

برنام‌حرف‌راوندجان‌و

مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی



برنار دسپانیا

ترجمه (همراه با توضیح و افزوده):
دکتر سید مجید صابری فتحی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه:	اسپانیا، برنار د، ۱۹۲۱-۲۰۱۵م.
عنوان و نام پدیدآور:	مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی/ برنار دسپانیا [برنار د اسپانیا]؛ ترجمه (همراه با توضیح و افزوده) سیدمجید صابری فتحی؛ ویراستار علمی کورش جاویدان؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری:	۴۰۴ ص، مصور
فروست:	انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۷۸۹.
شابک:	ISBN: 978-964-386-482-8
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا.
یادداشت:	بخش اعظم کتاب حاضر ترجمه کتاب "Conceptual foundations of quantum mechanics, 2nd. ed, c1999. تالیف برنار د اسپانیا است.
یادداشت:	کتابنامه: ص. [۳۹۷] - ۴۰۰؛ نمایه.
موضوع:	کوانتوم
موضوع:	اندازه گیری های فیزیکی
موضوع:	فیزیک -- فلسفه
شناسه افزوده:	صابری فتحی، سید مجید، ۱۳۴۸ - مترجم.
شناسه افزوده:	جاویدان، کورش، ۱۳۴۴ - ویراستار.
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
رده بندی کنگره:	QC۱۷۴/۱۲
رده بندی دیویی:	۵۳۰/۱۲
شماره کتابشناسی ملی:	۷۶۱۶۸۱۸

مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی

پدیدآورنده:	برنار دسپانیا
ترجمه:	دکتر سید مجید صابری فتحی
(با توضیح و افزوده)	
ویراستار علمی:	دکتر کورش جاویدان
ویراستار ادبی:	هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات:	وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ دوم، پاییز ۱۴۰۴ (اول، ۱۴۰۰)
چاپ و صحافی:	همیار
بها:	۴/۶۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.	



مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسسه کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن بست گشتاسب، پلاک ۸
تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir

فهرست مطالب

۹.....	مقدمه مترجم
۱۵.....	مقدمه چاپ مجدد ویراست دوم.....
۱۹.....	مقدمه ویراست دوم.....
۴۳.....	مقدمه

بخش اول: عناصر مکانیک کوانتومی

(۴۵ - ۱۱۰)

۴۹.....	فصل ۱ آغاز.....
۴۹.....	۱-۱ تابش جسم سیاه*
۵۲.....	۲-۱ پدیده فوتوالکتریک*
۵۴.....	۳-۱ اثر کامپتون*
۵۵.....	۴-۱ ساختار اتم*
۵۹.....	۵-۱ معادله شرودینگر.....
۶۱.....	۶-۱ سرعت فاز و سرعت گروه.....
۶۳.....	فصل ۲ موج و ذره.....
۶۳.....	۱-۲ خصوصیات موج و ذره*
۶۹.....	۲-۲ تحوّل زمانی.....
۷۰.....	۳-۲ اصل تطابق.....
۷۱.....	۴-۲ نیاز به یک فرمالیزم کلی برای مکانیک کوانتومی.....
۷۳.....	فصل ۳ قواعد مکانیک کوانتومی.....
۷۳.....	۱-۳ سیستم و آنسامبل.....
۷۵.....	۲-۳ قواعد مکانیک کوانتومی.....
۸۵.....	۱-۲-۳ اندازه گیری اصولی*
۸۷.....	فصل ۴ تفسیرها.....
۸۷.....	۱-۴ در توصیف آنسامبل ها توسط کت ها.....

۸۸.....	۲-۴	فرض Q
۹۰.....	۱-۲-۴	قضیهٔ ون نیومن*
۹۱.....	۳-۴	نا تعین گرایی
۹۲.....	۱-۳-۴	تفاوت آمار کلاسیکی با آمار کوانتومی
۹۶.....	۴-۴	ملاحظات دیگر
۹۶.....	۱-۴-۴	فرمول بندی نسیتی
۹۷.....	۲-۴-۴	تشخیص ناپذیری
۹۷.....	۳-۴-۴	کوانتس دوم

۱۰۱.....	فصل ۵ فرمالیزم جایگزین	
۱۰۱.....	۱-۵	قاعدهٔ مقدار میانگین
۱۰۲.....	۱-۱-۵	تابع مشخصه در نظریهٔ احتمالات کلاسیک
۱۰۵.....	۲-۱-۵	تابع مشخصه در کوانتوم
۱۰۷.....	۲-۵	تصویر هایزنبرگ برای تحوّل زمانی

بخش دوم: ماتریس چگال و آمیختگی

(۱۱۱ - ۱۶۰)

