

نقش مهم فیزیک بنیادی در تحولات آینده علوم

دکتر مهدی گلشنی

استاد دانشگاه صنعتی شریف

مقدمه

منظور از فیزیک بنیادی، آن بخش از فیزیک تجربی و نظری است که با ساختار نهائی طبیعت سر و کار دارد. در فیزیک امروزی این عمدتاً به فیزیک ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی مربوط 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 توفیقات پدیدار شناختی، هنوز بعضی مسائل مفهومی مبهم یا بدون توضیح باقی مانده‌اند و هم برخی از نظریه‌های عمدهٔ رایج دچار بعض چالش‌های عمده هستند.

از یک طرف یافتن یک تئوری وحدت بخش، یا لااقل یک نظریهٔ گرانش کوانتومی، بسیار مشکل بوده است. از طرف دیگر، خود نظریه‌های میدان بعضی مشکلات ریاضی و مفهومی دارند که مانع دستیابی به یک فرمول‌بندی واضح مفهومی شده‌اند و نظریهٔ استاندارد کوانتوم مورد تردید بعضی از بزرگان فیزیک قرار گرفته است. نسبت عام نیز نقض خودش را در تکینگی‌ها پیش‌بینی می‌کند. همچنین بعضی از توسعه‌های مدل استاندارد، که در دو دهه گذشته مطرح بودند، توسط LHC تأیید نشده‌اند.

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 بنا بر این تفکر و تأمل در مبانی نظری فیزیک فعلی ضروری است. به قول

: Aerts

« دلایل زیادی هست که چرا ما باید بکوشیم و در جستجوی تعابیر جدید مکانیک کوانتومی باشیم، با این هدف که توضیحات بیابیم، از جمله برای سئوالاتی بنیادی نظیر " یک ذره کوانتومی چیست؟ " »

● تعداد تعابیر مکانیک کوانتومی در دهه‌های گذشته رو به افزایش بوده است و همگی دنبال آن بوده‌اند که این نظریه را بفهمند. بعضی از این تعابیر با مفروضات متافیزیکی شروع می‌کنند و بعضی با تحلیل خود مکانیک کوانتومی سنتی و تقارن‌ها و ناوردهایش. اما هیچکدام از اینها مقبولیت عام نیافته‌اند. به قول **واینبرگ**:

« ما می‌توانیم با این ایده بسر بریم که حالت یک سیستم فیزیکی به وسیله برداری در یک فضای هیلبرت توصیف می‌شود به عوض آنکه به وسیله مقادیر موضع و اندازه حرکت تمامی ذرات سیستم بیان شود، اما مشکل است که با هیچ توصیفی از حالت‌های فیزیکی و فقط با دستورالعملی برای محاسبه احتمالات بسر بریم. نتیجه‌گیری خود من (که به صورت جهانشمول پذیرفته نیست) این است که امروزه هیچ تعبیری از مکانیک کوانتومی نیست که مشکلات جدی نداشته باشد، و بنابراین باید امکان یافتن نظریه رضایت بخش‌تر دیگری را جدی بگیریم- نظریه‌ای که مکانیک کوانتومی صرفاً تقریبی خوب از آن باشد. »

غیر از واینبرگ بعضی دیگر از بزرگان فیزیک هم اخیراً عدم رضایت خود از مکانیک کوانتومی را بیان کرده اند. مثلاً **ویتن** می گوید:

« دلیل اینکه من با مکانیک کوانتومی سنتی (کپنهاگی) کاملاً قانع نیستم اینست که آن وقتی در مورد اسباب اندازه گیری و نهایتاً ناظر بکار می رود، سوالات حیرت انگیز مطرح می کند. اما همانطور که من متذکر شده ام ، فکر نمی کنم که با تعبیر متفاوتی از مکانیک کوانتومی کار بهتری بتوانیم بکنیم؛ اگر بتوانیم بکنیم در زمینه یک نظریه کاملتر خواهد بود.»

همینطور **کامران وفا** می گوید:

« من احساس می کنم که رازهای مکانیک کوانتومی به تبیین بهتری نیاز دارند. اما من شک دارم که با مطالعه خود مکانیک کوانتومی ما به فرمول بندی صحیح آن موفق شویم.»

و به قول گیراردی :

من به طور قاطع اعتقاد دارم که مکانیک کوانتومی فعلی متناقض و غیر قابل دفاع است.

