

اهمیت مباحث بنیادی در علوم پایه

دکتر مهدی گلشنی
دانشگاه صنعتی شریف

Francisco J. Muller (Professor of physics at Florida International University)

“I think that I can safely say that physicists confuse “understanding” with “calculating” and confuse ‘explanation’ with ‘observation’.”

منظور از فیزیک بنیادی، آن بخش از فیزیک تجربی و نظری است که با ساختار نهائی طبیعت سر و کار دارد، که مثلاً در فیزیک امروزی بوسیله ذرّات بنیادی و کیهان‌شناسی بیان می‌شود. به قول **ویلچک** (برندهٔ جایزهٔ نوبل در فیزیک):

«هدف اولیه فیزیک بنیادی کشف مفاهیم عمیقی است که بر فهم ما از طبیعت نور می‌اندازد.»

چرا باید دنبال مبانی فیزیک باشیم، در حالی که نظریه‌های فعلی ما در فیزیک -مدل استاندارد ذرات بنیادی و نسبیت عام- بسیار موفق هستند. زیرا علیرغم اینکه تجارب و مشاهدات ما، از جمله تجارب در سرن و مشاهدات اختر فیزیکی، نتوانسته‌اند اشاراتی واضح به نیازی به فیزیک جدید بکنند، و علیرغم توفیقات پدیده شناختی هنوز بعضی مسائل مفهومی مبهم باقی مانده‌اند. مثلاً یافتن یک تئوری وحدت‌بخش، یا لااقل یک نظریهٔ گرانش کوانتومی، بسیار مشکل بوده است. همچنین خود نظریه‌های میدان بعضی مشکلات ریاضی و مفهومی دارند که مانع دستیابی به یک فرمول‌بندی واضح مفهومی شده‌اند. نسبیت عام هم خودش نقض خود را در تکینگی‌ها پیش‌بینی می‌کند. همچنین بعضی از توسعه‌های مدل استاندارد، که در دو دهه گذشته مطرح شدند، توسط LHC تأیید نشده‌اند.

کاملترین مدلی که ما اکنون داریم مدل استاندارد ذرات بنیادی است که موفق بوده است.
اما آن یک مدل است، آن یک نظریه نیست. آن تمامی مطالب را در یک ساختار منسجم
جمع می‌کند، بدون آنکه توضیحی در کار باشد.

پس اگر بخواهیم بر مشکلات نظریه‌های فعلی فائق آئیم و به طرف یک نظریه وحدت
بخش در فیزیک حرکت کنیم، یک تغییر فکر اساسی در مبانی فیزیک و ساختار
نظریه‌های فیزیکی ضروری است و بنابراین تفکر و تأمل در مبانی نظری فیزیک فعلی
ضروری است.

به نظر من یک دلیل عمده عدم تحول عمده، نادیده گرفتن مشکلات بنیادی در
نظریه‌های کوانتوم و گرانش کوانتومی بوده است. پژوهشگران خواسته‌اند بر مبنای
تئوری‌هایی که خود مشکل دارند تئوری‌های وسیع‌تر بسازند و صرفاً یک دیدگاه
ابزارانگارانه بر آنها حاکم شده است. این خود معلول تحولاتی است که ابزارانگاری را
برذهن غالب فیزیکدانان حک کرد.

ابزارانگاری رویکردی در فیزیک است که هدف فیزیک را فهم واقعیت خود طبیعت نمی‌داند، بلکه هدف آن را پیش‌بینی نتایج مشاهدات می‌داند. ابزارانگاران نظریه‌های علمی را نمایش واقعی آنچه در طبیعت می‌گذرد نمی‌دانند، درحالی‌که برای بسیاری از دانشمندان برجسته، در قدیم و جدید، هدف علم دستیابی به قوانین حاکم بر طبیعت است. نگرش ابزارانگارانه یک دیدگاه فلسفی قدیمی است. کلیسا برای مدتی طولانی این بینش ابزارانگارانه را در مقابل علم جدید بکار می‌برد. استدلال کاردینال **بلازمینو** در مقابل گالیله این بود که:

«شما ممکن است ابزارها و دستگاه‌هایی بسازید، اما شما نمی‌توانید در پرتو عقل‌تان هیچیک از اسرار نهان این جهان را کشف کنید.»

- دیدگاه ابزارانگاری در عصر جدید ابتدا توسط پیر دوئم، فیزیکدان و فیلسوف و مورخ فرانسوی، در ۱۹۰۶ بیان شد، و از آن موقع به بعد یک دیدگاه رایج در میان فیزیکدانان شده است، خصوصاً در حوزه نظریه استاندارد کوانتم، که آن را فورمالیسمی برای پیش‌بینی تلقی می‌کنند، و البته از این لحاظ این نظریه کاملاً موفق بوده است. ابزارانگاران نظریه‌ها را صرفاً ابزار طبقه‌بندی، تنظیم و ارائه گزاره‌های مشاهداتی می‌دانند و کاری به فهم طبیعت ندارند. اما بسیار از فیزیکدانان و فلاسفه از این نظریه موفق در عمل ناراضی بوده‌اند چون این نظریه دنبال توضیح چرائی قضایا نیست و نمی‌گوید در پس پدیده‌ها چه می‌گذرد. آنها تعبیر کپنهاگی نظریه کوانتم را یک تعبیر ابزارانگارانه تلقی می‌کنند که فقط متمرکز بر ریاضیات و پیش‌بینی‌ها است، بدون آنکه در مقام توضیح عناصری مثل تابع موج باشد.