۱۱۳.....	فصل ۶ فرمالیزم ماتریس چگالی	
۱۱۳.....	۱-۶	ماتریس چگالی
۱۱۴.....	۲-۶	برخی خواص ریاضی ماتریس چگالی
۱۱۶.....	۳-۶	حالت ناب و حالت آمیخته
۱۱۶.....	۱-۳-۶	حالت ناب
۱۱۷.....	۲-۳-۶	حالت آمیخته
۱۲۰.....	۴-۶	وابستگی زمانی ماتریس چگالی
۱۲۰.....	۵-۶	فرمالیزم جایگزین برای قواعد مکانیک کوانتومی
۱۲۲.....	۶-۶	آمیختگی تعریف شده به وسیلهٔ یک و چند ماتریس چگالی یکسان
۱۲۵.....	۷-۶	گزاره‌ای برای هم بستگی
۱۳۰.....	۱-۷-۶	هم بستگی به زبان ساده*

۱۳۳.....	فصل ۷ آمیختگی	
۱۳۳.....	۱-۷	عملگرها و مشاهده پذیرها
۱۳۴.....	۱-۱-۷	قواعد ابرانتخاب*
۱۳۷.....	۲-۱-۷	ماتریس چگالی قابل اندازه گیری

۱۳۷.....	آمیختگی سره و ناسرم.....	۲-۷
۱۴۲.....	همگنی آنسامبل.....	۳-۷
۱۴۵.....	قضیه گل فان، نیامارک و سگال*.....	۴-۷
۱۴۵.....	جبر *C.....	۱-۴-۷
۱۴۶.....	حالت*.....	۲-۴-۷
۱۴۷.....	نمایش و نمایش کاهش ناپذیر*.....	۳-۴-۷
۱۵۰.....	مشاهده پذیر دارای مقداری روی سیستم است.....	۵-۷
۱۵۴.....	آنسامبل های کوانتومی و متغیرهای مکمل.....	۶-۷
۱۵۶.....	کمیت های مکمل در فیزیک کلاسیک*.....	۱-۶-۷
۱۵۷.....	آماده سازی و آزمون*.....	۷-۷
۱۵۹.....	تمرین های بخش دوم.....	

بخش سوم: جداناپذیری کوانتومی (۱۶۱ - ۲۶۲)

۱۶۳.....	فصل ۸ مسئله اینشتین، پودولسکی و روزن (EPR).....	
۱۶۳.....	مسئله *EPR.....	۱-۸
۱۶۵.....	جنبه رسمی جداناپذیری حالت های کوانتومی.....	۲-۸
۱۶۹.....	جنبه مفهومی جداناپذیری حالت های کوانتومی.....	۳-۸
۱۶۹.....	۱-۳-۸ اصل واقعیت.....	
۱۷۱.....	۲-۳-۸ اصل جداناپذیری، سیستم های منزوی.....	
۱۷۲.....	۳-۳-۸ ا. مثال از فیزیک کلاسیک.....	
۱۷۴.....	۴-۳-۸ ب. مثال از فیزیک کوانتومی.....	
۱۷۸.....	۵-۳-۸ ج. مثال در مورد کائون.....	
۱۸۰.....	۴-۸ جنبه نسبی جداناپذیری حالت های کوانتومی.....	
۱۸۷.....	فصل ۹ نگاه های مختلف به مسئله جداناپذیری.....	
۱۸۷.....	۱-۹ عینی بودن یا عینی نبودن بردار حالت.....	
۱۸۸.....	۲-۹ نسخه واقع گرا از عینی بودن بردار حالت.....	
۱۸۹.....	۳-۹ نسخه بوهر از عینی نبودن بردار حالت.....	
۱۹۱.....	۴-۹ تبدیلات لورنتس و ناموضعییت.....	
۱۹۳.....	فصل ۱۰ سیستم های منفرد، آنسامبل و حالت.....	
۱۹۳.....	۱-۱۰ مکانیک کوانتومی سیستم های منفرد.....	

۱۹۴.....	قضیهٔ فینکلشتاین و هارتل.....	۲-۱۰
۱۹۸.....	حالت‌های کوانتومی.....	۳-۱۰
۲۰۱.....	فصل ۱۱ رهیافت متغیرهای پنهان.....	
۲۰۱.....	مسئلهٔ وجود.....	۱-۱۱
۲۰۴.....	متغیرهای پنهان و مسئلهٔ جداپذیری.....	۲-۱۱
۲۰۷.....	جداناپذیری در نظریات متغیرهای پنهان.....	۳-۱۱
۲۱۲.....	اثباتی دیگر.....	۴-۱۱
۲۱۴.....	جست‌وجوی تناقضات ممکن مکانیک کوانتومی.....	۵-۱۱
۲۱۵.....	بحث و توضیح بیشتر.....	۶-۱۱
۲۱۹.....	فصل ۱۲ مطالعهٔ مستقیم چند اصل.....	
۲۱۹.....	برخی جنبه‌های حساب گزاره‌ها.....	۱-۱۲
۲۲۹.....	مجموعهٔ فرض‌های «طبیعی» متمرکز بر جداناپذیری.....	۲-۱۲
۲۳۳.....	نتایج (پیامدها).....	۳-۱۲
۲۳۵.....	نامساوی‌ها.....	۴-۱۲
۲۴۴.....	بحث تجربی.....	۵-۱۲
۲۴۶.....	بحث نظری.....	۶-۱۲
۲۴۹.....	متغیرهای پنهان و حساب گزاره‌ها ^۳	۷-۱۲
۲۵۱.....	نتیجه.....	۸-۱۲
۲۵۳.....	فصل ۱۳ جنبه‌های مسئلهٔ پس‌بینی.....	
۲۵۳.....	«تحوّل زمانی مستقل» و پس‌بینی.....	۱-۱۳
۲۵۷.....	مسائل مرتبط.....	۲-۱۳
۲۶۱.....	تمرین‌های بخش سوم.....	

