اعوذ بالله من الشیطان الرجیم

بسم الله الرحمن الرحیم

جلسه اول مکانیک کوانتومی

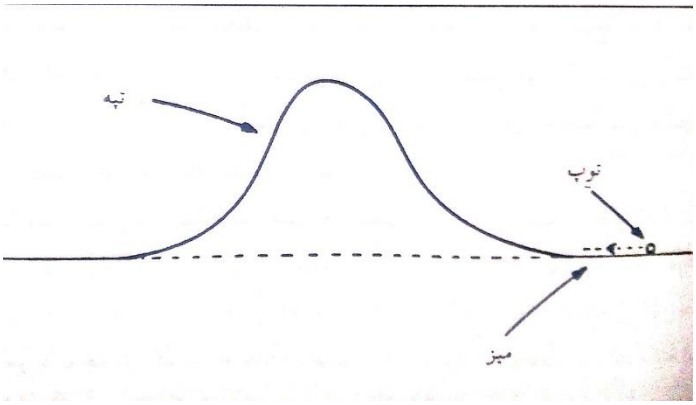
سید سعید هاشمی-دانشجوی دکتری فیزیک دانشگاه صنعتی شریف

مکانیک کلاسیک موفقیتهای چشمگیری را به دست آورده بود تا اینکه در آزمایشاتی دیده شد که نتایجی که با فرمولهای مکانیک کلاسیک به دست می‌آید، با نتایج آزمایش همخوانی ندارد. لذا دانشمندان، مکانیک جدیدی تحت عنوان مکانیک کوانتومی را بر سر کار آوردند. در ادامه به بررسی آزمایشها می پردازیم.

۱. آزمایش یک

وقتی یک توپ را به سمت یک تپه می‌غلتانیم، توپ از تپه بالا می‌رود و همچنانکه از تپه بالا می‌رود، از سرعتش کاسته شده و در یک نقطه ایستاده و سپس دوباره به پایین می‌غلتد و توپ بازگشت می‌کند. ولی اگر سرعت توپ را زیاد کنیم، از طرف دیگر تپه به پایین خواهد غلتید و عبور خواهد کرد. با تکرار این آزمایش به آسانی این نکته به دست می‌آید که یک سرعت بحرانی وجود دارد که در این V_c اگر سرعت اولیه توپ کمتر از V_c باشد، توپ بازگشت می‌کند و اگر سرعت اولیه توپ از V_c بیشتر باشد، توپ عبور می‌کند. زیبایی مکانیک کلاسیک اینجاست که با قوانین ظاهرا ساده نیوتون، می‌توان تمام این نتایج را به درستی به دست آورد، به گونه‌ای که نتایج محاسبات با نتایج آزمایش همخوانی داشته باشد.

حال می‌خواهیم وارد دنیای کوانتومی شویم. با تکرار این آزمایش با اجسام میکروسکوپی وضعیت خیلی فرق می‌کند و مشاهده می‌کنیم که برای سرعت اولیه ثابت v در برخی موارد، ذره بازتاب شده و در برخی موارد عبور می‌کند. مقدار سرعت اولیه دیگر سرنوشت ذره را مشخص نمی‌کند. بلکه اینجا با احتمال سروکار داریم. به این معنا که مثلا اگر آزمایش را با الکترون انجام دهیم، مشاهده می‌کنیم در ٪۶۰ موارد الکترون بازتاب شده و در ٪۴۰ موارد، ذره عبور می‌کند. ظاهرا اینجا همه الکترونها یکسان هستند، لذا انتظار داریم که نتایج یکسانی را مشاهده کنیم، یا همه آنها عبور کنند یا همه آنها بازتاب شوند. اما اینگونه نیست.



شکل ۱ وضعیت آزمایش شماره یک

بحث درباره آزمایش.

دیدگاه رایج این است که اینکه ذرات عبور کنند یا بازتاب شوند، کاملا رندم است. در اینجا احتمال به خاطر ناآگاهی ما نیست، بلکه خاصیت ذاتی است. لذا دیدگاه رایج این است که این وضعیت علتی ندارد و کاملا رندم است. توجه کنید که در فیزیک کلاسیک ما چیزی به اسم رندم نداشتیم. مثلا در پرتاب سکه، اگر زاویه پرتاب و سرعت اولیه و شرایط اولیه را داشته باشیم، می‌توانیم با استفاده از قوانین فیزیک کلاسیک، پیش‌بینی کنیم که مثلا سکه چند دور در فضا می‌چرخد و در نهایت شیر می‌آید یا خط. پس در پرتاب سکه نیز با وضعیت رندم سر و کار نداریم. اما در مثال بالا، وضعیت فرق دارد. ظاهرا با شرایط اولیه یکسان، نتایج متفاوتی مشاهده می‌شود. لذا دیدگاه رایج این است که بازتاب شدن یا عبور کردن، علتی ندارد و رندم است. این آزمایش و امثال این آزمایشها باعث شد که عده‌ای این نظر را ابراز کنند که قانون علیت، باطل است. مثلا برتراند راسل در ۱۹۲۹ گفت که قانون علیت مثل پادشاهی است که الآن دوران پادشاهی به سر آمده است. قانون علیت یادگاری از اعصار گذشته است که مثل سلطنت باقی مانده است. زیرا اشتباها فرض می‌شود که ضرری نمی‌رساند.[1]

اولین بار بورن مفهوم احتمال را وارد کرد و اولین بار کنار گذاشتن علیت را پیشنهاد کرد. مقاله بورن پراکندگی الکترون از کنار اتم را فقط با تعبیر آماری ممکن دانست و بعد علیت را کنار گذاشت. برگمن در ۱۹۲۹ مقاله‌ای نوشت و در مقدمه مقاله از قول اینشتین جمله‌ای را نقل کرد که : "فیزیک معاصر تحت تاثیر داده‌های فیزیک اتمی، شک جدی روی علیت گذاشته است. این مشکل حل می‌شود اگر یک متخصص فلسفه با اطلاعات وسیع علمی و فلسفی به تحلیل مساله بپردازد."

در هر صورت، نکته‌ای که اینجا خوب است که در نظر بگیریم این است که علیت یک اصل متافیزیکی است که بسیار بنیادی‌تر از بسیاری از فرضهای دیگر است. به قول پلانک: "ممکن است گفته شود که قانون علیت تنها یک فرض است، اما اگر آن یک فرض است، فرضی مثل سایر فرضها نیست. بلکه یک فرض بنیادی است. زیرا آن فرضی است که لازم است تا معنا به کاربرد سایر فرضها

[1] البته بعدا راسل در کتاب دیگرش کاملا از این عقیده برگشت و گفت که کاوش برای قوانین علّی، جوهره علم است. و همچنین گفت که اعتقاد به کارا نبودن قوانین علّی رغبت به کاوش را از بین می‌برد.

بدهد. هر فرضیه که حاوی یک قانون قطعی باشد، اعتبار اصل علیت را مفروض می‌گیرد. در واقع تعبیر نتایج چند آزمایش به یک قانون[۲]، در صورتی معنا دارد که قانون علیت معتبر باشد."

نکته بعدی نکته‌ای است که فایرآبند[۳] تذکر داد که نیافتن علت، دلیل بر وجود نداشتن علت نیست.

در انتها خوب است نکته‌ای که پلانک به آن اشاره کرد را نیز مورد توجه قرار دهیم که فرض وجود قوانین آماری، تنها در پرتو قوانین فیزیکی دقیق معتبر است. یعنی ما که اینجا گفتیم که ۶۰٪ موارد بازتاب می‌شود. این خودش یک قانون قطعی آماری است. همواره و قطعا ۶۰٪ بازتاب می‌شود.

لذا تعبیر دومی برای این آزمایش وجود دارد که ذراتی که به سد می‌رسند یکسان نیستند. آنها متغیرهای دیگری علاوه بر سرعتهایشان دارند و در اصل، مقادیر متغیرهای نهان مزبور، سرنوشت هر ذره را موقع رسیدن به سد تعیین می‌کند. جنبه احتمالاتی تنها به دلیل ناآگاهی ما از این مقادیر وارد می‌شود.

نکته‌ای که خوب است از این بحث بیاموزیم، این است که قضایای متافیزیکی، چقدر بر نوع نگرش و نوع کار علمی یک فیزیکدان می‌تواند تاثیرگذار باشد. یک فیزیکدان که به قانون علیت اعتقاد دارد، دنبال یک تئوری متغیر نهان می‌رود. اما فیزیکدانی با اعتقاد متفاوت، تئوری دیگری را می‌سازد. اما سوالی پیش می‌آید که آیا امیدی به حل این مسائل متافیزیکی داریم؟ آیا می‌توانیم این مساله را حل کنیم که آیا قانون علیت وجود دارد یا خیر؟ آیا با آزمایش کردن می‌توانیم تکلیف این سوال را روشن کنیم یا روش دیگری برای تحلیل این مساله وجود دارد؟ به زودی به این سوالات بازخواهیم گشت.

۲. آزمایش دوم

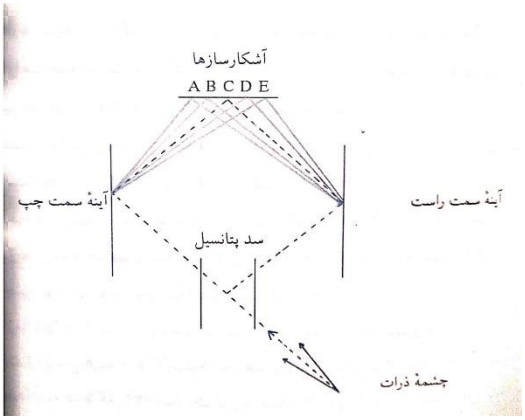
در آزمایش اول این نکته را مد نظر قرار دادیم که هر ذره یا بازتاب می‌شود یا عبور می‌کند. جهت انجام آزمایش، آشکارسازهایی را در دو طرف این سد پتانسیل قرار دادیم تا اگر ذره به آنها برخورد کرد، متوجه عبور یا بازتاب ذره بشویم. بعد، از روی شمارش تعداد ذرات عبور کرده و تعداد ذرات بازتاب شده، احتمال عبور و احتمال بازتاب را به دست آوردیم. اکنون می‌خواهیم آزمایش دیگری را بیان کنیم که دیدگاه رایج را زیر سوال می‌برد (یعنی دیدگاهی که بیان می‌کند هر ذره یا بازتاب می‌شود یا عبور می‌کند). شکل ۲ را در نظر بگیرید. فرض کنید که چشمه ذرات در یک زاویه کوچکی، ذرات را به صورت یکنواخت می‌دهد. در مرحله اول فقط آینه سمت راست را نگه دارید و آینه سمت چپ را بردارید. قاعدتا انتظار داریم که درصدی از ذرات که در آزمایش اول بازتاب شده بودند، در آشکارساز مشاهده شوند. این تعداد ذرات، توزیع ویژه‌ای در آشکارساز دارند. در شکل ۳ الف یک توزیع نمونه از این توزیع را در میان پنج آشکارساز نشان داده است. دوباره این آزمایش را با حذف آینه سمت راست و قرار دادن آینه سمت چپ تکرار می‌کنیم. دوباره انتظار داریم که همان درصد عبور ذرات که در آزمایش اول شاهد بودیم، در آشکارسازها، آشکار شوند. در شکل ۳ ب یک توزیع به دست آمده را نشان داده است. در سومین آزمایش، هر دو آینه را قرار می‌دهیم. در نهایت انتظار داریم که آشکارسازها، تمام

---

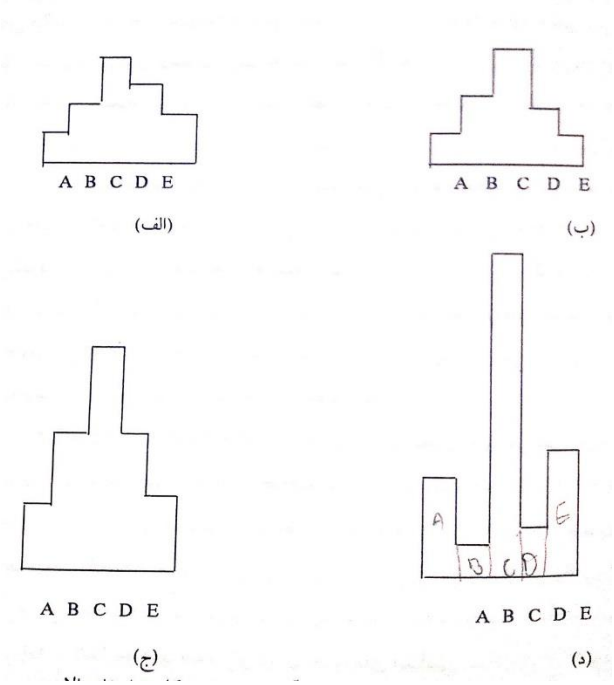
[۲] یعنی راز اینکه ما میتوانیم، نتیجه چند آزمایش که در چند جای خاص در چند آزمایشگاه در نقاط خاصی از کره زمین و در زمانهای خاصی انجام شده را به تمام مکانها و تمام زمانها نسبت دهیم و قانون کلی استخراج کنیم، به قانون علیت باز می‌گردد. به این معنا که طبیعت در شرایط یکسان، یکسان عمل میکند و این چیزی نیست، جز قانون سنخیت علی و معلولی.