- به عقیده ابزارانگاران، نظریه‌ها چیزی جز ابزار محاسبه نیستند، در حالی که فیزیکدانان کلاسیک عقیده داشتند که نظریه‌ها جهان، یا دست کم جهاتی از آن، را توصیف می‌کنند. از طرف دیگر ابزارانگاران معتقدند که تنها چیزهایی واقعی تلقی می‌شوند که نتیجه اندازه‌گیری یا مشاهده باشند و یک نظریه این‌گونه «واقعیات» را به هم مربوط می‌کند. مفاهیمی که در یک نظریه بکار می‌روند ممکن است به هیچ چیز عینی اشاره نداشته باشند، بلکه صرفاً ربطی بین تجارب حسی برقرار کنند.

- ابزارانگاری وقتی در فیزیک نضج گرفت که هم پوزیتیویسم منطقی در حال تکون بود و هم نظریه کوانتوم و این دو به رشد همدیگر کمک کردند. پوزیتیویسم منطقی موافق ابزارانگاری بود و نظریه کوانتوم هم به علت مشکلات تعبیری سراغ ابزارانگاری رفت و در واقع عامل مؤثر در جا انداختن این بینش بود. در دیدگاه‌ها ابزارانگاران هدف فیزیک دیگر توصیف خود طبیعت نیست، بلکه هدف این است که با استفاده از مشاهدات گذشته نتایج بعضی از آزمایش‌های بعدی را پیش‌بینی کنند.

در اینجا بجاست که به اقوال صریح بعضی از بزرگان مکتب کپنهاگی استشهاد کنیم:

نیلز بور:

«تنها هدف فرمالیزم نظریه کوانتوم این است که پیش‌بینی‌هایی برای مشاهداتی که تحت شرایط تجربی معین صورت می‌گیرد، بدست دهد.»

کمبل:

«حوزه کار فیزیک مطالعه یک جهان خارجی نیست بلکه مطالعه بخشی از جهان داخلی تجارب است و دلیلی وجود ندارد که ساختارهایی (نظیر تابع موج) که ما وارد می‌کنیم تناظری با واقعیت خارجی داشته باشد.»

روزنفلد:

«ببینید پیش‌بینی‌های مکانیک کوانتومی چقدر با تعبیر نتایج تجربی تطبیق می‌کند. آنها قابل تحقیق هستند و هر جزئی را که آزمایش برای ما ظاهر می‌کند در بر دارند، نه خیلی زیاد و نه خیلی کم. مردم بیش از این چه می‌خواهند؟»

ماکس بورن:

«وجود یک نظریه، که از لحاظ ریاضی سازگار باشد، تنها چیزی است که ما می‌خواهیم. آن نمایشگر تمامی موضوعاتی است که می‌توان دربارهٔ جهان تجربی گفت. ما به کمک آن می‌توانیم پدیده‌های مشاهده نشده را پیش‌بینی کنیم و این تمامی آن چیزی است که ما می‌خواهیم. این که منظور شما از یک جهان عینی چیست، ما نمی‌دانیم و [به آن] اهمیتی نمی‌دهیم.»

نظر **هایزنبرگ** این بود که 'واقعیت عینی' تبخیر شده است و مکانیک کوانتومی نمایشگر ذرات نیست بلکه نمایشگر دانش ما، مشاهدات ما و آگاهی ما از ذرات است.

به طور خلاصه، طرفداران مکتب کپنهاگی می‌گفتند که ما راهی نداریم جز آن که فرمالیزم ریاضی نظریه کوانتوم را یاد بگیریم و آن را بکار بندیم.

به قول پرس:

«اینکه واقعیتی وراء واقعیت بین الاذهان وجود داشته باشد یا نه، ممکن است یک مسأله جالب فلسفی باشد. اما موضوع نظریه کوانتوم نیست...نظریهٔ کوانتوم چیزی جز مجموعه‌ای از قواعد نیست که به کمک آنها فیزیکدانان احتمال نتایج آزمون‌های میکروسکوپی را محاسبه می‌کنند.»

این دید ابزارانگارانه، چنان که پوپر متذکر شده است، از تلفیق دو عامل بوجود آمد: یکی مشکل در تعبیر فرمالیزم نظریه کوانتوم و دیگری توفیق اعجاب‌آور این نظریه در توجیه بعضی از تجارب فیزیکی.

در عصر ما، **هاکینگ**، کیهان شناس معروف، پرچمدار ابزارانگاری شده است: «من... یک پوزیتیویست هستم که معتقد است نظریه‌های فیزیکی صرفاً ابزارهائی هستند که ما می‌سازیم، و این که بی‌معنی است بپرسیم آنها متناظر با واقعیت هستند [یا نه؟]، بلکه [باید بپرسیم] آیا مشاهدات را پیش‌بینی می‌کنند [یا نه؟].»