بخش چهارم: نظریه‌های اندازه‌گیری

(۲۶۳ - ۳۳۲)

۲۶۵.....	فصل ۱۴ اندازه‌گیری.....	
۲۶۵.....	ملاحظات ابتدایی.....	۱-۱۴
۲۶۸.....	مطالعهٔ نظریهٔ اندازه‌گیری ایدنال.....	۲-۱۴
۲۷۲.....	یک مثال صریح.....	۳-۱۴
۲۷۳.....	اندازه‌گیری و فرمالیزم ماتریس چگالی.....	۴-۱۴
۲۷۵.....	استدلالی غلط.....	۵-۱۴

۲۷۷.....	فصل ۱۵ خصوصیات کلاسیک	
۲۷۷.....	۱-۱۵ اندازه‌گیری کلاسیکی	
۲۷۸.....	۱-۱-۱۵ نظریه اندازه‌گیری کلاسیکی	
۲۸۲.....	۲-۱۵ پیشنهادی برای مشاهده‌پذیرها کلاسیکی	
۲۸۵.....	۳-۱۵ قلمروی و نقد نظریه	
۲۹۱.....	فصل ۱۶ ابزارهای ماکروسکوپی	
۲۹۱.....	۱-۱۶ برگشت‌ناپذیری: رهیافت دوگانه	
۲۹۳.....	۲-۱۶ رهیافت یک‌اصولی: حذف فاز آماری	
۲۹۶.....	۳-۱۶ ملاحظات پیچیده‌تر	
۲۹۹.....	فصل ۱۷ گره‌ها و عقربه‌ها	
۲۹۹.....	۱-۱۷ کاربردی از فرمالیزم مرسوم	
۳۰۲.....	۲-۱۷ دو تعمیم	
۳۰۹.....	فصل ۱۸ اندازه‌گیری نایدنال: تأثیرات کوچک جهان خارج	
۳۰۹.....	۱-۱۸ مقدمات	
۳۱۱.....	۲-۱۸ عمومیت اندازه‌گیری‌های نایدنال	
۳۱۳.....	۳-۱۸ اندازه‌گیری نایدنال با حالت اولیه آمیخته	
۳۱۷.....	۴-۱۸ یک تعمیم	
۳۱۹.....	۵-۱۸ مدل گرین برای اندازه‌گیری	
۳۲۱.....	۶-۱۸ تعمیم‌ها	
۳۲۶.....	۷-۱۸ نتیجه	
۳۲۹.....	تمرین‌های بخش چهارم	

بخش پنجم: دانش و جهان فیزیکی

(۳۳۳ - ۳۸۰)

۳۳۵.....	فصل ۱۹ واقعیت و اشیا	
۳۳۵.....	۱-۱۹ واقع‌گرایی	
۳۳۷.....	۲-۱۹ عینی‌گرایی خرد	
۳۳۹.....	۳-۱۹ عینی‌گرایی کلان	
۳۳۹.....	۴-۱۹ عینی‌گرایی کلان و هم‌پستگی‌های دوربرد	
۳۴۱.....	۵-۱۹ نسخه‌های دیگر واقع‌گرایی علمی	

۳۴۳.....	فصل ۲۰ پوزیتیویسم.....	۳۴۳.....
۳۴۳.....	۱-۲۰ ساختارها، عینیت ضعیف و قوی.....	۳۴۳.....
۳۴۵.....	۲-۲۰ دیدگاه پوزیتیویستی.....	۳۴۵.....
۳۴۷.....	۳-۲۰ ایرادهای پوزیتیویسم به عنوان فلسفه.....	۳۴۷.....

۳۵۳.....	فصل ۲۱ بوهر و هایزنبرگ.....	۳۵۳.....
۳۵۳.....	۱-۲۱ خلاصه برهان بوهر.....	۳۵۳.....
۳۵۵.....	۲-۲۱ بحث.....	۳۵۵.....
۳۵۸.....	۳-۲۱ برخی از جنبه‌های فلسفه هایزنبرگ.....	۳۵۸.....
۳۶۱.....	۴-۲۱ نتیجه.....	۳۶۱.....