لئونارد ساسکیند ، درحالیکه مکانیک کوانتومی را گیج کننده می یابد، می گوید:

«من احساس می کنم که معماهای مکانیک کوانتومی حل نخواهند شد مگر آنکه معماهای
گرانس هم زمان حل شوند.»

و به قول **آیشام**:

« وقتی که می کوشیم نظریه کوانتوم را برای کل جهان بکار بریم، مشکلات عمده ای بروز
می کنند. مساله آنقدر جدی است که بعضی از فیزیکدانان نظری بسیار مورد احترام برآند
که کل موضوع کیهانشناسی کوانتومی بد فهمیده شده است.

از این نتیجه می شود که نظریه های منشاء کوانتومی جهان بسیار حدسی هستند و اصلاً
وضعیت علمی مثلاً شاخه های غیر عادی فیزیک ذرات بنیادی مدرن را ندارند.»

● همچنین اگر چه نظریه ریسمان حاکی از آن است که ریسمان‌ها از نظر فیزیکی متفاوت با ذرات هستند، این دقیقاً نمی‌گوید که ریسمان‌ها از نظر فیزیکی چه هستند؟ یک ریسمان یک بعدی یک ایده‌آل‌سازی ریاضی است. احتمال یافتن این اشیاء در طبیعت بیشتر از یافتن ذرات نقطه‌ای نیست.

● تحقیق در مبانی فیزیک یک امر خطر پذیر است، چون برای بعضی این موضوع اصلاً وجود ندارد یا مطرح نیست، و یا نباید مطرح باشد. پس چرا آن را مطالعه کنیم؟ زیرا در فیزیک ما همواره دنبال یافتن مبادی هستیم که اشیاء از آنها نشأت می‌گیرند، یعنی دنبال یافتن نقطه شروع هستیم. 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. این مدل از سال ۱۹۷۳ در کار بوده است، و از آن مقطع به بعد پیشرفت نظری مهمی که مقبولیت عامه داشته باشد نداشته‌ایم.

● به نظر من یک دلیل عمدهٔ عدم تحول عمده در فیزیک ذرات و گرانش، 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 ابزار انگارانه بر آنها حاکم شده است. این خود معلول تحولاتی است که ابزار انگاری را بر ذهن غالب فیزیکدانان حاکم کرده است.

● ابزار انگاری رویکردی در فلسفهٔ علم است که هدف علم را فهم واقعیت خود طبیعت نمی‌داند، بلکه هدف علم را پیش‌بینی نتایج مشاهدات می‌داند. ابزار انگاران 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.

● 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 این گونه «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 استشهد کنیم. به قول نیلز بور:

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

و به قول 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.»

● دیدگاه ابزار انگارهنوز بر ذهن بعضی از فیزیکدانان بر جسته معاصر حاکم است. مثلاً **هاکینگ** می گوید:

« من ... یک پوزیتیویست هستم که معتقد است نظریه‌های فیزیکی صرفاً ابزارهایی هستند که ما می‌سازیم، و این که بی‌معنی است پرسیم آنها متناظر با واقعیت هستند [یا نه ؟]، بلکه [باید پرسیم] آیا مشاهدات را پیش بینی می‌کنند [یا نه ؟]. »

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

" ممکن است ما برای توصیف جهان مجبور باشیم نظریه‌های مختلف را برای وضعیت‌های متفاوت بکار بریم. 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 روز مره ما از واقعیت نیست. اما ممکن است نحوه وجود جهان باشد."

● مخالفین مکتب کپنهاگی به رهبری اینشتین و شرودینگر و بعداً دوبروی نه طرد رئالیسم 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 نیز :

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

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.

و نیز 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 ذهن‌گرایی (subjectivism) در فیزیک - اینکه تأثرات حسی 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 بارهٔ مبانی فیزیک یک بحث فلسفی است و لذا آن را نادیده می‌گیرند و این بخاطر آن است که از نظر آنها بحث‌های فلسفی مهم نیستند.