هاکینگ صحبت از رئالیسم وابسته به مدل می‌کند و معتقد است که برای توصیف جهان در وضعیت‌های مختلف باید نظریه‌های مختلف بکار ببریم و هیچکدام از این نظریه‌ها واقعی‌تر از دیگری نیست:

"ممکن است ما برای توصیف جهان مجبور باشیم نظریه‌های مختلف را برای وضعیت‌های متفاوت بکار ببریم. هر نظریه اسلوب خودش از واقعیت را بیان می‌کند، اما طبق رئالیسم وابسته به مدل، تنوع [نظریه‌ها] قابل پذیرش است، و هیچکدام از اسلوب‌ها واقعی‌تر از دیگری نیست. این اسلوب سنتی فیزیکدانان برای یک نظریه طبیعت نیست و متناظر با ایده روزمره ما از واقعیت نیست. اما ممکن است نحوه وجود جهان باشد."

- مخالفین مکتب کپنهاگی به رهبری اینشتین و شرودینگر و بعداً دوبروی نه طرد
رناليسم را پذیرفتند، نه طرد موجبیت را و نه ابزارانگاری و آخر خط بودن مکانیک
کوانتومی را، بلکه معتقد بودند که نظریه‌ها تنها ابزار محاسبه نیستند، بلکه اصالتاً برای
توصیف واقعیت فیزیکی بکار می‌روند. اینها به پیش‌بینی نتایج آزمایشها قانع نبودند، بلکه
می‌خواستند توضیحی برای آنچه واقعاً در طبیعت می‌گذرد بیابند. به قول اینشتین:

«من می‌خواهم بدانم خداوند چگونه این جهان را خلق کرده است. من به این پدیده یا
آن پدیده، یا طیف این عنصر یا آن عنصر علاقه‌مند نیستم. من می‌خواهم اندیشه‌های او را
بدانم. بقیه جزئیات است.»

و نیز:

«در پس کوشش‌های توقف‌ناپذیر محقق، محرک اسرارآمیزتر و قویتری وجود دارد. این
هستی و واقعیت است که او می‌خواهد آن را بفهمد.»

و باز به قول اینشتین:

«من به جهانی اعتقاد دارم که بطور عینی وجود دارد و من بر آنم که آنرا به نحوی بسیار
تفحصی بفهمیم.»

البته اینشتین معتقد بود که نظریه‌ها باید مورد آزمون قرار گیرند و لذا وسیلهٔ پیش‌بینی هم هستند. اما آنچه که او دنبال آن بود جهان واقعی بود و امید داشت که به توصیفی درست از آن دست یابد. اما بسیاری از فیزیکدانان امروزی فقط علاقمند به فرمالیسم و کاربرد آن هستند، و به چیزی بیش از این علاقه ندارند. آنها از بحث‌های فلسفی گریزانند.

شرودینگر هم منظور از فیزیک را فهم جهان طبیعت می‌داند:

«اگر صدبار هم کوشش ما به شکست انجامد نباید امید رسیدن به هدف را که شناخت ساختار واقعی فرایندهای زمانی و مکانی است از دست بدهیم، و البته من نمی‌گویم به وسیله تصاویر کلاسیک، بلکه به وسیله مفاهیم منطقاً سازگار. بسیار محتمل است که این امر امکان‌پذیر باشد.»

واینبرگ نیز همین را می‌گوید:

"ما فقط نمی‌خواهیم دنیا را آن طور که می‌یابیم توصیف کنیم، بلکه می‌خواهیم تا بالاترین حد ممکن توضیح دهیم که چرا آن باید این چنان باشد که هست."

و همینطور است **ویتن** (فیزیکدان برجسته آمریکایی):

«هدف از فیزیکدان بودن این نیست که بیاموزیم چگونه چیزها را محاسبه کنیم، بلکه هدف این است که اصولی را که بر طبق آن جهان کار می‌کند بشناسیم.»

پائولی، که در اواخر عمرش نگران روند عمومی پژوهش در فیزیک شده بود، متذکر شد که فیزیکدانان دارند تکنیسین‌هایی می‌شوند که فقط به مسائل خاصی علاقه دارند و به "کل" علاقه‌ای ندارند.

پائولی همچنین گفت:

«تمام فیزیکدانان قبول دارند که نظریهٔ کوانتوم فعلی، که برای توضیح سرشت اتمی الکتریسیته... و مقدار جرم 'ذرات بنیادی' کفایت نمی‌کند، می‌تواند فقط یک جنبهٔ کاربردی محدود داشته باشد.»

▪ این که برنامه فیزیک صرفاً ربط دادن تجارب انسانی باشد، مورد انتقاد بعضی از فلاسفه معاصر نیز قرار گرفته است. **پاتنم**، فیلسوف شهیر معاصر، می‌گوید:

«بعضی از دانشمندان در درجه اول به پیش‌بینی و کنترل تجارب علاقه‌مند هستند، اما اغلب دانشمندان به اشیائی نظیر ویروس و ستارگان رادیویی علاقه دارند، آن هم به خاطر خود آن اشیاء (نه پیش‌بینی)... [آنها] می‌خواهند بیشتر درباره اینها بیاموزند و رفتار و خواصشان را بهتر توضیح دهند.»

از نظر **پوپر**، امروز فیزیک در بحران است، و این ناشی از دو چیز است :
(الف) ورود ذهن گرائی (subjectivism) در فیزیک - اینکه تأثرات حسّی ما و مشاهدات ما واقعی تر هستند تا واقعیت فیزیکی.

(ب) حاکمیت این ایده که نظریه کوانتوم کامل است و به حقیقت نهائی رسیده است.
▪ امروزه تعدادی از فیزیکدانان بر آنند که بحث در باره مبانی، یک بحث فلسفی است و لذا آن را نادیده می‌گیرند و این بخاطر آن است که بحث‌های فلسفی مهم نیستند.