۳۶۳.....	فصل ۲۲ دوست و یگنر.....	۳۶۳.....
----------	-------------------------	----------

۳۶۹.....	فصل ۲۳ تعبیر چندجهانی.....	۳۶۹.....
۳۷۵.....	۱-۲۳ بحث.....	۳۷۵.....
۳۷۷.....	۱-۱-۲۳ پاسخ «ا».....	۳۷۷.....
۳۷۸.....	۲-۱-۲۳ پاسخ «ب».....	۳۷۸.....

بخش ششم: خلاصه و نگاه کلی
(۳۸۱ - ۳۹۶)

۳۸۳.....	فصل ۲۴ خلاصه.....	۳۸۳.....
----------	-------------------	----------

۳۸۷.....	فصل ۲۵ نگاه کلی.....	۳۸۷.....
----------	----------------------	----------

۳۹۷.....	منابع.....	۳۹۷.....
۴۰۱.....	نمایه.....	۴۰۱.....

مقدمه مترجم*

فهم مکانیک کوانتومی و انقلاب‌هایی که در علم انجام داد موضوعی است که موردعلاقهٔ بشر امروزی و به‌خصوص متخصصان سایر علوم غیر از فیزیک است. مسلماً یکی از وظایف فیزیک‌دانان، پاسخ دادن به این نیاز است. البته در این زمینه کتب زیادی به‌خصوص به زبان انگلیسی نوشته شده‌اند که خوانندهٔ فارسی‌زبان با محدودیت در استفاده از آن‌ها مواجه است. یکی از راه‌هایی که می‌توان این نیاز را برطرف کرد، تألیف یا ترجمهٔ کتبی به زبان فارسی در این موضوع است. با توجه به اینکه تاکنون در گروه‌های فیزیک توجه زیادی به فلسفهٔ فیزیک نشده و این امر تا حدّ زیادی مغفول مانده است، همچنین به دلیل عدم آشنایی برخی مترجم‌ها با فلسفه یا فیزیک، مفاهیم فلسفی مکانیک کوانتومی به‌درستی به خواننده منتقل نمی‌شوند. راقم این سطور، از حدود یک دههٔ پیش طرحی را برای معرفی مفاهیم بنیادی و فلسفی نظریهٔ کوانتومی در سه سطح مخاطب عام، متخصصان فیزیک و متخصصان سایر رشته‌ها (در قالب مباحث میان رشته‌ای) آغاز کرده است. در این مدت مطالعات و پژوهش‌های زیادی انجام داده است که حاصل آن‌ها در زمینهٔ نشر کتاب به شرح زیر است:

- در مورد مخاطب خاص فیزیک، کتاب حاضر، مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی، ارائه شده است. در این کتاب با استفاده از فرمالیزم‌های گوناگون مکانیک کوانتومی قواعد فلسفی آن استخراج می‌شود. - در ارتباط با موضوعات میان‌رشته‌ای نیز، کتاب علیت و فیزیک کتابی در زمینهٔ اصل علیت در فیزیک و فلسفهٔ اسلامی که توسط انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد به چاپ رسیده است. - در مورد مخاطب عام، ترجمهٔ کتاب راز جهان کوانتومی انجام شد که به متن آن حدود ۹۰ مدخل توسط مترجمان در توضیح مفاهیم فیزیکی و فلسفی اضافه شد. این کتاب توسط انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد به چاپ رسیده است.

در پاسخ به این پرسش که «مکانیک کوانتومی چیست؟»، باید بیان فاینمن^۱ را ذکر کرد که مکانیک کوانتومی نظریه‌ای است که رفتار ذرات (اتم‌ها) و امواج (فوتون‌ها) را توضیح می‌دهد که جهان از آن‌ها تشکیل شده است. در واقع، مکانیک کوانتومی دارای سه جنبهٔ گوناگون است: پیش‌بینی‌ها، فرمالیزم‌ها و تعبیر آن. خوانندهٔ آشنا با مکانیک کوانتومی می‌داند که مکانیک کوانتومی دارای یک فرمالیزم منحصربه‌فرد همچون فرمالیزم مکانیک موجی، فرمالیزم ماتریس چگالی و غیره نیست. همچنین در مورد تعبیر مکانیک کوانتومی، تاکنون حدود ۱۴ تعبیر با رهیافت‌های بسیار متفاوت، مانند تعبیرهای بوهر، چندجهانی، متغیرهای پنهان و غیره ارائه شده است. پیش‌بینی‌های مکانیک کوانتومی بدون ابهام هستند و با تجربهٔ توافق دارند؛ اما فرمالیزم و تعبیر آن متغیر و مناقشه‌آمیز هستند.

امروزه در مورد مکانیک کوانتومی کتب زیادی ترجمه یا نوشته شده‌اند. این کتب معمولاً مکانیک کوانتومی استاندارد، درسی یا در مواردی محدود، فرمالیزم ماتریس چگالی مورد استفاده در گرایش اطلاعات کوانتومی را بیان می‌کنند که هدف آن‌ها بیان مکانیک کوانتومی و کاربردهای آن است و به

1. Richard P. Feynman

چالش‌های مفهومی آن اشاره‌ای ندارند. البته کتاب‌های زیادی به زبان‌های دیگر غیر از فارسی در این زمینه موجود است. بنابراین، یکی از نیازهای جامعه فیزیک کتابی است که مفاهیم بنیادی و مبانی نظری مکانیک کوانتومی را همراه با فرمالیزم‌های آن توضیح دهد.