[۳] Feyerabend

ذرات، چه آنهایی که بازتاب شده‌اند و چه آنهایی که عبور کرده‌اند را آشکار کند. آیا می‌توانیم که نتیجه را پیش‌بینی کنیم. اگر جداگانه آینه ها را قرار دهیم، نتیجه را می‌دانیم. از جانبی ذرات را تک تک فرستاده‌ایم و لذا ذرات باهم برخورد نمی‌کنند و یا به طریقی مزاحمتی برای سایر ذرات ایجاد نمی‌کنند. لذا انتظار معقول این است که جمع دو توزیع قبل را به دست بیاوریم. چنانچه در شکل ۳ ج نشان داده شده است. ولی نتیجه مطابق این انتظار معقول رفتار نمی‌کند. وقتی هر دو آینه حضور دارند، بعضی آشکارسازها تعداد ذرات کمتری را وقتی فقط یک آینه به تنهایی حضور دارد، دریافت می‌کنند (چه بسا به اینکه برابر جمع هردو حالت هم بشود!) یک نمونه در شکل ۳د نشان داده شده است.



شکل ۲ وضعیت آزمایش شماره دو



شکل ۳ وضعیت نتایج مربوط به شکل ۲

۳. بحث روی آزمایش

آیا می‌توانیم، این نتایج را بفهمیم؟ به عنوان مثال آیا می‌توانیم بفهمیم که چرا وقتی یکی از آینه‌ها حضور دارد، مسیرهای برای رسیدن ذرات به آشکارساز B وجود دارد، ولی اگر هر دو آینه وجود داشته باشند، چنین مسیرهایی وجود ندارند. تنها حالت ممکن ظاهرا این است که ذرات به حضور هر دو آینه مطلع باشند. یعنی تحت تاثیر آنها قرار بگیرند. این با بحث قبلی که هر ذره یا بازتاب میشود یا عبور میکند تناقض دارد. اگر عبور کند از آینه دیگر چگونه باخبر شود و اگر بازتاب شود فقط از یک آینه ظاهرا باید مطلع شود. پس باید انتظار داشته باشیم که ذره به طریقی به دو قسمت تقسیم شود و لذا در هر دو طرف حضور داشته باشد. اما در آزمایش اول گفتیم که ذره یا بازتاب میشود یا عبور می‌کند و لذا در یک طرف قرار دارد. پس تصویر ارائه شده به وسیله این دو دسته آزمایش ظاهرا متضاد باهم هستند.

یک دیدگاه این است که اصلا واقعیتی بیرون از ما و فکر ما وجود ندارد. اگر وجود داشت که نباید نتایج با تصویرهای متضاد را شاهد باشیم. لذا جینز گفت که مکانیک کوانتومی را نمی‌شود به بیان رئالیستی بیان کرد. یعنی واقعیتی فراتر از تصویرهای ذهنی ما وجود ندارد. شاید جهانی که ما می‌بینم یک فکر و خیال خام باشد. شاید حرفهایی که به ما زده‌اند درست نباشد. پس از کجا شروع کنیم؟ نکته این است که این حرفها اگرچه ظاهر فریبنده‌ای دارد، اما توجه میکنیم که کسی که این حرفها را دارد می‌زند، می‌خواهد از یک آزمایشی که انجام داده نتایجی را بگیرید. پس اولا خود آزمایش را قبول دارد و به وسایلی که با آن آزمایش انجام شده، اطمینان دارد و همچنین به این نکته اعتقاد دارد که می‌تواند نتایج آزمایش را تعمیم دهد و همچنین به استدلال کردن اعتقاد دارد که از این آزمایش باید چیزی را استدلال کند. همچنین به وجود خودش و فکر خودش هم اعتقاد دارد. پس این شخص به خیلی چیزها اعتقاد دارد. اما آزمایش را انجام داده بوده که حقیقتی از عالم را کشف کند. یعنی به صورت ضمنی وجود عالم خارج را هم قبول دارد. به روش آزمایش کردن هم اعتقاد دارد. خب اینکه دقیقا حرف ما شد. یعنی جهانی خارج از ما وجود دارد که ما کارهایی را برحسب خواهش خودمان در آن انجام می‌دهیم. پس یاد می‌گیریم که نگاه عمیقتر به قضایا داشته باشیم. اما نکته‌ای هست که چرا کار ما مدام به بحثهای فلسفی کشیده می‌شود؟ آیا فلسفه مهم است؟

۴. اهمیت فلسفه

همانطور که در بالا اشاره کردیم، جهان بینی یک فیزیکدان، در نوع تئوری‌سازی او موثر است. در واقع این نکته روشن شده است که فیزیکدانان اصولی را به کار می‌برند، بدون آنکه خودشان متوجه باشند و این اصول از تجربه گرفته نشده است. مثلا در ۱۹۲۶ که بورن مقاله معروفش را نوشت و در آنجا علیت را کنار گذاشت، این نکته را متذکر شد که تصمیم من برای کنار گذاشتن علیت که حوادث شانسی هستند و علت زیربنایی در کار نیست، یک تصمیم فیزیکی نیست و فلسفی است. کم کم معلوم شد که بقیه هم اصولی را به کار می‌برند که آن اصول را از تجربه نگرفته‌اند. مثلا نیوتون این اصل را به کار گرفته بود که مکانیک سماوی و مکانیک زمینی یکی هستند(یعنی اصل وحدت بخشی که فرمولهای روی زمین و آسمان یکی است). در صورتی که این اصل را از تجربه

نگرفته بود و اما توجه نکرده بود. ارنان مک‌مولین[۴] در کتابش با تحلیل کتاب مکانیک و اپتیک نیوتون، ثابت کرده که نیوتون تعداد زیادی اصولی به کار برده که ناشی از تجربه نبوده و آنها را فرض کرده است.

جرج الیس، کیهان شناس بسیار بزرگ و معروف عصر حاضر می‌گوید:"شما نمی‌توانید کاری در فیزیک یا کیهان‌شناسی بکنید، بدون اینکه یک مبنای فلسفی را فرض بگیرید. شما می‌توانید انتخاب کنید که درباره آن مبنا فکر نکنید. مع‌الوصف آن به عنوان یک مبنای بررسی نشده در کاری که می‌کنید وجود دارد. این حقیقت که شما مایل نیستید مبانی فلسفی کاری که می‌کنید مورد بررسی قرار دهید، این معنا را ندارد که آن مبانی وجود ندارد. آن صرفا معنایش این است که آنها مورد بررسی قرار نگرفته‌اند."

اینجا می‌خواهم توجه خواننده را به نکته مهمی جلب کنم و این نکته این است که با توجه به اصولی که شما قبول کرده‌اید، می‌توانید تئوریهای مختلفی را بسازید. مثلا شخصی که تابع اصول خاصی است، می‌آید تئوری ریسمان را می‌سازد و کسی که تابع اصول دیگری است می‌آید تئوری گرانش حلقوی را می‌سازد. بگذارید مثال دیگری که مربوط به کوانتوم است بزنیم. دو نظریه مختلف از کوانتوم وجود دارد. یک نظریه کوانتوم استاندارد است که می‌گوید در سطح اتمی شانس حاکم است و یک نظریه دیگر، کوانتوم بوهمی است که قضایا را به صورت علّی توضیح می‌دهد. هردوی این نظریات، تمامی آزمایشات موجود را توضیح می‌دهند. پس اصول متافیزیکی متفاوت، به نظریات فیزیکی مختلفی منجر می‌شوند. این نکته ناشی از یک قضیه مهم است که فلاسفه ثابت کرده‌اند که داده‌های تجربی تئوریها را قطعی نمی‌کنند[۵]. به این معنا که شما مثلا در عصر حاضر پانصد آزمایش مختلف انجام داده‌اید. یک نظریه‌ای می‌سازید که این پانصد آزمایش را توضیح دهد. حرف فیلسوفان علم (که البته قبلا اینشتین هم تذکر داده بود) این است که شما همواره می‌توانید تئوریهای دیگری بسازید که همه این پانصد آزمایش را توضیح دهد. بنابراین اینجا اهمیت مباحث فلسفی مشخص می‌شود.

ممکن است کسی بگوید که من چه کار به کشف تئوری صحیح دارم؟ من دنبال ریاضیاتی هستم که جواب بدهد. جواب این حرفهای سطحی واضح است. اصلا هدف فیزیک این است که انسان می‌خواهد طبیعت را بشناسد و غریزه‌اش برای کسب علم را ارضا کند. اینکه من حرفی بزنم که به شناخت من چیزی اضافه نکند و صرفا یک محاسباتی باشد که انجام بدهم، باعث پیشرفت نخواهد شد. من اگر نظریه صحیح داشته باشم، می‌توانم آزمایشاتی که هنوز انجام نشده را پیش‌بینی کنم و در راستای اهدافم از طبیعت بهره‌مند شوم. اما در هر صورت، اگر بخواهید نظریه بسازید، چنانچه در بالا از الیس نقل کردیم، در نهایت اصولی غیر تجربی را مجبور هستید که فرض کنید. خب وقتی استفاده از اصول غیرتجربی امری اجتناب ناپذیر است، آیا نباید این اصول را با دقت، با روش خاص فلسفی مورد توجه قرار دهم و آنها را بررسی کنم؟

عده‌ای اشکال کرده‌اند که چه دلیلی برای حرفهای فلسفی وجود دارد؟ برای مثال شخصی که از اساتید فیزیک دانشگاه صنعتی شریف که مسئولیتهای مهمی دارد را بیان میکنیم. ایشان در صفحه شخصی تلگرامشان نوشته‌اند:" من هیچ وقت این فیلسوف ها را درست درک نکردم. نمی فهمم معیار فلاسفه برای میزان علم و سواد یک فرد چیست. یک فیلسوف باسواد و عالم است چون یک فیلسوف دیگر این را تایید میکند؟ از نظر دانش پیشگان موضوع خیلی ساده است. کافی است به نتایج دانش یک فرد نگاه کنید. نتایج و خروجیهایی که اندازه‌پذیرند."