اما آنهایی که دنبال تغییر هستند دو راه را در پیش گرفته اند. یک گروه دنبال این هستند که فرمالیسم ریاضی را تغییر دهند و در صورت امکان آنرا تعمیم دهند. گروه دیگر دنبال فهم نظریه و مشکلات فیزیکی آن و یا دنبال یک نظریه جامع تر و قابل فهم تر هستند. دسته اخیر می گویند که اعتقاد به واقعیت خارجی و علاقه به کشف اسرار طبیعت بزرگترین انگیزه برای کسب علم است و صرف ربط دادن پدیده ها نمی تواند فعالیت عظیمی را که صرف کاوش های علمی می شود توجیه کند. چرا کسی در زمین می خواهد بداند در فلان سیاره چه می گذرد و یا چند ذره بنیادی داریم؟

به قول دسپانیا:

«اگر این فلسفه را که می گوید نباید دنبال علل زیربنایی نظم مشاهده شده بگردیم به طور سازگار دنبال کنیم، کل فعالیت علمی بی ارزش می شود و علم به نسخه هایی برای پیش بینی آینده، از روی مشاهدات گذشته، خلاصه می شود. [در این حالت] هرگونه تصویری از علم به عنوان مطالعه طبیعت غیر ممکن می شود، زیرا طبیعت یک توهم است.»

مادلین، فیلسوف آمریکائی معاصر، مطلب را خوب توضیح می‌دهد:

" فیزیک قطعاً از چیزهائی که سؤالات بنیادی فیزیک بحساب می‌آمد پرهیز کرده است. اما علت این امر به مبانی مکانیک کوانتومی بر می‌گردد. مسأله این است که مکانیک کوانتومی به عنوان یک ابزار ریاضی توسعه پیدا کرد. فیزیکدانان فهمیدند که چگونه آن را به عنوان یک ابزار برای پیش‌بینی‌ها بکار برند، بدون توافق یا فهم اینکه آن چه چیزی در باره جهان فیزیکی به ما می‌گوید... این چیزی است که اینشتین بخاطر آن نگران شد و این چیزی است که باعث نگرانی شرودینگر شد. مکانیک کوانتومی صرفاً یک ابزار محاسباتی بود که به عنوان یک نظریه فیزیکی خوب فهمیده نشده بود. بور و هایزنبرگ کوشیدند که استدلال کنند که درخواست برای یک نظریه فیزیکی واضح را شما دیگر نباید دنبال کنید... بور و هایزنبرگ اشتباه می‌کردند. اما اثر [کار آنها] این بود که برای نیم قرن طرح سؤالات کاملاً قانونی فیزیکی را در جامعه فیزیک تعطیل کرد. خوشبختانه ما اکنون در حال بیرون آمدن از آن [وضعیت] هستیم."

در پی این بیداری، توجه به مسائل بنیادی و لزوم تلاش در جهت حل آنها را در بعضی از فیزیکدانان برجسته می‌بینیم. مثلاً **لی اسمولین** در کتاب "مشکل با فیزیک..."، که در سال ۲۰۰۶ به چاپ رسید، ۵ مساله بنیادی زیر در فیزیک را مطرح می‌کند، که فیزیکدان‌ها باید بدانها بپردازند:

۱. **معضل گرانش کوانتومی**: اینکه نظریه کوانتوم نظریه نسبیت عام را وحدت بخشیم تا یک نظریه واحد بدست آوریم که کل طبیعت را توضیح دهد. در حال حاضر این دو نظریه مقیاس‌های متفاوتی از طبیعت را توضیح می‌دهند و کوشش برای حوزه انطباق آنها ناموفق بوده است.

۲. **معضلات بنیادی مکانیک کوانتومی**: چکار بکنیم که یا نظریه کوانتوم را بفهمیم و یا آنرا با نظریه‌ای جایگزین کنیم که قابل فهم باشد؟ در حال حاضر، فهم نظریه کوانتوم استاندارد مشکل است و مسائلی نظیر تفلیل تابع موج راه‌حلی که مورد قبول غالب بزرگان فیزیک واقع شود عرضه نشده است. به علاوه غالب فیزیکدانان نسبت به فهم آنچه که در سطح بنیادی رخ می‌دهد بی‌تفاوت شده‌اند.

۳. وحدت بخشی ذرات و نیروها: مشخص کنیم که آیا همه ذرات و میدان‌ها را می‌توان در یک نظریه جا داد که بتواند آنها را تجلیات یک هویت بنیادی واحد نشان دهد؟ نظریه استاندارد ذرات بنیادی سه تا از نیروهای طبیعت را، به صورت یک نظریه میدان، وحدت بخشیده است. برای وحدت این سه نیرو با گرانش، گرانش نیز باید به صورت یک میدان کوانتومی بیان شود. ولی این تلفیق راه حل مورد قبول اکثریت فیزیکدانان نیافته است. ضمناً چون مدل استاندارد ذرات شامل ۱۸ ذره بنیادی است، بسیاری از فیزیکدانان مایلند که راهی برای وحدت این ذرات بیابند (چنانکه مثلاً در نظریه ریسمان همه ذرات مدهای ارتعاشی ریسمان‌ها هستند).