از جمله کتب بارز و معروف در دنیا که مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی را به طور عمیق، همراه با نقد و با طعم فلسفی بررسی می‌کند، می‌توان از کتاب *مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی*^۱ نوشته برنارد دسپانیا، فیزیک‌دان فیلسوف شهیر فرانسوی، نام برد که توسط راقم این سطور چندین مرتبه در دانشگاه فردوسی مشهد برای دانشجویان دوره کارشناسی ارشد گرایش‌های اطلاعات کوانتومی و فیزیک ذرات بنیادی تدریس شده است. با توجه به اینکه در زمینه مبانی مفهومی مکانیک کوانتومی نسبت به شاخه‌های دیگر فیزیک بسیار کم کار شده است و بالطبع، دانشجویان هم آگاهی کمتری نسبت به این موضوع دارند و همچنین با توجه به تجربه تدریس این جانب، ترجمه کتاب دسپانیا را برآورده‌کننده نیاز دانشجویان و علاقه‌مندان به این موضوع ندانستیم؛ چراکه بسیاری از نکاتی که دسپانیا مفروض داشته است برای خواننده آشنا نیست. با در نظر گرفتن نیاز مخاطب و ارزش کتاب دسپانیا، طرح این کتاب به صورت ترجمه و تألیف است و تفکیک بین این دو بخش توسط تغییر قلم متن انجام شده است. لازم به ذکر است که فصل‌های کتاب منطبق بر کتاب دسپانیاست، اما بخش‌ها با توجه به افزوده‌های تألیفی ممکن است جابه‌جا شده باشند.

جامعه هدف کتاب *مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی* عموم علاقه‌مندان به مفاهیم و چالش‌های نظریه کوانتوم هستند که با این نظریه در حد مکانیک کوانتومی ۱ دوره کارشناسی فیزیک آشنا هستند. همچنین از آن می‌توان به عنوان یک کتاب درسی برای دروس «مبانی نظری مکانیک کوانتومی» یا «فلسفه مکانیک کوانتومی» در دوره تحصیلات تکمیلی هم استفاده کرد. در نگارش این کتاب سعی شده است که امکان مطالعه و یادگیری متن به صورت خودخوان و همچنین بدون نیاز به استاد وجود داشته باشد تا بدین طریق امکان ترویج فلسفه کوانتوم در جامعه فیزیک تسهیل شود.

در مورد متن

با توجه به محدودیت‌های زبانی و غامض بودن متن‌های «علمی فلسفی»؛ در این کتاب، اصل زیر همواره در نظر گرفته شده است: انتقال مفهوم به ساده‌ترین وجه ممکن به خواننده. از این رو، در ترجمه، تألیف، معادل‌یابی و واژه‌گزینی وسواس و دقت خاصی وجود داشته است که شاید ذکر برخی از آن‌ها به تنویر افکار خواننده کمک کند. هر چند نمونه‌ها زیاد هستند و ذکر همه آن‌ها ضروری نیست، اما ذکر پاره‌ای از آن‌ها برای نشان دادن تعمد نگارنده در استفاده از واژه‌ها در ترجمه و تألیف این کتاب کفایت می‌کند. هر چند باید اذعان کرد که با وجود ویرایش‌ها و بازخوانی‌های مکرر، ممکن است در متن اشتباهاتی باقی مانده باشد که تذکر آن‌ها توسط خوانندگان و همکاران محترم موجب سپاس خواهد بود.

واژه‌گزینی: در واژه‌گزینی سعی شده است انتخاب واژه‌ها به گونه‌ای باشد که به دور از ایجاد ابهام و

1. Bernard d'Espagnat, *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2nd Ed., Perseus Books Publishing, Reading, Massachusetts, 1999.

نگرانی در خواننده، خوانش متن را برای او راحت نماید. از این رو، سعی شده است برای هر واژه کتاب یک مفهوم خاص در نظر گرفته شود. برای مثال، واژه «سیستم» در سیستم فیزیکی استفاده شده است و معادل‌های آن مانند سامانه، نظام، دستگاه و غیره به کار برده نشده است؛ زیرا واژه‌هایی مانند سامانه و نظام برای علوم دیگر مانند علوم اجتماعی، مدیریت یا نظامی مناسب هستند و برای مقصود مورد نظر ما در فیزیک مناسب نیستند. اما واژه «دستگاه» نیز در فیزیک بیشتر برای «دستگاه مختصات» یا «وسیله و ابزار» استفاده می‌شود. در این کتاب، در مثال مذکور واژه «سیستم» برای مفهوم فیزیکی حفظ و تعریف شده است (برای تعریف به بخش ۳-۱ رجوع کنید) و واژه «دستگاه» در مفهوم دستگاه مختصات و واژه «ابزار» برای وسیله آزمایش یا تجربه به کار برده شده است. از این رو، تفکیک واژه‌ها برای جلوگیری از سردرگمی خواننده انجام شده است.