اما آنهایی که دنبال تغییر هستند دو راه را در پیش گرفته‌اند. **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 نظریهٔ جامع‌تر و قابل فهم‌تر هستند. دستهٔ اخیر می‌گویند که اعتقاد به واقعیت خارجی و علاقهٔ به کشف اسرار طبیعت بزرگترین انگیزه برای کسب علم است و صرف ربط دادن پدیده‌ها نمی‌تواند فعالیت عظیمی را که صرف کاوش‌های علمی می‌شود توجیه کند. چرا کسی در زمین می‌خواهد بداند در فلان سیاره چه می‌گذرد و یا چند ذره بنیادی داریم؟ به قول **دسپانیا** (فیزیکدان-فیلسوف فرانسوی):

«اگر این فلسفه را که می‌گوید نباید دنبال علل زیربنایی نظم مشاهده شده بگردیم به‌طور سازگار دنبال کنیم، کل فعالیت علمی بی‌ارزش می‌شود و علم به نسخه‌هایی برای پیش‌بینی آینده، از روی مشاهدات گذشته، خلاصه می‌شود. [در این حالت] هرگونه تصویری از علم به عنوان مطالعهٔ طبیعت غیر ممکن می‌شود، زیرا طبیعت یک توهم است.»

مادلین ، فیلسوف آمریکائی معاصر ،مطلب را خوب توضیح می دهد:

"فیزیک قطعاً از چیزهائی که سؤالات بنیادی فیزیک بحساب می‌آمد پرهیز کرده است. اما علت این امر به مبانی مکانیک کوانتومی بر می‌گردد. مساله این است که مکانیک کوانتومی به عنوان یک ابزار ریاضی توسعه پیدا کرد. فیزیکدانان فهمیدند که چگونه آن را به عنوان یک ابزار برای پیش بینی‌ها بکار برند، بدون 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 شما دیگر نباید درخواست برای یک نظریه فیزیکی واضح را 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 فیزیکدانان برجسته می‌بینیم. مثلاً **لی اسمولین** در کتاب "مشکل با فیزیک... " ، که در سال ۲۰۰۶ به چاپ رسید، پنج مساله بنیادی زیر، در فیزیک، را مطرح کرد که فیزیکدانان باید به آنها پردازند:

1. معضل گرانش کوانتومی: اینکه نظریه کوانتوم نظریه نسبیت عام را وحت 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.

2. معضلات بنیادی مکانیک کوانتومی: چکار بکنیم که یا نظریه کوانتوم را بفهمیم ویا آنرا با نظریه‌ای جایگزین کنیم که قابل فهم باشد؟ در حال حاضر، فهم نظریه کوانتوم استاندارد مشکل است و برای مسائلی نظیر تفلیل تابع موج راه حلی 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 بی تفاوت شده اند.

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 بر آنند 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 ناشناخته های کیهانشناسی:** مشخص کردن ماهیت ماده تاریک و انرژی تاریک، و یا اینکه چگونه گرانش را در مقیاس های بزرگ اصلاح کنیم که آثار این دو را توضیح دهد. این نوع ماده و انرژی به وسیله آثار گرانشی شان کشف می شوند، ولی مستقیماً قابل مشاهده نیستند. لذا فیزیکدان ها هنوز در مقام فهم آنها هستند. بعضی دیگر هم دنبال اصلاح نظریه گرانش هستند. همچنین توضیح اینکه چرا ثابت های مدل استاندارد کیهان شناسی مقادیر فعلی را دارند، محل سؤال است.

بعضی دیگر 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 می طلبد 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 کللیفرنیا 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 اندازه گیری، نا موضوعیت، جدائی پذیری و...

(ج) کاست اکشن (COST ACTION) یک شبکهٔ اروپائی است که بین محققان اروپائی، که روی مبانی مکانیک کوانتومی کار می‌کنند، ارتباط برقرار کرده، و 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.

سوالات آکسفورد

(اول) در بارهٔ زمان، برگشت ناپذیری، آنتروپی و اطلاعات، سوالات زیر مطرح است:

الف) آیا برگشت ناپذیری برای توصیف جهان کلاسیک ضروری است؟

ب) چگونه برگشت ناپذیری در اندازه‌گیری‌های کوانتومی دخالت دارد؟

ج) با استفاده از ایدهٔ اطلاعات، چه چیزی در بارهٔ فیزیک کوانتومی می‌آموزیم؟

(دوم) رابطهٔ 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 نظریهٔ 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 نامساوی های 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؟

(۵) 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 می گذارد؟
ضمناً معلوم شد که:

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

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

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

الف) در بعد نظری

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 نظریه‌هائی مثل نظریه اطاعات کوانتومی، نظریه پیچیدگی و...