۴. معضل تنظیم ثابت‌های مدل استاندارد ذرات بنیادی: توضیح دهیم که چگونه مقادیر ثابت‌های آزاد در مدل استاندارد ذرات بنیادی در طبیعت انتخاب شده‌اند؟ یک مدل نظری در فیزیک، یک ساختار ریاضی دارد که در آن پارامترهایی وارد می‌شوند. مدل استاندارد ذرات بنیادی شامل ۱۸ پارامتر است که به وسیله آزمایش تعیین می‌شوند. اما بعضی فیزیکدانان برآنند که اصول نظریه باید این پارامترها را تعیین کنند، و برای حل این موضوع به تعدد جهان‌ها معتقد شده‌اند و اینکه جهان ما یکی از آنها است و برای اینکه توضیح دهند چرا جهان ما این طور برای حیات تنظیم ظریف شده است به اصل آنتروپیک متوسل شده‌اند.

۵. معضل ناشناخته‌های کیهانشناسی: مشخص کردن ماهیت ماده تاریک و انرژی تاریک، و یا اینکه چگونه گرانش را در مقیاس‌های بزرگ اصلاح کنیم که آثار این دو را توضیح دهد. این نوع ماده و انرژی به وسیله آثار گرانشی‌شان کشف می‌شوند، ولی مستقیماً قابل مشاهده نیستند. لذا فیزیکدان‌ها هنوز در مقام فهم آنها هستند. بعضی دیگر هم دنبال اصلاح نظریه گرانش هستند. همچنین توضیح اینکه چرا ثابت‌های مدل استاندارد کیهانشناسی مقادیر فعلی را دارند، محل سؤال است.

بعضی دیگر از فیزیکدانان هم مسائلی از این قبیل را به عنوان معضلاتی که باید حل شوند مطرح کرده اند. به هر حال، حل این گونه مسائل یک تفکر بنیادی می‌طلبد که فیزیکدانان به صرف تطبیق بعضی محاسبات با آزمایش اکتفا نکنند و قابل فهم بودن مسائل را نیز مد نظر داشته باشند.

▪ در سال‌های اخیر تعدادی گروه فیزیک بنیادی در سراسر جهان تشکیل شده است، که روی مبانی نظریه کوانتوم و کیهان‌شناسی و واقعیت فیزیکی کار می‌کنند. در اینجا به عنوان نمونه چند تا از آنها را ذکر می‌کنیم:

(الف) گروهی متشکل از فیزیکدانان، ریاضی‌دانان و فلاسفه دانشگاه‌های راتگرز، کلمبیا، نیویورک، ییل و کالیفرنیا در سانتاکروز، برای تحقیق در فلسفه و مبانی فیزیک و کیهان‌شناسی تشکیل شده است که در سال‌های اخیر کنفرانس‌ها، سخنرانی‌ها، سمینارها، و مدارس تابستانی برگزار کرده‌اند.

(ب) گروهی از اساتید دانشکده فلسفه دانشگاه آکسفورد روی فلسفه و مبانی نظریه کوانتوم، به نحو وسیعی، کار می‌کنند، روی مسائلی نظیر تعبیر مکانیک کوانتومی، مساله اندازه‌گیری، ناموضعیّت، جدائی پذیری و...

(ج) COST Action یک شبکه اروپائی است که بین محققان اروپائی که روی مبانی مکانیک کوانتومی کار می‌کنند ارتباط برقرار کرده، آنها را تقویت می‌کند.

▪ همچنین در سال‌های اخیر تعداد زیادی کنفرانس در این باره برگزار شده است که نمونه‌هایی از آنها را در اینجا متذکر می‌شویم:

(۱) در ۲۰۱۰ دانشگاه آکسفورد کنفرانسی تحت عنوان «فیزیک کوانتومی و سرشت واقعیت» بر پا کرد. در این کنفرانس تعدادی سؤالات اساسی پاسخ داده نشده دربارهٔ مبانی فیزیک کوانتومی مطرح شد. در این کنفرانس فیزیکدانان تجربی، فیزیکدانان نظری و فلاسفه به تعداد مساوی شرکت کردند. از دید هر سه گروه، حوزهٔ مبانی فیزیک کوانتومی یک حوزهٔ شکوفا، زنده و پر مناقشه است. در این کنفرانس، نهایتاً، مسائل زیر بعنوان مسائل باز جمع‌بندی شد.

سؤالات آکسفورد

(اول) دربارهٔ زمان، برگشت‌ناپذیری، آنتروپی و اطلاعات، سؤالات زیر مطرح است :

(الف) آیا برگشت‌ناپذیری برای توصیف جهان کلاسیک ضروری است؟

(ب) چگونه برگشت‌ناپذیری در اندازه گیریهای کوانتومی دخالت دارد؟

(ج) با استفاده از ایدهٔ اطلاعات، چه چیزی دربارهٔ فیزیک کوانتومی می‌آموزیم؟

(دوم) رابطه کلاسیک - کوانتوم

(الف) آیا دنیای کلاسیک از دنیای کوانتوم نشأت می‌گیرد، و اگر چنین است چه مفاهیمی برای توصیف این بروز لازمند؟

(ب) چگونه ما می‌توانیم عبور از مشاهده به عمل آگاهانه را بفهمیم؟

(ج) چگونه یک تعبیر رئالیستی تک جهانی از نظریه کوانتوم می‌تواند با ناموضعیّت و نسبیت خاص سازگار باشد؟