مثال دیگر واژه «fact» (فکت) است که معمولاً برای آن در برخی از متون فارسی از واژه «واقعیت» استفاده می‌شود که به معنای «واقعیتی است که از نظر تجربی و حسی نمی‌توان آن را انکار کرد، مانند اینکه گفته شود «آتش می‌سوزاند»؛ برای اثبات آن کافی است که انگشت را در مقابل شعله آتش بگیرد». از طرف دیگر، در زبان فارسی «واقعیت» معادل (reality) هم هست و تفکیک «فکت» و «واقعیت» از هم، در این متن بسیار مهم است و عدم تفکیک آن ابهام‌زاست. به طور کلی، مفهوم «واقعیت» برای برخی معادل «هستی» است که به «واقعیت غیرفیزیکی» نیز اطلاق می‌شود.

معادل‌یابی: در معادل‌یابی همواره دو مشکل وجود دارد: مشکل نخست، یک واژه در زبان اصلی می‌تواند دارای چندین معنا در زبان ترجمه باشد و بالعکس؛ مشکل دیگر، استفاده متفاوت از یک واژه در علوم مختلف. معمولاً برداشت مفهومی خاص از اصطلاحی رایج در یک رشته علمی در همان علم معتبر است. در مورد اخیر، مشکل هنگامی به وجود می‌آید که متن میان‌رشته‌ای است.

در متن کتاب دسپانیا، او از یک واژه بارها در معانی متفاوت استفاده کرده است، برای مثال واژه «coherence» در فیزیک به معنای «همدوس» است و در منطق و بیان خواص یک نظریه خاص به معنای «انسجام» نیز است. برای مثال گفته می‌شود: این نظریه دارای انسجام درونی نیست.

نکته دیگر اینکه برای برخی از واژه‌ها در زبان فارسی معادل‌های گوناگونی توسط مترجمان یا فرهنگ‌نویسان اختیار شده است، مانند «پوزیتیویسم» و «دترمینیسم». معادل‌یابی‌های انجام شده در موضوعات مختلف ممکن است مقصود صاحبان آثار مزبور را برآورده کند، اما در مفهوم فیزیکی آن و در کتاب حاضر مناسب نباشد، مانند استفاده از «موجبیت‌گرایی» یا «علیت‌گرایی» برای معادل فارسی «دترمینیسم» که در فلسفه استفاده می‌شود و گویا نیز است، اما برای خواننده‌ای با زمینه فکری فیزیکی بسیار غریب و ناآشناست، همچنین، مفهوم فیزیکی و علمی آن به طور دقیق تبیین نمی‌شود. در متون فیزیک برای معادل واژه «دترمینیسم» معمولاً از واژه‌هایی که مشتق از واژه «تعیین» هستند، استفاده می‌شود. از این رو، در این کتاب معادل «تعیین‌گرایی» انتخاب شده است در مورد واژه «پوزیتیویسم» در این کتاب، خود واژه انتخاب شده است؛ زیرا معادل‌هایی همانند «اثبات‌گرایی» یا «مثبت‌گرایی» در ذهن یک فیزیک‌دان معانی دیگری تداعی می‌کنند. این واژه‌ها نزد او یادآور «اثبات» به معنی «ثابت کردن» و «مثبت» علامت خاصی که متضاد آن «منفی» است می‌باشد. اما در ذهن یک فیلسوف «اثبات» بیشتر به مفهوم «ایجاب» است و متضاد آن «سلب کردن» است، همچنین «مثبت»

به مفهوم «موجب». از این رو، برخی معادل «ایجاب‌گرایی» را برای «پوزیتیویسم» استفاده کرده‌اند. در این کتاب واژه «پوزیتیویسم» حفظ شده است تا مفهومی که در فصل ۲۰ توضیح داده شده است، در ذهن خواننده با هر زمینه فکری به خوبی منتقل شود.

عبارت‌ها و بافت متن: در نظر نگارنده رساندن دقیق مفهوم بیشتر مهم بوده است تا ترجمه لفظ به لفظ، هرچند همواره در حفظ وفاداری در ترجمه کوشش شده است. هنگامی که ترجمه معیار باشد، ممکن است متن برای خواننده فارسی زبان نامفهوم شود. به عنوان مثال، واژه modify که برای آن در فارسی معمولاً از «تصحیح کردن» یا «اصلاح کردن» استفاده می‌شود و بیشتر تداعی کننده مفهوم «غلط‌گیری کردن» است، در زبان انگلیسی به معنای «ایجاد تغییرات کوچک یا جزئی در چیزی است، نوعاً به صورت بهتر کردن یا تعدیل کردن»^۱ است. برای مثال، از عبارت «اگر نظر بوهر را بپذیریم، باید قواعد بالا را اصلاح کنیم» چه مفهومی در ذهن خواننده ایجاد می‌شود؟ آیا این عبارت، به این معنا نیست که قواعد بالا اشکال دارند و کاملاً صحیح نیستند؟ در واقع مقصود نویسنده، تغییر دادن و تعدیل است؛ حتی بهتر کردن هم نیست.