---

[۴] Ernan mcmullin

[۵] Underdetermination of physical theory by empirical data

خواننده محترم با مقایسه این صحبت ایشان با نظرات و صحبتهای بزرگانی مثل الیس و اینشتین و رووِلی و غیره، احتمالا علت عقب‌ماندگی کشور را درک کرده باشد. این شخص با این جهان‌بینی، وقتی اینهمه مسئولیت مهم دارد، چه فجایعی را می‌تواند بار بیاورد. اگرچه مطالبی که تا اینجا ذکر شد برای رفع این نظرات کفایت می‌کند، اما برای اینکه امثال این افکار را نابود کنیم، در اینجا فقط این نکته را ذکر میکنیم که همین حرفهایی که ایشان زده است، نوعی جهان‌بینی و فلسفه است. ایشان دارد برای اینکه فلسفه بی‌فایده است دلیل عقلی می‌آورد. فلسفه در یک بعد عمیقتر از علوم تجربی قرار دارد. برای اینکه بحث واضح شود، تاثیر فلسفه و جهان‌بینی بر عملکرد اشخاص را مورد بررسی قرار می‌دهیم. آیا عملکرد یک فرد هم قابل مشاهده نیست؟

اجازه دهید که حرف را به طریق دیگری بیان کنیم. در بالا راجع به ساختن نظریات فیزیک صحبت کردیم، اما اینجا می‌خواهیم بگوییم که این اصول بنیادی عام، نه تنها در فیزیک اهمیت دارد، بلکه در تمام کارهایی که ما می‌کنیم موثر است. شما اگر کارهایی که در زمینه فردی و اجتماعی انجام می‌دهید را بررسی کنید، می‌بینید که این کارها از کششها و میلهای روانی خاصی سرچشمه گرفته‌اند. مثلا شما به حکم غریزه تغذیه، میل به خوردن و آشامیدن پیدا می‌کنید و یا در اثر تحریک شدن عواطف و احساساتتان، تمایل به کمک به افراد ناتوان پیدا می‌کنید. اگر خوب موارد را بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که با عقلمان احکامی را صادر کرده‌ایم. مثلا خوردن و آشامیدن جهت حفظ سلامتی باید انجام پذیرد. یا مثلا ارضای احساسات باید در چارچوب خاصی انجام شود. اگر بیشتر دقت کنیم این احکام عقل مرهون افکار کلی دیگری است که برای مثال حفظ تندرستی یا فداکاری در راه هدف، مبتی بر بینشهای خاصی است که درباره زندگی فردی یا اجتماعی داریم و همین بینشهای کلی و سیستمهای فکری زیربنایی هستند که نقش عمده را در تعیین شکل و جهت و نیز در معنادار کردن و ارزش بخشیدن به تلاشهای زندگی یا تهی کردن آنها از معنی و ارزش بازی می‌کنند. اختلاف در این نظامهای فکری (که به آنها جهان‌بینی می‌گوییم) است که به اختلافات اصولی در رفتارهای فردی و موضع‌گیریهای اجتماعی می‌انجامد. ممکن است که اینجا شما اشکالی به ذهنتان برسد. اینکه احکام نظری عقل همیشه مورد آگاهی و توجه کامل نیست و اکثر مردم درباره چرایی رفتار خودشان اندیشه نمیکنند و زندگی آنها بر اساس افکار حساب‌شده نیست. آنها صرفا به تقلید از دیگران اکتفا کرده‌اند و یا اصلا کلا نسبت به مسائل بنیادی بی‌توجه هستند. اما جواب این است که اگر رفتار آنها را دقیق مورد توجه قرار دهید، رفتار هرکسی با شالودهٔ فکری خاصی متناسب است. مثلا رفتار شخصی که فقط به لذت زودگذر و سود فردی می‌اندیشد، با جهان بینی مادی و فردگرایی تناسب دارد، هرچند به آن توجه نداشته و به عنوان یک بینش فلسفی مستدل نپذیرفته باشد. پس با این گفتار اهمیت اصول عام و جهان بینی صحیح به دست می‌آید.

در اینجا خوب است که به اِشکال دیگری که ممکن است اشخاصی وارد کنند اشاره کنیم. اشکال این است که مسائل فلسفی دشوارند و ما امیدی به حل مسائل فلسفی نداریم. در جواب به حرف بورن که در خاطراتش در اواخر عمرش نوشت توجه می‌کنیم:"من وقتی جوان بودم سراغ مسائل فیزیک می‌رفتم و می‌دیدم که جواب همه‌چیز را می‌گیرم و وقتی سراغ فلسفه می‌روم می‌دیدم که بین همه اختلاف نظر است. لذا همه آنها را کنار گذاشتم و سراغ فیزیک آمدم. حالا که به آخر عمرم رسیده‌ام و بر گذشته تامل می‌کنم می‌بینم به هیچ وجه نمی‌توانم از آن سوالات که به نظرم لاینحل می‌آمد فرار کنم. سوالاتی از این قبیل که من از کجا آمده‌ام؟ هدف من چیست؟ سوالاتی که اسم آنها را متافیزیکی می‌گذاریم." در واقع یکسری مسائل بنیادی هست که همواره برای انسانها وجود دارد و فطرت آدمی تشنه پاسخ صحیح و قانع کننده به آنهاست و اتفاقا حل صحیح این مسائل است که اساسی‌ترین نقش را در معنادار کردن و ارزش‌بخشیدن به زندگی بازی می‌کند و به سیر و حرکت اختیاری انسان جهت مطلوب می‌دهد و برعکس، پاسخ نادرست به آنها زندگی را بی‌معنا و پوچ و فاقد هدف ارزنده می‌سازد و انسان را به پرتگاه خسرانِ ابدی سوق می‌دهد و مسکوت گذاردن این مسائل، علاوه بر رنج شک و حیرت و دلهره و اضطراب و ناخرسندی همیشگی وجدان، باعث نمیشود که انسان در کارهایش جهان

بینی خاصی را اختیار نکند. زیرا مشابه حرفی که الیس راجع به اصول فلسفی بررسی نشده که در فیزیک وارد میکنیم زد، اینجا هم اصول فلسفی بررسی نشده، در زندگی وجود خواهند داشت و بررسی نکردن آنها دلیل بر وجود نداشتن آنها نیست.

حال که بحث به اینجا کشید، می‌خواهیم برخی از این مسائل مهم فلسفی را بررسی کنیم. یکی از این مسائل این است که آیا این پدیده‌های جهان، فقط در اثر فعل و انفعالات مادی هستند و نیروی دیگری که از سنخ ماده و مادیات نیست، در پدید آمدن آنها و حتی در موجودیت خود ماده نقشی ندارد و اساسا وجود مساوی با ماده است یا اینکه ماده تنها بخشی از جهان هستی را تشکیل می‌دهد و در تحقق یافتن، نیازمند به ماورای خود می‌باشد؟ این سوال چنانچه مشاهده می‌کنیم یک سوال کلی است و مربوط به خواص و آثار دستهٔ خاصی از موجودات مادی نیست که علم معینی با روش تجربی ویژهٔ آن علم بتواند به آن پاسخ بدهد. بلکه سوالی است فلسفی که باید عقل با کندوکاوها و تحلیلهای ذهنی به آن پاسخ بدهد، هرچند نقطه آغاز این کاوشها را معلومات تجربی تشکیل بدهد. پاسخ به این سوال خواه به صورت مثبت داده بشود و خواه به صورت منفی، جزئی از جهان بینی را تشکیل می‌دهد که در پدیدآوردن سیستم فکری اساسی، نقشی بسیار مهمی را ایفا میکند. مثلا علت اینکه ایده‌های بوهر مورد تنفر مارکسیستها بود این بود که تعبیر کپنهاگی از مکانیک کوانتومی به ناچار سراغ غیرماده می‌رود. لذا به شدت از ورود کوانتوم به شوروی جلوگیری کردند[۶]. یکی از دلایلی که باعث شد، در شوروی به کوانتوم بوهمی علاقه نشان دهند و با آغوش باز بپذیرند، این بود که فکر میکردند که با تعبیر بوهم، نیازی به غیر ماده ندارند(در صورتی که اشتباه میکردند و بوهم، شعور را قابل تقلیل به ماده نمیدانست).

مساله دیگر این است که آیا زندگی هر فردی از افراد انسان، محدود به همین چند سال زندگی دنیوی است یا بعد از مرگ، امکان حیات دیگری نیز وجود دارد که خیلی طولانی‌تر و احتمالا جاودانی است؟ و این مساله به نوبهٔ خود مسالهٔ دیگری را به وجود می‌آورد که آیا در وجود انسان غیر از کالبد مادی، چیز دیگری به نام روح هست که قابل بقا باشد یا نه؟ و از طرفی با مساله قبلی ارتباط پیدا میکند که آیا هستی مساوی با ماده است یا فراتر از آن؟ حل این مساله نیز به هر صورت که باشد جزء دیگری از سیستم جهان‌بینی را تشکیل می‌دهد.

مثال دیگری می‌زنیم. یک مساله اساسی که قبل از حل مسائل جزئی و انتخاب مسیری خاص در زندگی باید حل شود، این است که مطمئنترین راه برای شناختن برنامهٔ صحیح زندگی فردی و اجتماعی کدام است؟ و آیا غیر از راههای متعارفی که در دسترس عموم قرار دارد و عملا نتایج متناقضی از آنها گرفته می‌شود، راه دیگری وجود دارد که ضمانت صحت داشته باشد یا نه؟ اهمیت این سوال هنگامی بیشتر می‌شود که پاسخ سوال دوم مثبت باشد، یعنی به این نتیجه برسیم که انسان دارای زندگی جاودانی است و باید مقدمات سعادت را در همین زندگی محدود با تلاشهای اختیاری خودش تحصیل کند. زیرا در این صورت وسیله مطمئنی برای شناختن رابطهٔ دو زندگی و برنامهٔ دقیقی که بتواند سعادت ابدی را تضمین نماید، بیشتر آشکار می‌شود. و به همان اندازه که زندگی ابدی ارزشمندتر است، شناختن راه سعادت آن نیز مهمتر می‌باشد. البته توجه داریم که اهمیت این مسائل نه تنها در این جهت است که نقش اساسی در شکل دادن و جهت دادن به زندگی فردی و اجتماعی بازی می‌کنند، بلکه از این جهت نیز اهمیت دارند که با سود و زیان نامحدود سروکار دارند. یعنی در صورتی که پاسخ آنها مثبت باشد، امکان بهره‌برداری نامحدود را از زندگی برای انسان فراهم می‌کنند. اگر ثابت شود که هستی مساوی با ماده نیست و جهان دارای آفریدگاری متعالی است که پدیدآورنده و نگهدارنده و پرورش‌دهندهٔ همهٔ آفریدگان است و دارای قدرت و علم و رحمت نامحدود می‌باشد، و نیز ثابت شود که زندگی انسان، محدود به

---

[۶] خوب است اینجا به حرف سخیف افرادی که میگویند که ادیان ابراهیمی مانع پذیرش علم می‌شود، اشاره کنیم. آنها میگویند که ادیان باعث نوعی تعصب میشود که دربرابر علم، انسان جبهه گیری میکند. در جواب این حرف سخیف به توضیحاتی که تا اینجا در تاثیر متافیزیک در تئوری دادیم اکتفا میکنیم. اما اینجا میخواهیم بگوییم که چه کسی متعصب است؟ مارکسیستها یا مومنین؟

همین زندگی کوتاه دنیوی نیست، بلکه به دنبال آن حیات ابدی توام با سعادت یا شقاوت وجود دارد که مقدمات آن باید در همین جهان فراهم شود، و این زندگی یک مرحله مقدماتی برای ساختن سرنوشت ابدی به وسیلهٔ اعمال اختیاری است، و ثابت شود که برای شناختن برنامهٔ صحیح یک زندگی که بتواند سعادت دو جهان را تامین نماید، راهی تضمین شده وجود دارد که از طرف خدای متعال به وسیلهٔ فرستادگان ویژه‌اش در اختیار عموم قرار می‌گیرد، اثبات این مطالب تاثیر عظیمی در زندگی انسان خواهد گذاشت و چنان ارزشی به فعالیتهای حیاتی خواهد بخشید که قابل مقایسه با هیچ چیز دیگری نیست. زیرا ارزش آن به خاطر اینکه امکان رسیدن به سعادتی بی‌نهایت و جاودان را فراهم می‌کند، نامحدود خواهد بود. ممکن است خواننده ایرادی بگیرد که احتمال حل این مسائل به صورتی که منتهی به این نتایج بشود، بسیار ضعیف به نظر می‌رسد و از این رو ارزش پیگیری ندارد. ولی باید توجه داشت که این احتمال هرچقدر هم ضعیف باشد، هیچگاه ارزش خود را از دست نخواهد داد. زیرا ضریب آن بینهایت است و در بینهایت ضرب میشود($\infty \times 10^{-100} = \infty$).