(سوم) آزمایشها برای آزمودن مبانی فیزیک کوانتومی

(الف) چه آزمایش‌هایی می‌توانند برهم نهی‌های ماکروسکوپی را بیازمایند، از جمله نامساوی‌های لگت - گارگ (Leggett - Garg) را؟

(ب) چه آزمایش‌هایی برای سیستم‌های پیچیده بزرگ مفید هستند، از جمله سیستم‌های تکنولوژیک و بیولوژیک؟

(ج) چگونه می‌توان فروپاشی تدریجی تابع موج را به نحو آزمایشی زیر نظر گرفت؟

(چهارم) فیزیک کوانتومی از منظر نظری

(الف) چه بصیرت‌هایی از طریق رویکردهای مقوله‌ای-نظری، اطلاعاتی، هندسی و کاربردی در صورت‌بندی نظریه کوانتوم می‌توان بدست آورد؟

(ب) ارشادات مفید برای تجدید نظر در نظریه کوانتوم چه هستند؟

(ج) چگونه فیزیک کوانتومی با فضا-زمان و جرم-انرژی سازگار است؟

(پنجم) تعامل با سؤالات فلسفی

(الف) چگونه جهات مختلف ایده واقعیت در ارزیابی ما از تعبیر مختلف نظریه کوانتوم مؤثرند؟

(ب) چگونه برداشت‌های مختلف از احتمال، بر تعبیر نظریه کوانتوم اثر می‌گذارد؟
ضمناً معلوم شد که:

- بر تمامی این گروه‌ها رشد نظریه اطلاعات کوانتومی در ۲۰ سال گذشته اثرگذار بوده است.

- ناهمدوسی (decoherence) برای هر سه گروه در ۲۰ سال گذشته مطرح بوده است.

در این کنفرانس بعضی از فعالیتهای دهه‌های اخیر نیز مورد بحث قرار گرفت.

الف) در بعد نظری

پس از تکون نظریه کوانتوم، نظریه‌ها فهم ما از ساختار مفهومی و ریاضی را بیشتر کرده اند. از دهه ۱۹۶۰ به بعد تحولات زیر رخ داده است :

- کشف نامساوی‌های بل، قضیه کوشن-اسپکر و نامساوی لگت - گارگ.

- تحلیل‌های دقیق‌تر از کوانتیزاسیون، روابط عدم قطعیت و ...

- ارائه نظریه‌های بدیل در مقابل نظریه کوانتوم، مثل مدل تقلیل دینامیکی G.R.W. یا مدل تقلیل پن رز، که تفاوت آنها با نظریه رایج کوانتوم ممکن است در آینده ظاهر شود.

- رشد نظریه‌هایی مثل نظریه اطاعات کوانتومی، نظریه پیچیدگی و...

ب) در بعد تجربی

- نامساوی بل در تعدادی از آزمایش‌ها نقض شده است، که حاکی از درهم‌تنیدگی است، ولی این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که نظریه کوانتوم، آنطور که اینشتین در ۱۹۳۵ می‌گفت، ناکامل نیست. همین‌طور آزمایش‌ها سازگاری مکملیت بور با موضعیت اینشتینی را رد کرده اند.

- آزمایش‌های تداخل کوانتومی با مولکول‌های بزرگ انجام شده‌اند که متأخرترین آنها شامل ۴۳۰ اتم بود (سال ۲۰۱۱).

- نامساوی لگت-گارگ در آزمایش‌های فوتونی، نارسانائی و... تست شده‌اند.

- قضیه کوشن- اسپکر مورد آزمون قرار گرفته و نشان داده شده که هیچ نظریه غیر زمینه‌ای وجود ندارد. تله پورتاسیون کوانتومی در فاصله ۱۴۳ کیلومتری آزموده شده است (سال ۲۰۱۲).

ج (در بعد فلسفی

این بخش بیشتر بر پارادوکس‌های 'ناموضعیّت' و 'اندازه‌گیری' متمرکز بوده است.

دو ابر در افق نظریه کوانتوم

مشکل اول مسأله اندازه‌گیری کوانتومی است، که نمی‌توان آن را به نحو کامل بر حسب نظریه کوانتوم توضیح داد، یعنی ظهور جهان کلاسیک را. در اینجا سؤالات زیر مطرح است:

- آیا فروپاشی تابع موج یک فرآیند فیزیکی است؟

- آیا ایده‌های ناشی از نظریه اطلاعات می‌تواند بر ایده ما از واقعیت پرتو افکند؟

مشکل دوم، جستجو برای نظریه کوانتومی گرانش است. در حالیکه ما نظریه کوانتومی برای سه نیروی دیگر طبیعت ساخته‌ایم. ما یک نظریه موفق برای گرانش کوانتومی نداریم. یک دلیلش این است که داده‌های مربوط به گرانش کوانتومی مربوط به رژیم از انرژی است که برای ما قابل دسترسی نیست.

(۲) آکسفورد و کمبریج نیز در سال ۲۰۱۲ یک گروه مشترک فلسفه کیهانشناسی، متشکل از ده نفر از برجستگان این دو دانشگاه (از رشته‌های ریاضی، فیزیک، کامپیوتر و فلسفه) تاسیس کردند، که در آن افراد برجسته‌ای نظیر جان بارو، هاروی براون و باترفیلد حضور دارند.