قالب متن: این کتاب به صورت «تألیف و ترجمه» آماده شده است. برای اینکه خواننده بتواند مطالب ترجمه شده را از مطالب تألیف شده جدا کند. اقداماتی مانند تغییر نوع «قلم» و یا گذاشتن «ستاره» بر روی عنوان بخش‌های تألیفی صورت گرفته است (بخش‌های تألیفی با قلم B Nazanin و ترجمه با قلم B zar آورده شده‌اند).

محتوای کتاب

در این کتاب، قواعد نظری و تعابیر مکانیک کوانتومی و مشکلات نظری که این تعابیر ایجاد می‌کنند بیان می‌شوند و مورد نقد قرار می‌گیرند. در متن حاضر، نگارنده علاوه بر مطالعه منابعی که در اسپانیا در متن کتاب خود به آن‌ها ارجاع داده، از منابع دیگر نیز استفاده کرده است. از طرف دیگر، نگارنده سعی داشته است بسیاری از مبانی نظری، فلسفی و ریاضی مکانیک کوانتومی را در هنگام بیان مفاهیم مربوط ذکر کند که برای خواننده آشنا با فیزیک در فهم مطلب کمک خوبی باشد.

موضوعات مطرح شده در کتاب به شرح زیر است:

در فصول اول و دوم به بیان مفاهیم ابتدایی و پدیده‌هایی که باعث شدند مکانیک کوانتومی به وجود آید، پرداخته شده است. در ادامه، در فصول ۳ و ۴ قواعد مکانیک کوانتومی که در فرمالیزم استاندارد آن، یعنی در کتب معمولی مکانیک کوانتومی مفروض هستند، بیان می‌شوند و برخی از ایرادات آن‌ها بررسی می‌شود. سپس، در فصل ۵ قواعد مقدار میانگین و فراوانی آماری به عنوان جایگزینی برای برخی از قواعد مطرح شده در فصل ۳ عنوان می‌شوند.

این قاعده که «بردار حالت» بیان کننده حالت سیستم است در موردی خاص که در آن آنسامبلی از سیستم‌های ناب وجود داشته باشد، قابل استفاده است و هنگامی که آنسامبلی از سیستم‌های آمیخته وجود داشته باشد، آنگاه نیاز به استفاده از فرمالیزم جدید ماتریس چگالی خواهد بود که در فصول ۶ و

1. make partial or minor changes to (something), typically so as to improve it or to make it less extreme". (Oxford Dictionary Lexico).

۷ مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بحث «جداناپذیری» و «واقعیت» مباحث مهمی هستند که در مقاله مشهور EPR^۱ با مطرح کردن آن‌ها مکانیک کوانتومی به چالش کشیده و عنوان شد که مکانیک کوانتومی کامل نیست؛ فصول ۸ و ۹ به این مهم پرداخته‌اند. با توجه به اینکه مکانیک کوانتومی نظریه‌ای آماری است و پیش‌بینی‌های آن برای آنسامبلی از سیستم‌ها صدق می‌کند، در فصل ۱۰ به بررسی این پرسش پرداخته شده است که آیا می‌توان این نظریه را برای سیستم‌های منفرد به کار برد؟

در فصل ۱۱ فرمالیزم متغیرهای پنهان مطالعه می‌شود و برخی از نقدهای وارد بر آن مطرح می‌شوند. بیان قواعد مکانیک کوانتومی از دیدگاه منطق و حساب گزاره‌ها موضوعی است که در فصل ۱۲ مطالعه می‌شود. فصل ۱۳ به بررسی مسئله پس‌بینی در مکانیک کوانتومی اختصاص داده شده است. در این فصل به بررسی این مسئله خواهیم پرداخت که آیا با دانستن حال سیستم می‌توان گذشته آن را تعیین کرد؟

در فصول ۱۴ تا ۱۸ مسئله اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی بررسی می‌شود و نظریه‌های مختلفی در اندازه‌گیری، مانند نظریه‌های اندازه‌گیری ایدئال، نایدئال، کلاسیک و نظریه ابزار ماکروسکوپی مورد نقد و مطالعه قرار می‌گیرند. فصول ۱۹ تا ۲۳ به نقد و بررسی نظریه‌های واقعیت، پوزیتیویسم، بوهر، هایزنبرگ، ویگنر و تعبیر چندجهانی می‌پردازند و در دو فصل انتهایی، خلاصه مطالب و نگرش کلی از مفاهیم ارائه می‌شود. به خصوص در فصل آخر، دسپانیا خود را مقداری از قالب علمی رها کرده و دیدگاه‌های خود را بیان کرده است.