نویسنده می‌گوید که درست است که کمی از بحث منحرف شدیم، اما شایسته بود، آنچه که ذکر شد. در اینجا با بیان جمله‌ای از روولی[۷] که از بزرگان فیزیک و سرخط نظریه گرانش حلقوی است به این بخش خاتمه می‌دهیم:" این مرا به نکته دیگری میرساند. اینکه آیا یک عالم باید درباره فلسفه فکر کند یا نه؟ امروز نوعی مد است که فلسفه را نادیده بگیرند و بگویند که ما علم داریم و به فلسفه نیازی نداریم. من به دو دلیل این نگرش را خام می‌یابم. یک دلیلش تاریخی است. به هایزنبرگ نظر افکنید. هایزنبرگ هرگز به مکانیک کوانتومی نرسید، اگر پر از فلسفه نبود. اینشتین هرگز نسبیت را دنبال نمی‌کرد اگر درباره همه فلاسفه نخوانده بود و مغزش پر از فلسفه نبود. گالیله هرگز کاری را که کرد انجام نمی‌داد، اگر مغزش پر از افلاطون نبود. نیوتون خودش را یک فیلسوف به حساب می‌آورد و با دکارت بحثهای فلسفی می‌کرد. منظورم این است که تمامی اقدامات گذشته توسط افرادی برداشته شده است که کاملا آگاه از سوالات متدولوژیک بنیادی و حتی متافیزیکی بودند. من فکر می‌کنم که در بسیاری از عالمان همکار من یک تنگ نظری است که نمی‌خواهند آنچه در فلسفه علم گفته می‌شود، بیاموزند."

۵. رئالیسم و ایده‌آلیسم

بحث راجع به آزمایش خاصی بود که طراحی کردیم و راجع به آنها بحث به اهمیت فلسفه کشیده شد. اینجا می‌خواهیم که یکی از این اصول عام فلسفه را بیان کنیم و آن را مورد بررسی قرار دهیم. هریک از ما هرچقدر در گذشته خودمان سیر کرده و از آغازی که چشم باز کرده و به تماشای زشت و زیبای جهان پرداخته‌ایم نگاه کنیم، برای اولین بار خود به خود چیزهایی خارج از خودمان دیده، و کارهایی به حسب خواهش خود انجام داده‌ایم(البته در اینجا نباید فراموش کرد که در این تماشا به خطاهایی نیز برمی‌خوریم که تدریجا، علما و عملا با آنها مواجه شده‌ایم.) و اگر بازهم این عمل را تکرار کرده و در هریک از اطوار گوناگون زندگی نظر خود را بیازماییم، همان خاطره به ما جلوه‌گر خواهد شد که: "خارج از من جهانی هست که در وی کارهایی به حسب خواهش خود می‌کنم." این همان اصل فلسفی است که می‌خواهیم آن را وارد فیزیک کنیم. اما اکنون اگر به شما بگوییم که در جهان مردمانی هستند که واقعیت جهان هستی خارج از ما یا اصل واقعیت را قبول ندارند، ابتدا دچار شگفتی خواهید شد. مخصوصا اگر در بین آنها افراد دانشمندی را ذکر کنیم که عمر خود را صرف در فهم فیزیک و کشف قوانین عالم گذرانده باشند.

---

[۷] Rovelli

برخی از جماعت فیزیکدان که به آنها کپنهاگی می‌گوییم، درباره امثال این آزمایشات به چند دسته تقسیم شدند. یک دسته گفتند که واقعیتی ورای این پدیده‌ها وجود ندارد. یک دسته دیگر گفتند که ذرات وجود دارند ولی ذرات چیزی به عنوان مکان و سرعت ندارند و آزمایش این ویژگیها را خلق میکند (البته این تعارض دارد که چرا اینجا دنیای ماکروسکوپی را از میکروسکوپی جدا میکنید). لذا تعبیر رایج کپنهاگی از کوانتوم، یک تعبیر ایده‌آلیستی است.(ایده‌آلیست به کسی می‌گوییم که وجود جهان خارج را انکار کند). فیزیکدانان رئالیست نیز به چند دسته تقسیم شدند. یک دسته گفتند که ما در انجام آزمایش دنبال کشف جهان خارج هستیم و جهان خارج را باید فرض کنیم تا شروع به کشف حقایق آن از طریق آزمایش بکنیم. اگر فرض کنیم که جهانی نیست که چرا آزمایش می‌کنیم؟ لذا گفتند که ما آزمایش کردیم و فرمولهایی به دست آوردیم. این فرمولها را که کوانتم هست را نگه دارید و فقط تعبیرتان از این فرمولها را عوض کنید. یک دسته دیگر از رئالیستها امثال بوهم و غیره هم که فرمالیزم علّی و رئالیستی از جهان خارج ارائه دادند(با توجه به بحث بالا که آزمایشات، تئوریها را به صورت یکتا مشخص نمی‌کند). اینجا به ذکر جملاتی از جماعت فیزیکدان اشاره می‌کنیم.

هایزنبرگ:"دنیای میکروسکوپی دنیای بالفعل نیست، دنیای استعدادهاست. آزمایش منجر به فعلیت یکی از استعدادها می‌شود". از ۱۹۵۰ به بعد، گرایش افلاطونی در هایزنبرگ پیدا می‌شود. به این معنا که مبدا همه اشیا ریاضیات است. ذرات بنیادی تجلیات موجودات ریاضی است. او میگوید:"برای من جالب است که در زمان حاضر در تمام بخشهای جهان و با تمام وسایل تکنیکی که در اختیار ماست، انسان می‌کوشد مسائلی را حل کند که فلاسفه یونان ۲۵۰۰ سال پیش تدوین کرده‌اند." او فلاسفه یونان را دو دسته میکند. یک عده که می‌گفتند اتمها هستند و گروه دیگر افلاطون است که اصل موجودات را ریاضی می‌داند. وایتسکر می‌گوید که از ۱۹۵۰ به بعد، هایزنبرگ یک افلاطونی تمام عیار شده بود.

جینز:"جهان بیشتر شبیه یک اندیشه بزرگ به نظر می‌رسد تا یک ماشین بزرگ. جهان یک اندیشه ریاضی است در مغز یک ابرریاضی‌دان(خدا)"

جینز:"اگر زبان ایده‌آلیست را به کار بریم، قانون و نظمی که در طبیعت می‌یابیم، به آسانترین وضع توصیف می‌شود."

فاین:"ما روی این موضوعات نمی‌توانیم تصمیم بگیریم، بهتر است از خیر آنها بگذریم."

بوهر:"در توصیف طبیعت منظور ما این نیست که واقعیت ماهیت واقعی پدیده‌ها را کشف کنیم، بلکه می‌خواهیم تا آنجا که ممکن است به روابط میان جنبه‌های مختلف افکارمان بپردازیم." هایزنبرگ هم اوایل معتقد بود که در مقیاس اتمی نمی‌توان به اشیا واقعیتی مستقل از مشاهدات نسبت داد.

دقت کنید که فیزیکدانان خیلی اوقات متوجه ملزومات حرفهایشان نبودند. مثلا اینکه این حرف از فیزیک نیست و یک حرف فلسفی است. اینشتین می‌گوید:"فلسفه یا مذهب آرامبخش هایزنبرگ-بوهر چنان ظریفانه ابداع شده است که در حال حاضر بالشت نرمی برای پیرو واقعی آن فراهم کرده، به طوریکه به این آسانی نمی‌تواند بیدار شود." اینشتین معتقد بود که پیروان مکانیک کوانتومی، شبیه وضعیت بارکلی هستند که همه چیز را ایده‌آلیستی تلقی می‌کرد.

رئالیسم به دو دسته خام و انتقادی تقسیم می‌شود. در رئالیسم خام می‌گویند که ما جهان را آنچنان که هست می‌بینیم. تمام برداشتهای ما از جهان عینا در خارج وجود دارد. التبه این تئوری که به خاطر خطاهای حواس، اشتباه بودن آن مشخص است و حرف ما این نیست. ما نمی‌خواهیم بگوییم که هرچه می‌فهمیم راست و درست است. ادعای ما این است که واقعیتی خارج از خودمان

فی‌الجمله داریم و خود به خود(فطرتا) این واقعیت را اثبات می‌کنیم. زیرا اگر اثبات نمی‌کردیم، نسبت به موضوعات ترتیب اثر منظم نمی‌دادیم. پیوسته پس از گرسنگی به خیال خوردن نمی‌افتادیم. پیوسته پس از احساس خطر فرار نمی‌کردیم. و پیوسته و پیوسته و...زیرا اندیشه خالی، همیشه در دست ما هست و هر وقت بخواهیم می‌توانیم به دلخواه خودمان اندیشه‌هایی بکنیم.

اینشتین در ۱۹۳۳ در آکسفورد تذکری داد که به حرفهای فیزیکدانان گوش نکنید. بلکه به رفتارهای آنها نگاه کنید. به این معنی که مثلا یک فیزیکدان که می‌گوید من ایده‌آلیست هستم، بعد می‌رود یک شتابدهنده را می‌سازد که یک ذره را در جهان خارج کشف کند. لذا اگر ما به بیوگرافی این فیزیکدانان سر بزنیم، هیچ کدام از آنها به معنی حقیقی کلمه ایده‌آلیست نیستند. بله در طول تاریخ افرادی به عنوان شک‌گرا به معنای حقیقی کلمه ثبت شده‌اند، مثلا شخصی که وقتی راه می‌رفته و به چاهی رسیده بوده، همینطور رفتنش را ادامه می‌داده و می‌گفته که شاید این خیال خامی باشد و بعد شاگردانش جلویش را می‌گرفتند که داخل چاه نیفتد. هیچ یک از این فیزیکدانان از قوانین و نظام مخصوصی که ما با آن زندگی می‌کنیم تخطی نمی‌کنند. هیچ وقت برای دیدن، از گوشهایشان استفاده نمی‌کنند. یا مثلا در مورد خوردن بخوابد یا مثلا هنگام سخن گفتن، لب ببندد یا مثلا سخن پریشان بگوید. پس اینها را خوب بررسی کنیم، هیچ کدام ایده‌آلیست به معنای حقیقی کلمه نیستند، بلکه آنان نیز عینا مانند ما(رئالیست) با نظام مخصوصی که در زندگی انسانی هست زندگی می‌کنند و چنانچه با ما در زندگی نوعی شرکت دارند، در انجام دادن افعال نوعی و افعال ارادی نیز شرکت دارند. لذا آنها هم در این حقیقت و تمام معلوماتی که اصول اولیه این حقیقت هستند، با ما مشترک هستند. آری هنگامیکه به صحنه تفکر و بحث وارد می‌شوند، ایده‌آلیسم و سفسطه را پذیرفته و می‌گویند واقعیت نیست و برخی از آنان چون می‌بینند که در همین یک جمله واقعیتهای بسیاری را تصدیق کرده‌اند شکل جمله را تغییر داده و می‌گویند علم به واقعیت نداریم و برخی از آنان بیشتر دقیق شده و می‌بینند باز در همین سخن، خودشان و علم خودشان(فکر) را تصدیق نموده‌اند، لذا می‌گویند واقعیتی خارج از خودمان(ما و فکر ما) نداریم. یعنی علم به واقعیت خارج از خودمان و فکر خودمان نداریم. و جمعی گام فراتر نهاده و به جز خود و فکر خود همه چیز را منکر شده اند که جز من و فکر من، چیزی نمی‌دانم. البته خطرناکتر از همه اینها کسانی هستند که مطلق واقعیت حتی واقعیت خود را منکر بوده و به جز شک و تردید چیزی اظهار نمی‌دارند. پس از اینجا روشن شد که حقیقت سفسطه(منظور ما از سفسطه همان ایده‌آلیست است)، انکار علم(ادراک مطابق با واقع) است. چنانچه ادله‌ای که از این طایفه نقل شده، همه در گرد همین محور چرخیده و عموما به همین نکته متکی می‌باشد. و از اینجاست که فلسفه می‌گوید اساس سفسطه مبنی بر اصل عدم تناقض است[۸]، زیرا همه معلومات به حسب تحلیل به این قضیه متکی بوده و با تسلیم وی حقیقتی را انکار نمی توان کرد، چنانچه با انکار وی حقیقتی را اثبات نمی‌توان کرد. و نیز با تذکر مقدمه ای که بیان کردیم، روشن میشود که برای ابطال مذهب این طائفه (اگر اطلاق مذهب به دعوی ایشان صحیح بوده باشد) و نقض ادله شان راه‌های بسیاری در دست داریم، زیرا همینکه