ب) در بعد تجربی

- نامساوی بل در تعدادی از آزمایشها نقض شده است، که حاکی از درهم تنیدگی است، ولی این آزمایشها نشان می‌دهند که نظریه کوانتوم، آنطور که اینشتین در ۱۹۳۵ می‌گفت، ناقص نیست، اما توضیحی هم برای تاپیر گذاری فوق نوری ندارد.

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

ج (در بعد فلسفی

این بخش بیشتر بر پارادوکسهای ' ناموضعیّت ' و ' اندازه گیری ' متمرکز بوده است. - در دهه گذشته کارهائی روی تظریه کوانتومی بوهّم شده است. - کارهائی روی تعبیر اورت از نظریه کوانتوم شده است.

دو ابر در افق نظریه کوانتوم

اولین مشکل مسأله اندازه گیری کوانتومی است، که نمی توان 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 ایده های ناشی از نظریه اطلاعات می تواند 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 ساخته ایم. ما یک نظریه موفق برای گرانش کوانتومی نداریم. یک دلیلش این است که داده های مربوط به گرانش کوانتومی مربوط به رژیم از انرژی است که برای ما قابل دسترسی نیست.

(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 مساله اندازه گیری و هستی شناسی 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 رگنسبورک آلمان برگزار شد، که در آن باره پارادایم‌های ریاضیاتی، مفهومی و تجربی زیر بنای فرمولبندی‌های جدید نظری‌های کوانتوم، نسبت عام، و میدان‌های کوانتوم بحث شد، و در مورد اینکه چه اصول و ریاضیاتی برای مبانی جدید مورد نیازند پیشنهادهایی عرضه شد.

(۴) در مارس ۲۰۱۶ کارگاه در اتریش برپا شد، که در آن مسائل زیر مطرح شدند:

- چه پارادیم‌های ریاضی، مفهومی، و تجربی مبنای فورمول‌بندی‌های مکانیک کوانتومی، نسبت 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؟

(۵) در نوامبر ۲۰۱۳، انجمن سلطنتی انگلیس کارگاهی تحت عنوان « مفاهیم هندسی جدید در مبانی فیزیک » در Chicheley Hall برپا شد، که در آن ایده‌های مختلف درباره وارد کردن ایده‌های هندسی جدید در کارهای بنیادی فیزیک مطرح شد. مثلاً در یک نظریه گرانش کوانتومی مطرح شد که 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 تاکنون در فیزیک بکار نرفته بکار برند (مثل Category Theory یا دینامیک غیر خطی).

بعضی از مسائل حل نشده یا مطرح فیزیک :

- انرژی تاریک چیست؟
- ماده تاریک چیست؟
- چرا پیکان زمان وجود دارد؟
- چرا آنتروپی در گذشته اینقدر پایین بود؟
- آیا جهانهای موازی وجود دارند؟
- سرنوشت جهان های موازی چیست؟
- مسأله فروپاشی - تابع موج در مکانیک کوانتومی؟
- چرا ماده بیشتر داریم تا ضد ماده ؟
- آیا نظریه ریسمان درست است؟
- آیا هوا واقعاً قابل پیش بینی نیست یا پیش بینی آن مشکل است ؟
- یک مفهوم فیزیکی همواره ابعاد فیزیکی، ریاضی و فلسفی دارد.

- حتی اگر کشفیات جدیدی داشته باشیم، ما چگونه یک ابرساختار می‌سازیم که بگوید چرا ما مفاهیم فضا و زمان را داریم؟ چگونه یک نظریهٔ ۱۰ بعدی توضیح می‌دهد که چرا ما ابعاد را داریم؟ و در یک سطح بنیادی‌تر چگونه ترکیب فضا و زمان در نسبت خاص و عام توضیح می‌دهد که چرا فضا و زمان خواص متفاوت دارند؟

-اگر بخواهیم نسبت عام و کوانتوم را وحدت بخشیم، باید مبناهائی را که اینها روی آنها ساخته شده اند بیابیم.

-باید آن اصول بنیادی دانش را یافت که به ما کمک می‌کند اصول بنیادی فیزیک را انتخاب کنیم.

- ما از قرن‌ها تجربه می‌آموزیم که ساختارهای ریاضی در قلب فیزیک قرار دارند. اما ریاضیات صرفاً یک ابزار در فیزیک نیست، بلکه آن در عمق ساختارهای قرار دارد که فیزیک برای مبانی‌اش به آنها نیازمند است.

- چرا فضائی که ما مشاهده می‌کنیم سه بعدی است؟

- چرا زمان به عقب بر نمی‌گردد؟