نمونه‌هایی از مسائلی که این گروه روی آن پژوهش می‌کنند عبارتند از:

- معنا و متافیزیک احتمال در فیزیک بنیادی و کیهانشناسی چیست؟
- آیا جهان ما یگانه است یا چندگانه؟

- هندسه کل جهان چیست؟

- سرشت قوانین بنیادی و ثابت‌های بنیادی چیست؟

این گروه انگلیسی با گروه آمریکایی فوق‌الذکر همکاری دارند.

در نوامبر ۲۰۱۳، انجمن سلطنتی انگلیس کارگاهی تحت عنوان «مفاهیم هندسی جدید در مبانی فیزیک» در Chicheley Hall برپا داشت، که در آن ایده‌های مختلف درباره‌ی وارد کردن ایده‌های هندسی جدید در کارهای بنیادی فیزیک مطرح شد. مثلاً در یک نظریه گرانش کوانتومی مطرح شد که در آن ثابت پلانک تابع انرژی است.

همینطور **توفت** برنامه‌ای را ارائه داد، که در آن یک جهان کلاسیک موجبیتی واقعی زیربنای نظریه کوانتوم است.

در مقالات این کارگاه، تمایلی واضح به رفتن ورای نظریه کوانتوم استاندارد دیده می‌شد و اینکه بعضی ابزارهای ریاضی را که تا کنون در فیزیک بکار نرفته بکار برند(مثل Category Theory یا دینامیک غیرخطی).

بعضی از مسائل حل نشده فیزیک :

- انرژی تاریک چیست؟
- ماده تاریک چیست؟
- چرا پیکان زمان وجود دارد؟
- آیا جهان‌های موازی وجود دارند؟
- مسأله فروپاشی- تابع موج در مکانیک کوانتومی؟
- سرنوشت جهان‌ها چیست؟
- چرا ماده بیشتر داریم تا ضد ماده ؟
- آیا نظریه ریسمان درست است؟

در سال ۲۰۱۴ نیما ارکانی حامد یک سخنرانی، تحت عنوان "چرا انقلابی در فیزیک در راه است؟" در انستیتوی پریمتر کانادا داشت، که در آن متذکر شد:

- فیزیک نسبیت و کوانتوم خوب با هم همخوانی ندارند.

- عالمان به مسائل زیادی بر می‌خورند وقتی که می‌خواهند این دو نظریه را برای کل فضا و زمان بکار برند.

- نظریه کوانتوم در توصیف حوزه فیزیک درات موفق است، اما در مورد کل جهان ناموفق می‌باشد.

- مسائلی در مورد ابتدا و سرنوشت جهان مطرح است.

امروزه یک چهارچوب نظری داریم که این سؤالات را بکنیم. قدم بعدی یک انقلاب است.

(۲) در آوریل ۲۰۱۵ دانشگاه مریلند، که گروهی پژوهشی درمبانی فیزیک دارد، با همکاری چند دانشگاه و مؤسسه دیگر کنفرانسی تحت عنوان:

New Directions in the Foundations of Physics

برپا کرد، که در آن موضوعاتی نظیر مسأله اندازه‌گیری و هستی‌شناسی در فیزیک کوانتومی، رئالیسم موضعی، زمینه گرائی، گرانش کوانتومی و علیت بحث شد.

(۳) در اوائل بهار ۲۰۱۵ کارگاهی تحت عنوان:

Rethinking Foundations of Physics Workshop

در دانشکده ریاضی دانشگاه رِگنسبورک آلمان برگزار شد، که در آن دربارهٔ پارادایم‌های ریاضیاتی، مفهومی و تجربی زیر بنای فرمول‌بندی‌های جدید نظریه‌های کوانتوم، نسبیت عام و میدان‌های کوانتوم بحث شد و دربارهٔ اینکه چه اصول و ریاضیاتی برای مبانی جدید مورد نیازند پیشنهادهایی عرضه شد.

در مارس ۲۰۱۶ کارگاهی در اتریش برپا شد، که در آن مسائل زیر مطرح شدند:

- چه پارادیم‌های ریاضی، مفهومی و تجربی مبنای فرمول‌بندی‌های مکانیک کوانتومی، نسبیت عام و نظریه میدان‌های کوانتومی هستند؟

- آیا می‌توان آنها را کنار گذاشت یا تغییر داد؟ اگر پاسخ مثبت است چگونه؟

- چه تحولات ریاضی می‌توانند در مبانی آینده نقش داشته باشند؟

- آیا آینده نوید بخشی برای امکانات تجربی غیر استاندارد یا جدید بنظر می‌رسد؟

خوشبختانه در چند دهه پرداختن به مسائل بنیادی فیزیک تا حدی رونق گرفته است و بعضی از علمای درجه اول فیزیک یافتن پاسخ به سوالات مبنایی فیزیک را مورد توجه قرار داده‌اند و بعضی از مجلات مشهور فیزیک از قبیل:

Nature, Physical Review Letters, Physical Review A, Annals of physics, Physics Letters A, Journal of Physics A, Foundations of Physics, etc.

به چاپ مقالات در این زمینه مبادرت می‌کنند.

همچنین بعضی از دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی جهان بخش‌های فیزیک بنیادی براه انداخته‌اند.