---

[۸] دکارت دانشمند معروف فرانسوی همینکه خواست در جمیع معلومات خود تجدید نظر نماید و طرحی از نو بریزد، همهٔ افکار خود از محسوسات و معقولات و منقولات مورد شک و تردید قرار داد و با خود گفت شاید اینطور که من حس می‌نمایم یا فکر می‌کنم، یا به من گفته‌اند نباشد و همه اینها مانند آنچه در عالم خواب بر من ظاهر می‌شود، خیال و اندیشه محض باشد، چه دلیلی هست که اینطور نیست؟ پس کلیه افکار من (حتی اصل عدم تناقض) باطل شد و هیچ اصلی برای من باقی نماند که به آن اعتماد کنم، آنگاه متوجه شد که در هر چیزی تردید کنم، بالاخره خواهم گفت اندیشه است، پس در وجود خود اندیشه نمی‌توانم تردید کنم، آنگاه همین اندیشه را دلیل بر وجود اندیشه کننده قرار داد و به وجود خود مطمئن شد و گفت که می‌اندیشم، پس هستم، سپس همین اصل را پایهٔ سایر اصول قرار داد و پیش رفت. شهید مطهری اشکالی بر این استدلال وارد کرده اند که اگر انسان این اصل (اصل عدم تناقض) را نیز مورد تردید قرار دهد، نمی‌تواند آن نتیجه (من می‌اندیشم پس هستم) را بگیرد، زیرا با فرض عدم امتناع تناقض، می‌تواند بگوید من می‌اندیشم و در عین حال نمی‌اندیشم و نیز می‌تواند بگوید من هستم و در عین حال نیستم.. حقیقت مطلب این است که اصل امتناع تناقض پایهٔ جمیع علوم و ادراکات است و اگر از این یک اصل فکلری صرف نظر بشود، هیچ علمی استقرار پیدا نخواهد کرد، از این جهت است که فلاسفه از قدیم گفته‌اند با انکار این اصل، هیچ حقیقتی را نمی‌توان ثابت کرد.

آنان به سخن درآمده و شروع به تفهیم و تفهم نمودند، معلومات زیادی را بدون توجه تصدیق نموده‌اند(متکلم هست-مخاطب هست-کلام هست-دلالت هست-اراده هست و .. بالاخره تاثیر هست-علیت و معلولیت مطلق هست) که هریک از آنها در الزام ایشان و روشن کردن حق کافی است.

دسته دیگر رئالیسم، رئالیسم انتقادی است که می‌گویند که بین دانش ما از طبیعت و آنچه که در طبیعت می‌گذرد تفاوتهایی هست ولی بیگانه هم نیست. باید کاری کنیم که این تصویر هرچه بیشتر به اصل نزدیک شود.

اینشتین می‌گوید:"ما چیزی داریم به نام حالت واقعی یک سیستم، که به نحو عینی وجود دارد و قابل توصیف به وسیله مفاهیم فیزیک است. هدف فیزیک شناخت این واقعیت است، آنچنان که هست."

توجه کنید که دانشمندانی مثل ماکسول و کلوین نیز دقیقا همین را میگویند که واقعیتی مستقل از ما وجود دارد و کار فیزیک است که این واقعیت را آنچنان که هست کشف کند.

البته یک دوگانگی در حرفهای برخی فیزیکدانان کوانتومی وجود دارد (که احتمالا به خاطر تغییر در آنها در زمانهای مختلف است، چنانچه در هایزنبرگ اتفاق افتاد). هایزنبرگ می‌گوید:"فیزیکدان باید در علمش فرض کند که او در حال مطالعه جهانی است که خودش آن را نساخته و این جهان وجود دارد ، اگر او نبود."

در انتها طریقه مواجهه با ایده‌آلیستها را از کتاب اصول فلسفه و روش رئالیسم علامه طباطبایی نقل می‌کنیم:

"نکته ای که باید توجه کنیم این است که ایده‌آلیست حقیقی کسی است که مطلق واقعیات را نفی می‌کند که در معنای نفی مطلق است و اینان اگرچه بسیار کم و نایاب و شاید در این عصر مصداق نداشته باشند، ولی دسته‌ای از قدما را تاریخ با این مسلک ضبط نموده است و در هر حال ایده‌آلیست به معنی حقیقی کلمه اینانند. با این همه ما نمی‌توانیم باور کنیم که انسانی پیدا بشود که دارای خلقت صحیح بوده و مانند سایر افراد انسان، کارهای این نوع را انجام دهد و علوم و ادراکات که در سایر افراد نوع یافته می‌شود، در وی یافت نشود. هریک از ماها با یک آزمایش دامنه‌دار، هزاران فعل از خود دیده که از علوم مختلفه به عنوان واقع‌بینی(نه به عنوان اندیشه) سرچشمه می‌گیرد و هر فعل ارادی وی متکی به اراده و هر اراده متکی به علم می‌باشد و همچنین هریک از ماها هزاران فرد از نوع خود با هزاران فعل دیده که همهٔ آنها را با اراده و علم انجام می‌دهد و این علوم و افکار از خارج سرچشمه می‌گیرد. و از اینجا روشن می‌شود که ایده‌آلیست حقیقی یکی از دو کس خواهد بود.

الف)کسی که برخی از علوم و افکار نظری به وی مشتبه شود و در عین حال که یک سلسله علوم و افکار عملی و نظری که برای زندگی روزانه لازم می‌باشد در ذهنش محفوظ و منشا اثر هستند، به واسطه اختلافات و تناقضات که در افکار و انظار دانشمندان دیده و یا خطاهایی که از حواس خود مشاهده کرده، معلومات محفوظه خود را به حساب نیاورده و از واقع‌بینی آنها غفلت ورزیده و فقط به اشتباهات و تناقضات مزبور چسبیده و می‌گوید علوم و ادراکات ما از خارج کشف نمی‌کنند یعنی به چیزی علم نداریم.

ب) کسی که بدون پیش آمدن آفتهای ذهنی برای پاره‌ای از مقاصد فاسده و آزادی جستن از مقررات و اصول مسلمهٔ اجتماعی این مسلک را پیش گرفته است و در همه چیز تردید می‌کند، در برابر هر حقیقت روشن و آشکاری مکابره می‌نماید.

و از این تقسیم روشن است که راه گفت و گو با این دو دسته مختلف بوده و هر دسته طریق راهنمائی جداگانه دارد.

اگر با ایده‌آلیست مشتبه مواجه شدیم، باید با رویه معتدلی در وی انصاف را به جنب و جوش آورده، بگوئیم مراد از واقع بینی این معنی نیست که ما هیچ خطا نمی‌کنیم، ولی اگر هم هیچ راه به واقع نداشته باشیم، کاری از پیش نمی‌رود و سپس یک سلسله علوم و ادراکات محفوظهٔ خودش را به خودش ارائه داده و مقداری هم از اندیشه‌های غیر منظم(اندیشه‌هائی که به دلخواه خود همه وقت

می‌تواند بکند) پیشش آورده و تفاوت این دو دسته از اندیشه‌ها را عینا به وی نشان داده تا متذکر شود که از ته دل به واقع معتقد بوده است. در این صورت وی خواهد دید که:

۱. گاهی گرسنه می‌شود و به دنبال آن غذا می‌خورد.
۲. گاهی تصور غذا خوردن می‌کند و ملزم به غذاخوردن نیست.
۳. گاهی راستی گرسنه می‌شود و اندیشهٔ غذاخوردن اقناعش نمی‌کند و در این سه فرض اندیشه‌ها و افکار وی یکسان نیستند. بلکه برخی از آنها با واقع تماس دارد و برخی دیگر اندیشهٔ بی‌پایه‌ای بیش نیست و به همین ترتیب خواهد دید که پیوسته در امتداد جادهٔ زندگی در پیش پای خود یک رشته افکار منظم(قهری) و یک رشته افکار غیر منظم(دلبخواه) دارد و اندیشه‌های منظم وی با واقع تماس دارند.

ولی اگر با ایده‌آلیست مکابر روبرو شویم، باید از رویهٔ عقلائی خودمان استفاده کرده و با وی مانند یک آفت بی جان رفتار کنیم، زیرا کسی که علم ندارد جماد است، آتش را که می‌سوزاند باید خاموش کرد و آب را که غرق می‌نماید باید خشک و نابود کرد. زیرا کاریکه با طبع خود می‌کنند، ناچار جائز می‌دانند و اگر چنانچه جائز است، در مورد خودشان نیز جائز است."

در واقع جمله آخر اشاره به کلام ابن سینا دارد که می‌گوید که اگر کسی گفت که جهان خارج وجود ندارد و همه چیز فکر و خیالی بیش نیست، او را داخل آتش بیندازید. اگر آتش فکر و خیالی بیش نیست، پس خیال کن که آتش تو را نمی‌سوزاند، یا خیال کن که آتشی نیست. توجه می‌کنیم که اساس فیزیک بر همین اساس استوار است. ما فرض میکنیم موجوداتی(مثلا اینجا آتش) وجود دارند و دنبال خواص و قوانین حاکم بر آنها(مثلا سوزاندن آتش) میرویم. اگر فرض کنیم که جهان خارج و قوانین وجود ندارند، فیزیک بی‌معنا خواهد بود. برای مثال ما با آزمایش روی الکترون و پروتون، کشف میکنیم که نیروی بین آنها جاذبه است.

۶. ادامه بحث درباره آزمایش

در بررسی حرفهایی که درباره آزمایش زدیم(مراجعه کنید به بخش سوم صفحه چهار)، درمی‌یابیم که ما یک فرض کردیم که ذره‌ای که منعکس شده است، نمی‌تواند از آینه سمت چپ آگاهی داشته باشد. در ورای بیان مزبور این فرض قرار دارد که اجسامی که به حد کافی از یکدیگر فاصله دارند، نمی‌توانند بر یکدیگر اثر بگذارند. آیا این فرض صحیح است؟ شاید این باور که اجسام می‌توانند از نظر فاصله از هم جدا شوند تا تاثیری برهم نداشته باشند درست نباشد؟

۷. آزمایش سوم-آزمایش دو شکاف

میخواهیم تفاوت ذره با موج را بفهمیم. آزمایش دو شکاف را با گلوله‌هایی انجام می‌دهیم. شکل ۴ را نگاه کنید. انتظار داریم که جمع شدتها در حالتی که دو شکاف باز است را داشته باشیم(با توجه به شکل). اما در مورد موج اینگونه نیست(شکل ۵ را نگاه کنید). در اینجا یک دامنه امواج تعریف می‌کنیم که تابع زمان است و به صورت سینوسی تغییر میکند. دامنه در هر نقطه برابر جمع دو دامنه میشود. اجاز بدهید، کمی بیشتر با زبان ریاضی صحبت کنیم. دامنه را به این صورت تعریف میکنیم که متناسب با جذر شدت باشد. در حالتی که با ذرات سر و کار داریم (مثل شکل ۴). لذا اگر دامنه را با φ نمایش دهیم، آنگاه $I \propto |\varphi|^2$ را داریم. در حالت ذره داریم:

