکتورها انرژی ذرات آلفا چنان عظیم است که پس از آغاز واکنش نیازی به ادامه‌ی کار مولدهای بیرونی ندارد. این حالت «سوختن پایدار» پلاسمای دوتریوم - تری تیوم را «ماشه کشیدن» می‌خوانند.

یکی از اشکال‌های کار به دست آوردن موادی برای دیوارهای دستگاه است که بتوانند دمای فوق‌العاده زیاد و شارش مداوم ذرات را تحمل کنند. زمینه‌هایی برای همکاری‌های بین‌المللی برای رفع این گونه اشکال‌ها فراهم آمده است و امید به عملی شدن این برنامه رو به افزایش است.

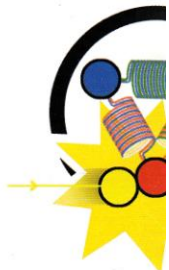


زمان برحسب ثانیه

الکترون
پرانرژی در
مسیر برخورد با ...

د ر و ن
پروتون سه
کوارک با نیروی
قوی در پروتون به هم
سیده‌اند که در این شکل
سه فنر دیده می‌شود اگر
کوارک‌ها زیاد شود نیروی
ی می‌یابد.

... یک کوارک در پروتون
گیر می‌افتد



گر در برخورد پرانرژی یک کوارک
ز پروتون بیرون بپرد در یک لحظه
مانند یک ذره‌ی آزاد رفتار می‌کند.

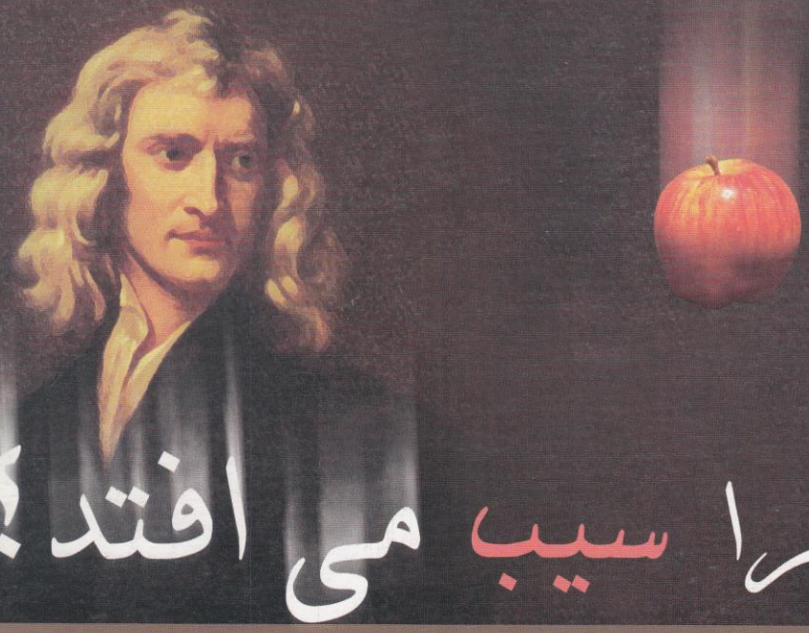
مدل استاندارد و چهار نیرو

کوارک‌ها و گلوئون‌های نیروی قوی (یا رنگ قوی) در جورچین چهار نیروی طبیعت، قطعه‌ی سوم هستند. قطعه‌ی نخست یعنی نیروی الکترومغناطیسی با نیروی قوی همانندی دارد ولی در آن به جای گلوئون‌ها فوتون‌ها حامل نیرو هستند گلوئون‌ها حامل بار رنگ هستند ولی فوتون‌ها بار ندارند. قطعه‌ی دوم، نیروی ضعیف است که کنترل کننده‌ی پاره‌ای از واپاشی‌ها و انرژی‌زایی‌ها در خورشید هستند. این نیرو با دو نیروی دیگر فرق دارد چون ذره‌های حامل نیرو بسیار سنگین‌اند. چهارمین نیرو، یعنی گرانش با وجود آشنایی بسیار ناشناخته مانده است می‌گویند ذره‌ها حامل نیروی گرانش گراویتون نام دارند که هنوز کشف نشده‌اند.

به مناسبت سال جهانی

فیزیک

۱۳۸۴ 2005



چرا سیب می افتد؟

پژوهشکده معلم

World year of PHYSICS 2005

گروه آموزشی فیزیک استان