مثلا دانشگاه آکسفورد یک دوره چهار ساله "فیزیک و فلسفه" و دانشگاه کلمبیا یک دوره کارشناسی ارشد در "مبانی فلسفی فیزیک" دایر نموده‌اند. همچنین دانشگاه‌های فیلیپس (ماربورگ آلمان)، جرج تاون، جان هاپکینز، مریلند (آمریکا)، باری (ایتالیا)، وین (اتریش)، اوترشت (هلند) و موسسه تاتا (هند) گروه مبانی فیزیک و رشته‌های مرتبط با آن را که هم اکنون به بیش از ده‌ها موسسه پژوهشی می‌رسد، تاسیس نموده‌اند.

تعدادی از سمینارهای اخیر:

- "پیکان زمان" (آکسفورد، آوریل ۲۰۱۲)
- نامساوی بل و توصیفات علیت مشترک در نظریه میدان‌های کوانتومی جبری (آکسفورد، نوامبر ۲۰۱۲)
- "آیا خدا توضیح‌دهنده است" (آکسفورد، ژانویه ۲۰۱۳)
- "ساختار در فیزیک" (دانشگاه راتگرز، آوریل ۲۰۱۳) درباره ملزومات متافیزیکی فیزیک (بحث درباره ملزومات متافیزیکی مکانیک کوانتومی، مکانیک آماری و کیهانشناسی).
- "کیهان‌شناسی و مبانی کوانتوم" (آکسفورد، ژوئن ۲۰۱۳)
- "تلاقی نسبیت و کوانتوم" (LSE، نوامبر ۲۰۱۳)
- "آثار گزینشی و تنظیم ظریف در کیهان‌شناسی" (آکسفورد، دسامبر ۲۰۱۳)

اکنون، چیزی که لازم است بازگشت به نگرش فیزیکی است که قبل از قرن بیستم حاکمیت داشت و بر فهم فیزیکی تاکید می‌کرد، زیرا این نگرش است که به فیزیک اجازه پیشرفت واقعی، وراء زیبایی ریاضیات، را می‌دهد. برای تحقق این هدف لازم است:

(۱) هم شهود فیزیکی بوسیله استدلال ریاضی کنترل شود و هم کار ریاضی با شهود و درک فیزیکی و حتی‌المقدور تأیید تجربی همراه باشد، زیرا در سراسر تاریخ فیزیک پیشرفت واقعی از تعامل بین بصیرت‌های ریاضی، شهود فیزیکی و آزمایش حاصل شده است. هم انیشتین و هم بسیاری دیگران از بزرگان علم، صرف توجیه حقایق تجربی، یا توصیف مشاهدات را کافی ندانسته‌اند، بلکه هدف علم را فهم جهان طبیعت تلقی کرده‌اند. درواقع باید بین امکان منطقی ریاضی و امکان تجربی یک نظریه فرق گذاشت. واضح است که امکان منطقی و ریاضی وسیع‌تر از امکان تجربی است. به قول **جرج الیس**: "معادلات ریاضی تنها بخشی از واقعیت را نشان می‌دهند و نباید با خود واقعیت خلط شوند."

(۲) در وضعیتی که فیزیک در سطوح بنیادی با مشکلات تعبیری و تایید تجربی روبرو است، اصرار بر نظریه‌ها یا مدل‌های ریاضی که مد شده‌اند و نادیده گرفتن سایر نظریه‌ها یا مدل‌ها عقلانی نیست. ریاضیات، هر چه هم که زیبا باشد، به تنهایی کفایت نمی‌کند، زیرا انسجام ریاضی شرط کافی برای این نیست که مسیر ما درست است. فیزیکدانان باید همچنان به خواندن کتاب پر محتوای طبیعت و فهم آن ادامه دهند.

به قول پرنرز:

«اما انسجام ریاضی و زیبایی ریاضیات یک نظریه فیزیکی، علیرغم ارزش غیرقابل تردید آنها، با کفایت [نظریه] فاصله دارد. ملاحظات فیزیکی معمولا اهمیت بیشتری دارند. اما در وضعیت‌هایی که هدایت تجربی موجود نیست، خصوصیات ریاضی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند... اما بدون قیود تجربه و مشاهده چنین انگیزه‌هایی غالبا نظریه را بسیار فراتر از آنچه به نحو فیزیکی قابل توجیه است، می‌برند.»

(۳) به قول پن رز خطا است که ریاضیات خلاق را با واقعیت فیزیکی اشتباه کنیم. برای رشد واقعی فیزیک لازم است هم به فهم فیزیکی توجه شود، هم به استدلال ریاضی و هم به تجربه، و نیز ضروری است که در زمان‌های تردید بین نظریه‌ها (به دلیل عدم کفایت تجارب موجود)، از تبعیت کورکورانه مد پرهیز شود و پژوهشگران جوان بین نظریه‌های رقیب به نحو مناسب توزیع شوند، تا در صورت تضعیف یک نظریه خاص، انرژی زیادی از جامعه فیزیک به هدر نرفته باشد. **الن کن**، ریاضی‌دان نامدار فرانسوی، در مصاحبه‌ای که با وی در تهران، در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی صورت گرفت، این را که فیزیکدانان همه تخم مرغ‌ها را در یک سبد بگذارند بی‌خطر نمی‌داند و به فیزیکدانان توصیه می‌کند:

«چیزی که برای پیشرفت فیزیک فوق‌العاده مهم است وجود افراد شجاعی است که از عقیده غالب پیروی نکنند. سنت‌شکنانی که مدل متفاوتی ابداع کنند.»