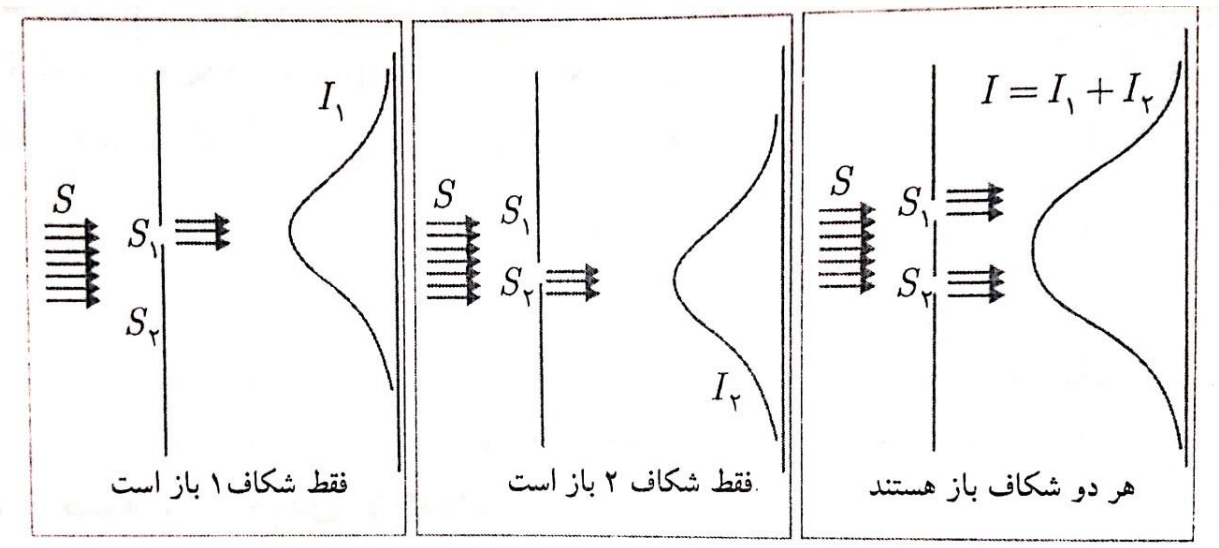
$$|\varphi_1|^2 + |\varphi_2|^2 = |\varphi|^2$$

در حالت موج داریم:

$$|\varphi_1 + \varphi_2|^2 = |\varphi|^2$$

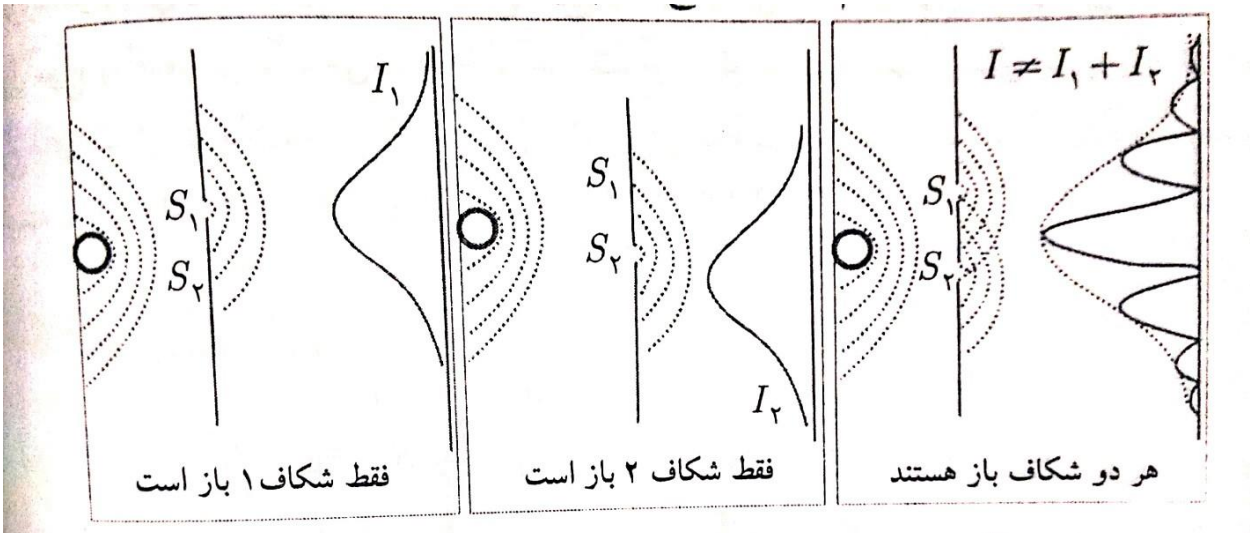
(زیرا در حالت موج، دامنه ها باهم جمع میشوند که به اصل برهمنهی معروف است)

حال آزمایش را با ذرات کوانتومی مثل الکترونها تکرار میکنیم. چه انتظاری داریم؟ انتظار معقول این است که شبیه ذره رفتار کند، اما اینگونه نیست(شکل ۶ را ببینید). چون موج باید از هر دو شکاف عبور کند تا طرح تداخلی را داشته باشیم، لذا تدبیری می‌اندیشیم که ببینیم واقعا یک تک الکترون از کدام شکاف عبور کرده است؟ اما اگر ترتیبی بدهیم که تشخیص بدهیم که الکترون از کدام شکاف رد شده(مثل شکل ۷) آنگاه همانند ذره رفتار میکند. یعنی اگر نفهمیم از کدام شکاف رد شده همانند موج رفتار میکند و اگر بفهمیم همانند ذره خواهد بود.



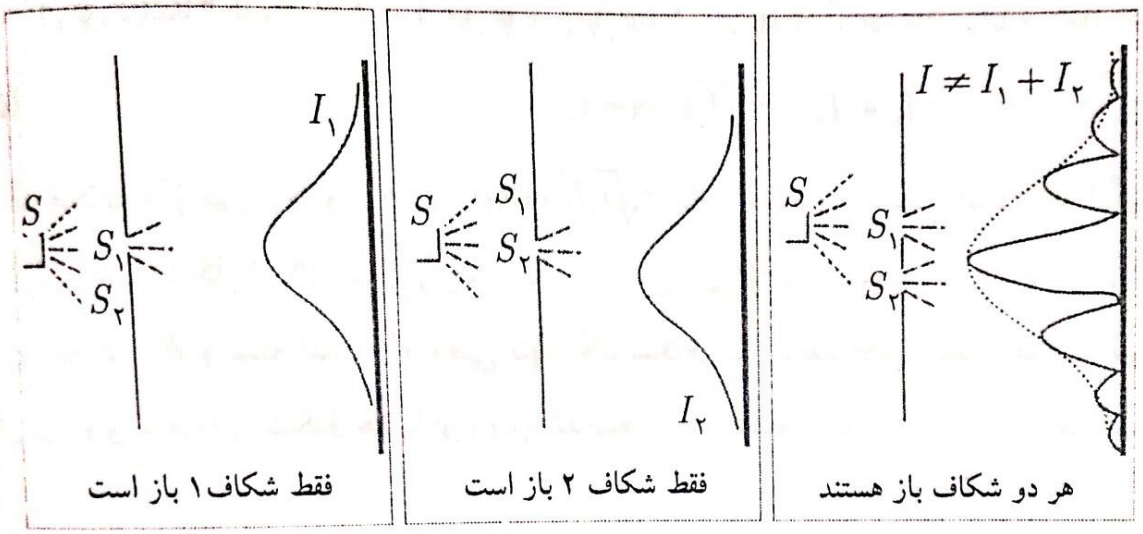
آزمایش دو شکاف با ذرات: S چشمه‌ای از *گلوله‌هاست*؛ I_1 و I_2 شدت‌های ثبت شده روی پرده هستند به‌ترتیب وقتی تنها S_1 باز باشد و سپس هنگامی‌که فقط S_2 باز باشد. وقتی که هر دو شکاف باز باشند شدت کل $I = I_1 + I_2$ است.

شکل ۴ آمایش دو شکاف با ذرات



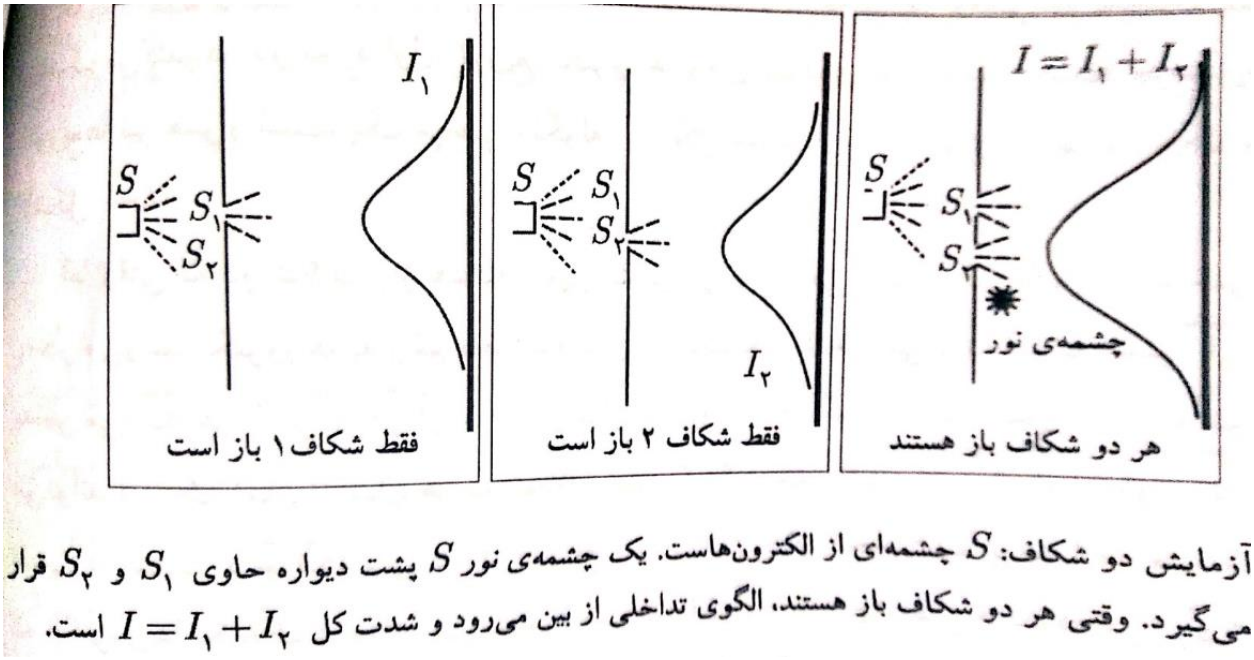
آزمایش دو شکاف: S چشمه‌ای از *امواج* است، I_1 و I_2 به‌ترتیب شدت‌های ثبت شده روی پرده هنگامی‌که تنها S_1 باز باشد و سپس زمانی که فقط S_2 باز باشد، هستند. هنگامی‌که هر دو شکاف باز هستند، دیگر شدت کل برابر با جمع I_1 و I_2 نیست؛ یک جمله‌ی *نوسانی* باید اضافه شود.

شکل ۵ آزمایش دو شکاف با امواج



آزمایش دو شکاف: S چشمه‌ای از الکترون‌هاست، I_1 و I_2 به‌ترتیب شدت‌های ثبت شده روی پرده هستند هنگامی‌که فقط S_1 باز باشد و سپس هنگامی‌که فقط S_2 باز باشد. وقتی که هر دو شکاف باز هستند، شدت کل برابر با جمع I_1 و I_2 و یک جمله‌ی *نوسانی* است.

شکل ۶ آزمایش دو شکاف با الکترونها ، همین آزمایش با ذرات کوانتومی دیگر مثل باکی بال هم انجام شده است(باکی بال یک مولکول بزرگ است)



آزمایش دو شکاف: S چشمه‌ای از الکترون‌هاست. یک چشمه‌ی نور S پشت دیواره حاوی S_1 و S_2 قرار می‌گیرد. وقتی هر دو شکاف باز هستند، الگوی تداخلی از بین می‌رود و شدت کل $I = I_1 + I_2$ است.

شکل ۷ اگر بفهمیم که الکترون از کدام شکاف عبور کرده، نتیجه مشابه ذرات را مشاهده میکنیم.

بحث روی آزمایش دو شکاف

بوهر در ۱۹۲۷ ایده‌ی مکملیت را داد. حرف مکملیت این است که شما نمی‌توانید تصویر واحد از سیستمتان داشته باشید. در یکسری از آزمایشات نتیجه میگیرید که موج است و در یکسری نتیجه ذره میگیرید.(بعدا دید که خیلی چیزها باهم قابل جمع نیستند، مثلا اندازه گیری همزمان مکان و ممتنوم که تحت عنوان عدم قطعیت میشناسیم) لذا دنبال این بود که این موضوع را یک اصل فلسفی بکند. مثلا اگر پدر بر فرزند خشم بگیرد، عدالت و محبت او باهم جمع ناپذیرند، یکی را بیشتر کند، دیگری کمتر میشود. یکی از دلایل باقی ماندن این حرفها، گنگی مطلب است. وایسکر که یک فیزیکدان درجه یک و مهمترین شاگرد هایزنبرگ محسوب میشود، به بوهر نامه ای نوشته و در آنجا پرسیده که برداشت شما از مکملیت، کدام یک از این چیزهاست؟ این یا این یا این؟ جواب داد هیچ کدام. لذا موضوع گنگ است. با اصل مکملیت دیراک و اینشتین و حتی هایزنبرگ مخالف بودند. در کتاب دیالوگ این نکته ذکر شده که ظاهرا رفتار فیزیکدانان در جمع با رفتارشان در جلسات خصوصی متفاوت بود. مثلا هایزنبرگ در جلسات خصوصی با مکملیت مخالفت میکرده ولی در اجتماع میگفته که من این را قبول دارم. در هر صورت حرف هایزنبرگ این بود(که همین حرف هم در اوایل کوانتوم غالب بود) که ما یک زبان ریاضی داریم و موضوعاتمان را با این زبان بیان میکنیم، دیگر چه کار به این حرفها داریم؟ بحث ذره و موج یک بحث طولانی است که اصل آن برای نور و فوتون هم صادق است. انشاالله در جلسه آینده بحث خواهد شد.

۸. آزمایش چهارم-رفتارهای کوانتیده در اتمها

در بررسی طیف اتم هیدروژن، طیف تابشی گسسته است و فرمولهایی تجربی برای فرکانس تابشی اتم هیدروژن داده شده بود. فرکانس تابشی طبق فرمول زیر به دست می‌آید، به طوریکه R ثابت ریدبرگ و ثابتی تجربی بوده و برابر ۱۳,۶ الکترون ولت است. همچنین h ثابت پلانک و ν برابر فرکانس تابشی و n و m دو عدد طبیعی دلخواه می‌باشند.

$$h\nu = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})$$

بور با یک فرض ساده توانست نتایج این آزمایش را توجیه کند و نشان دهد که ثابت ریدبرگ، با یکسری ثوابت بنیادی فیزیک به صورت دقیق ارتباط دارد. بور ادعا کرد که اگر الکترونها تنها در مدارهایی دور هسته اتم هیدروژن مجاز به چرخش باشند که در آن مدارها تکانه زاویه‌ای مضرب صحیحی از $\hbar$ است. فرض کنید که الکترون در شعاع r در حال چرخش است. با استفاده از معادلات فیزیک کلاسیک برای حرکت دایروی داریم:

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \rightarrow \quad v^2 = \frac{ke^2}{mr}$$

و از جانبی برای تکانه زاویه‌ای داریم:

$$mvr = n\hbar \quad \rightarrow \quad v^2 = \frac{n^2\hbar^2}{m^2r^2}$$

لذا با مقایسه دو رابطه بالا داریم:

$$\frac{n^2\hbar^2}{m^2r^2} = \frac{ke^2}{mr} \quad \rightarrow \quad r_n = (\frac{\hbar^2 m}{m^2 ke^2})n^2$$

که شعاعهای حرکت مجاز الکترون را به دست می‌دهد. حال با محاسبه انرژی مدارها، تفاوت انرژی دو مدار، طیف تابشی را باید به دست بدهد.

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r_n} = -\frac{ke^2}{2r_n} = -\frac{k^2e^4m}{2\hbar^2}\frac{1}{n^2}$$

با جایگذاری مشاهده می‌شود که ثابت ریدبرگ برابر با $\frac{k^2e^4m}{2\hbar^2}$ است.

۹. مشکل فیزیک کلاسیک در بررسی مدل اتمی و ناپایداری اتم هیدروژن

در فیزیک کلاسیک، با آزمایش اثبات شده بود که ذره‌ای که شتابدار است تابش می‌کند. بر اساس معادلات فیزیک کلاسیک، توان تابشی جسمی با بار q و شتاب a برابر با $\frac{\mu_0 q^2 a^2}{6\pi c}$ است. فرض کنید که الکترون در شعاع r حول هسته اتم هیدروژن در حال چرخش باشد. پس حرکت شتابدار است و شتاب حرکت را با رابطه $ma = \frac{ke^2}{r^2}$ می‌توانیم محاسبه نماییم که برابر است با:

$$a = \frac{ke^2}{mr^2}$$

از محاسباتی که بالا داشتیم انرژی مدار الکترون برابر است با $E = -\frac{ke^2}{2r}$ و لذا توان تابشی برابر است با $P = \frac{dE}{dt} = -\frac{ke^2}{2r^2}\frac{dr}{dt}$ و لذا داریم:

$$\frac{ke^2}{2r^2}\frac{dr}{dt} = -\frac{\mu_0 e^2 (\frac{ke^2}{mr^2})^2}{6\pi c} \quad \rightarrow \quad r^2 dr = -\frac{\mu_0 e^2 ke^2}{m^2 3\pi c} dt$$

$$\rightarrow \quad \int_r^0 r^2 dr = -\int_0^{T_c} \frac{\mu_0 e^2 ke^2}{m^2 3\pi c} dt$$

$$\rightarrow \quad T_c = \frac{m^2 3\pi c}{\mu_0 e^2 ke^2}\frac{r^3}{3}$$

با جایگذاری شعاع نوعی نیم آنگستروم، زمان سقوط برابر با 10^{-7} ثانیه به دست می‌آید. با مقایسه با فرکانس چرخش الکترون به دور هسته که با رابطه $v = r\omega = r\frac{2\pi}{T}$ می‌توانیم محاسبه نماییم، لذا دوره تناوب برابر با $T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi r\sqrt{\frac{mr}{ke^2}}$ به دست می‌آید که برای شعاع نیم آنگستروم برابر با 10^{-18} ثانیه به دست می‌آید که لذا تقریبی که برای دایروی بودن حرکت زدیم، تقریب مناسبی است. پس مشاهده کردیم که بر اساس فیزیک کلاسیک اتم باید ناپایدار باشد.

۱۰. آزمایش پنجم-اسپین.

آزمایشاتی مشاهده شد که فیزیک کلاسیک از توصیف آنها ناتوان بود. از جمله اینکه ما در فیزیک کلاسیک با آزمایش می‌دانستیم که به یک دو قطبی مغناطیسی[۹] $\vec{\mu}$ داخل میدان مغناطیسی $\vec{B}$ یک گشتاور $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ وارد می‌شود. می‌خواهیم بررسی کنیم که آیا الکترون، یک دوقطبی مغناطیسی دارد یا خیر؟ (یعنی در اثر چرخشی که به دور خودش دارد، یک دو قطبی مغناطیسی داشته باشد). اگر الکترون را داخل یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دهیم، گشتاوری با توجه زاویه بین $\vec{\mu}$ و میدان مغناطیسی به آن وارد می‌شود و $\vec{\mu}$ شروع به چرخش کرده و در اثر چرخش $\vec{\mu}$ الکترون تابش می‌کند تا در نهایت با میدان مغناطیسی همجهت شود.

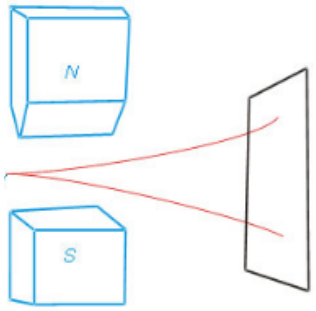
---

[۹] برای مثال برای یک مدار با مساحت A و جریان I دوقطبی از رابطه $\mu = IA$ به دست می‌آید.

فرکانس تابشی با توجه به فرکانس چرخش و شدت تابشی با توجه به زاویه بین $\vec{\mu}$ و میدان مغناطیسی به دست می‌آید. لذا انتظار داریم که با توجه به بررسی طیف تابشی، زاویه بین $\vec{\mu}$ و میدان مغناطیسی را پیدا کنیم. اما با انجام آزمایش متوجه نتیجه عجیبی می‌شویم. اینکه الکترون یا تابش نمی‌کند و یا یک فوتون تابش می‌کند که انرژی آن برابر با اختلاف انرژی بین دو حالت $\vec{\mu}$ در راستای میدان مغناطیسی یا در خلاف جهت میدان مغناطیسی است. انگار هیچ حالت بین این دو حالت وجود ندارد. فرض کنید که آهنربا را مثلا ۴۵ درجه چرخانده باشیم. بازهم نتیجه همین است. یعنی یا الکترون در جهت میدان مغناطیسی بوده و یا در خلاف جهت میدان مغناطیسی قرار دارد. این نتیجه خیلی عجیب است. نتایجی که ممکن است عده‌ای از این آزمایش بگیرند مثل اینکه جهان خارجی وجود ندارد که بطلان آن برای خواننده معلوم است[۱۰].

۱۱. آزمایش ششم-آزمایش اشترن گرلاخ

انرژی پتانسیل دو قطبی داخل میدان مغناطیسی برابر با $U=-\vec{\mu}.\vec{B}$ است. رابطه نیرو نیز برابر با $\vec{F}=-\nabla U=\nabla(\vec{\mu}.\vec{B})$ است. لذا اگر $\vec{B}=(0,0,B_z)$ باشد، به سادگی نیرو برابر با $F=\mu_z\frac{dB_z}{dz}$ است. لذا اگر بخواهیم که نیرو مخالف صفر باشد، باید $\frac{dB_z}{dz}$ غیر صفر باشد. برای اینکه یک میدان مغناطیسی ایجاد کنیم که در راستای محور z اندازه آن تغییر کند، به سادگی از یک آهنربای غیرمتقارن استفاده می‌کنیم. (به شکل ۴ نگاه کنید) پس انتظار داریم که با توجه به اندازه μ_z این نیرو نیز مقادیر مختلفی داشته باشد و لذا الکترونها با توجه به اندازه μ_z از یکدیگر تفکیک شوند. قاعدتا با توجه به اینکه انتظار داریم که جهت $\vec{\mu}$ دلبخواه است، لذا در خروجی دستگاه یک خروجی پیوسته داشته باشیم. اما با کمال تعجب مشاهده می‌شود که تنها دو حالت خروجی وجود دارد. یا $\vec{\mu}$ کاملا در راستای میدان مغناطیسی است یا کاملا در خلاف جهت و در بین انگار هیچ حالتی وجود ندارد. توجه کنید که جهت محور z دلبخواهی است و در هر جهتی می‌توانید آنرا فرض کنید.



شکل ۸ آزمایش اشترن گرلاخ

[۱۰] زیرا همین که طرف آزمایش کرده و دنبال کشف حقیقتی از حقایق هستی بوده و همینکه نتیجه را گزارش کرده و همینکه مطمئن است که الکترون اینگونه رفتار میکند و همینکه ... نشان میدهد که خودش هم حرف خودش را قبول ندارد.

۱۲.بحث روی نمایش ریاضی وضعیت اسپین

گفتیم که اسپین در راستای محور z دو حالت دارد که این دو حالت را با $\left|\uparrow\right\rangle$ و $\left|\downarrow\right\rangle$ نمایش می‌دهیم. حالت یک سیستم را به این صورت تعریف می‌کنیم که با $c_1\left|\uparrow\right\rangle+c_2\left|\downarrow\right\rangle$ نمایش می‌دهیم، به طوریکه c_1 و c_2 دو عدد مختلط هستند، به طوریکه $\left|c_1\right|^2$ پس از اندازه‌گیری، احتمال یافتن سیستم در حالت $\left|\uparrow\right\rangle$ و به همین ترتیب $\left|c_2\right|^2$ احتمال یافتنِ سیستم در حالت $\left|\downarrow\right\rangle$ است. برای مثال در ابتدا سیستم در حالت $\left|\psi\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle+\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\downarrow\right\rangle$ است. نکته این است که اگر سیستم را تحت آزمایش قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم که ۵۰ درصد الکترونها به سمت بالا و ۵۰ درصد به سمت پایین می‌آیند. حال اگر با قرار دادن مانعی جلوی آنهایی که به پایین آمده‌اند، آنها را جدا و حذف کنیم، و فقط الکترونهای اسپین بالا را نگه داریم و دوباره آنها را به سمت دستگاه بفرستیم، مشاهده میکنیم که همه آنها به بالا می‌روند. لذا می‌گوییم که بعد از اندازه‌گیری، تابع سیستم به حالت اندازه‌گیری شده تقلیل می‌یابد. یعنی قبل از اینکه الکترون وارد دستگاه شود، تابع حالت آن $\left|\psi\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle+\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\downarrow\right\rangle$ بود و بعد از عبور از دستگاه، اگر به سمت بالا رفت، تابع حالت آن به $\left|\psi\right\rangle=\left|\uparrow\right\rangle$ تقلیل می‌یابد. لذا برای تابع حالت $\left|\psi\right\rangle=\left|\uparrow\right\rangle$ همه الکترونها در حالت $\left|\uparrow\right\rangle$ هستند. نکته بعدی این است که اینجا ما یک فرض می‌کنیم که می‌توانیم این وضعیت را با بردار نمایش دهیم. به این معنی که $\left|\uparrow\right\rangle=\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$ و $\left|\downarrow\right\rangle=\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$ پایه‌های فضای ما را تشکیل دهند. پس برای مثال $\left|\psi\right\rangle=\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}$ می‌شود. نکته بعد این است که اگر این الکترونها را به سمت دستگاه دیگری که در راستای مثلا محور y جهتگیری کرده بفرستیم، دوباره ۵۰ درصد بالا و ۵۰ درصد پایین هستند. به همین ترتیب اگر الکترونها را به دستگاه در راستای محور x بفرستیم، بازهم همین را شاهد خواهیم بود. از اینجا به اهمیت اعداد مختلط می‌توانیم پی ببریم(چنانچه در ادامه واضح خواهد شد). به این معنا که اگر تابع حالت را $\left|\psi\right\rangle=\left|X:\uparrow\right\rangle$ در نظر بگیریم (یعنی با جدا کردن الکترونهایی که در راستای محور ایکس به سمت بالا رفته اند) این ذرات اگر وارد دستگاه در راستای محور z شوند، باید ۵۰ درصد بالا و ۵۰ درصد پایین باشند. با فرض اینکه فاز مشترک بخش موهومی دو ضریب را می‌توان نادیده انگاشت، به سادگی می‌توانیم بنویسیم(چرا؟) :

$$\left|X:\uparrow\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle+\frac{1}{\sqrt{2}}e^{i\varphi_1}\left|\downarrow\right\rangle$$

از جانبی چون در حین اندازه‌گیری در راستای محور x دو حالت داریم، لذا انتظار داریم که این دو حالت یعنی $\left|X:\uparrow\right\rangle$ و $\left|X:\downarrow\right\rangle$ برهم عمود باشند. (در پیوست، یک یادآوری از ضرب داخلی در فضای مختلط خواهیم داشت) پس میتوانیم بنویسیم:

$$\left|X:\downarrow\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle-\frac{1}{\sqrt{2}}e^{i\varphi_1}\left|\downarrow\right\rangle$$

ممکن است سوال شود که چه نیازی به نمایش مختلط است. در ادامه وقتی خواستیم $\left|Y:\uparrow\right\rangle$ را نمایش دهیم، موضوع واضح خواهد شد. به طریق مشابه خواهیم داشت:

$$\left|Y:\uparrow\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle+\frac{1}{\sqrt{2}}e^{i\varphi_2}\left|\downarrow\right\rangle$$

$$\left|Y:\downarrow\right\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left|\uparrow\right\rangle-\frac{1}{\sqrt{2}}e^{i\varphi_2}\left|\downarrow\right\rangle$$

از جانبی اگر حالت $\left|X:\uparrow\right\rangle$ را در نظر بگیریم و وارد دستگاه در راستای Y کنیم، دوباره نیمی از الکترونها به بالا و نیمی به پایین خواهند رفت. لذا نتایج زیر را انتظار داریم (چرا؟ به پیوست گزاره ح و بخش بعدی نکته دوم مراجعه کنید).

$$\left|\left\langle Y:\uparrow\middle|X:\uparrow\right\rangle\right|^2=\left|\left\langle Y:\downarrow\middle|X:\uparrow\right\rangle\right|^2=\frac{1}{2}$$

با ضرب داخل به سادگی به دست می‌آوریم $\varphi_2-\varphi_1=\pm\frac{\pi}{2}$ ولذا مشاهده می‌شود که گریزی از اعداد مختلط نخواهید داشت.

در آخرین فرمول این نکته مورد توجه قرار گرفت که اگر سیستم در حالت $\left|\psi\right\rangle$ باشد و اندازه‌گیری را انجام دهیم و سیستم بتواند حالتهای $\left|\chi_1\right\rangle$ و $\left|\chi_2\right\rangle$ و سایر مقادیر را اختیار کند، آنگاه دامنه احتمال اینکه سیستم در حالت $\left|\chi_1\right\rangle$ باشد برابر با $\left\langle\chi_1\middle|\psi\right\rangle$ است.[11]

تمرین. موارد بالا را نوشته و رابطه $\varphi_2-\varphi_1=\pm\frac{\pi}{2}$ را به دست بیاورید.

۱۳.جمع بندی نکات نمایش ریاضی

نکته اول اینکه اگر حالات مختلف که در اندازه‌گیری ممکن است به دست بیاید را در نظر بگیریم، این حالات مختلف پایه‌های مختلف فضای برداری ما خواهند بود. یعنی مثلا در مثال بالا دو حالت $\left|\uparrow\right\rangle$ و $\left|\downarrow\right\rangle$ را داشتیم.

نکته دوم. حالت سیستم را با یک حالت $\left|\psi\right\rangle$ نمایش می‌دهیم، به طوریکه احتمال یافتن سیستم در یک حالت خاص پس از اندازه‌گیری، با توجه به تصویر $\left|\psi\right\rangle$ بر روی آن بردار یکهٔ مربوط به حالت مربوطه که با اندازه‌گیری به دست می‌آید، به دست می‌آید. برای مثال دامنه احتمال یافتن سیستم در حالت $\left|\varphi\right\rangle$ برابر با $\left\langle\varphi\middle|\psi\right\rangle$ است (به گزاره ح بخش پیوست مراجعه کنید).

نکته سوم. بعد از اندازه‌گیری، حالت سیستم به آن حالت خاص تقلیل می‌یابد. یعنی اگر بعد از اندازه‌گیری مثلا اسپین بالا به دست بیاید، آنگاه همان لحظه تابع موج به $\left|\uparrow\right\rangle$ تبدیل می‌شود.

۱۴. پیوست. مقدماتی از ریاضیات

اولین خاصیت از ضرب داخلی که انتظار داریم این است که اگر یک بردار را در خودش ضرب داخلی کنیم، برابر طول بردار که یک عدد حقیقی مثبت است بشود. در هر صورت در فضای مختلط ضرب داخلی دو بردار به این صورت است که فرض کنید که

[11] از عمود بودن بردارهای پایه نتیجه میشود.

$|a\rangle = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$ و $|b\rangle = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$ باشند. در این صورت ضرب داخلی این دو بردار برابر با $\langle a|b\rangle = a_1^* b_1 + a_2^* b_2$ تعریف می‌شود.

خوب است اینجا نماد $\langle a|$ را معرفی نماییم. $\langle a|$ (در واقع صلیب بردار $|a\rangle$ است). ترانهاده یک ماتریس به این صورت تعریف می‌شود که جای سطر و ستون را عوض نماییم.

$$H = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{pmatrix} \rightarrow H^t = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{21} & H_{31} \\ H_{12} & H_{22} & H_{32} \\ H_{13} & H_{23} & H_{33} \end{pmatrix}$$

به همین صلیب یک ماتریس به صورت ترانهاده و مزدوج مختلط یک ماتریس تعریف می‌شود.

$$H = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{pmatrix} \rightarrow H^\dagger = \begin{pmatrix} H_{11}^* & H_{21}^* & H_{31}^* \\ H_{12}^* & H_{22}^* & H_{32}^* \\ H_{13}^* & H_{23}^* & H_{33}^* \end{pmatrix}$$

پس به سادگی برای بردار $|a\rangle$ داریم:

$$|a\rangle = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \rightarrow \langle a| = (a_1^* \quad a_2^*)$$

پس برای $\langle a||b\rangle = \langle a|\times|b\rangle$ که برای سادگی به جای قرار دادن دو خط در وسط، از یک خط استفاده می‌کنیم داریم:

$\langle a|b\rangle = (a_1^* \quad a_2^*)\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$ که در نهایت با استفاده از ضرب ماتریسها به همان تعریف بالا می‌رسیم.

خواص ضرب داخلی و ضرب ماتریسها[۱۲]:

با این تعریفی که در بالا کردیم، خواص زیر را برای ضرب داخلی خواهیم داشت:

الف) $\langle a|a\rangle$ عدد حقیقی و مثبت است.

ب) $\langle a|b\rangle = \langle b|a\rangle^*$ که مزدوج مختلط می‌شود.[۱۳]

ج) فرض کنید که x و y عددی مختلط باشد، بردار $|\psi\rangle = x|b\rangle + y|c\rangle$ را در نظر بگیرید. داریم: $\langle a|\psi\rangle = x\langle a|b\rangle + y\langle a|c\rangle$

د) فرض کنید که x و y عددی مختلط باشد، بردار $|\psi\rangle = x|a\rangle + y|a'\rangle$ را درنظر بگیرید. داریم $\langle \psi|b\rangle = x^*\langle a|b\rangle + y^*\langle a'|b\rangle$

---

[۱۲] اثبات این موارد سرراست بوده و به خواننده واگذار می‌شود

[۱۳] تعداد سطر برا با تعداد ستون کت باهم برابر است. در سایر گزاره ها مثلا در گزاره ط نیز همین شرط برقرار است.

ه) فرض کنید که ماتریس M داده شده است[۱۴]. حاصل $M|a\rangle$ نیز یک بردار خواهد بود. لذا به M بعض اوقات عملگر میگوییم. به این معنی که یک بردار را به بردار دیگری تبدیل می‌کند.

و) فرض کنید که ماتریس M داده شده باشد. حاصل $\langle a|M$ نیز یک ماتریس سطری خواهد بود. لذا اینجا نیز حالت عملگر را خواهیم داشت.

ز) به ماتریسهای ستونی که همان بردارها هستند، کت می‌گوییم. به ماتریسهای سطری برا میگوییم.(حاصل ضرب داخلی که برا و کت کنار هم می‌آیند صورت براکت تشکیل می‌شود)

ح) چون $M|b\rangle$ یک کت بوده و لذا میتوانیم در یک برا، ضرب کنیم حاصل یک عدد خواهد بود. مثلا $\langle a|M|b\rangle$ یک عدد مختلط است.

و) باید در ضرب ماتریسها دقت کنیم. مثلا $M\langle a|$ بی‌معناست و یا $|a\rangle|b\rangle$ بی‌معناست و یا $|a\rangle M$ بی‌معناست.

ز) $\langle a|M|b\rangle^* = \langle b|M^\dagger|a\rangle$

ح) اگر بردارهای یکه که پایه فضا هستند را با $|\chi_1\rangle$ و $|\chi_2\rangle$ و ... نمایش دهیم، آنگاه بردار $|\psi\rangle$ را در این پایه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$|\psi\rangle = \langle\chi_1|\psi\rangle|\chi_1\rangle + \langle\chi_2|\psi\rangle|\chi_2\rangle + \ldots$$

ط) حاصل ضرب $|a\rangle\langle b|$ معنادار است و یک عملگر است.

ی) صلیب عملگر $|a\rangle\langle b|$ برابر با $|b\rangle\langle a|$ است.

ک) اگر A و B و C سه عملگر باشند آنگاه داریم: $(ABC)^\dagger = C^\dagger B^\dagger A^\dagger$

[۱۴] ماتریسها را مربعی فرض کنید و تعداد ستون آن برابر با تعداد سطرها در برای داده شده است. در سایر گزاره ها نیز همین را فرض کنید.