سخنی با همکاران

با توجه به آشکار شدن برخی از اثرات فرهنگی و اجتماعی پیشرفت‌های علمی در یک‌صد سال گذشته مجدداً فلسفه علم، به خصوص فلسفه فیزیک و فلسفه زیست‌شناسی، در سالیان اخیر مورد توجه دانشمندان برجسته رشته‌های مختلف دانشگاه‌های اروپا و آمریکا را مطالعه کرد. این مقاله در یکی از معتبرترین مجلات علمی جهان (مجله آکادمی ملی علوم آمریکا) به چاپ رسیده است.^۲ در این مقاله، دلایل زیر برای نیاز علم به فلسفه ذکر می‌شوند: ا. واضح کردن مفاهیم علمی، ب. نقد فرضیه‌ها، روش‌ها، فرمالیزم‌ها، مفاهیم و نظریات علمی، ج. ایجاد گفت‌وگو میان علوم مختلف و د. ایجاد گفت‌وگو میان علوم و جامعه. ارجاعات متعدد به مقاله مزبور نشان‌دهنده درک این نیاز در جامعه علمی دنیاست.

بنابراین، راقم این سطور امیدوار است همکاران محترم در گروه‌های فیزیک با درک عمیقی که از فیزیک دارند در زمینه «فلسفه فیزیک» مطالعه و پژوهش نمایند تا این خلأ در کشور توسط افرادی که تصوّر درستی از «فیزیک» ندارند، پر نشود. خلاصه کلام اینکه فیزیک کلاسیک، کوانتوم و نسبیت را نمی‌توان از طریق کتب فلسفه علم درک کرد، بلکه آن‌ها را باید در آزمایشگاه‌های فیزیک و همچنین با

1. A. Einstein, B. Podolsky And N. Rosen, Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Phys. Rev.*, 47, 1935, p.777

2. Lucie Laplanea,b,1, Paolo Mantovanic,1, Ralph Adolphsd, Hasok Change, Alberto Mantovanif,g, Margaret McFall-Ngaii, Carlo Rovellii, Elliott Soberj, and Thomas Pradeu; Why science needs philosophy, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 116(10), 3948-3952, doi/10.1073/pnas.

حل معادلات شرودینگر، میدان اینشتین و غیره فهمید و سپس با مطالعه فلسفه علم به فهم فلسفی آن اقدام کرد.

تشکر و قدردانی

لازم است تشکر و امتنان خود را از همکار ارجمند جناب آقای دکتر جاویدان، ویراستار علمی کتاب، و همچنین مدیران و کارشناسان محترم دانشگاه فردوسی مشهد که چاپ کتاب را میسر ساختند ابراز دارم، به ویژه: مدیر محترم نشر آثار علمی دانشگاه فردوسی مشهد، آقای دکتر حسین صابری، و کارشناسان محترم نشر، آقایان قندهاری، نخعی و قاسمی و خانم امیرزاده و اعضای محترم کارگروه نشر دانشگاه فردوسی مشهد. همچنین صمیمانه سپاسگزار کلیه کسانی هستم که در فرایند آماده سازی و چاپ این کتاب همکاری کردند.

سید مجید صابری فتاحی

گروه فیزیک و هسته پژوهشی مطالعات میان رشته‌ای هستی‌شناسانه

دانشگاه فردوسی مشهد

زمستان ۱۳۹۹

مقدمه چاپ مجدد ویراست دوم

اصولاً نسخه فعلی این کتاب، چاپ جدید ویرایش دوم سال ۱۹۸۸ میلادی است که خود آن فقط انتشار مجدد ویرایش اصلی بود. با وجود این فاصله زمانی طولانی، به نظر من می‌رسد که منصفانه است که هنوز هم این کتاب هسته سخت پیشرفت‌های مفهومی تولیدشده توسط فیزیک کوانتومی و مسائل ناشی از آن‌ها را دربر می‌گیرد. به ویژه تحولات اخیر، عمومی‌ترین نتیجه‌گیری از کتاب را برهم نمی‌زند، یعنی اینکه ا. انبوه‌گرایی^۱ (اتم‌گرایی ماده‌گرایانه) مُرده است، ب. جداپذیری را نمی‌توان به عنوان خاصیتی مربوط به واقعیت مستقل از ذهن نگه داشت و ج. به درستی علم احتمالاً به خودی خود ابزاری کافی برای دستیابی کامل به چنین واقعیتی نیست، هر چند که روابط درخشان میان پدیده‌های مشاهده‌شده را نشان می‌دهد. به باور من، دو نکته «ا» و «ب» از بررسی‌های دو بخش سه (جدانپذیری کوانتومی) و چهار (نظریه‌های اندازه‌گیری) کتاب به طور قانع‌کننده‌ای گزارش شده است. در مورد نکته «ج»، دو مورد «ا» و «ب» همراه با سایر بخش‌ها (به ویژه پرسش‌های مربوط به نظریه نسبیت)، محتمل بودن آن را بسیار عالی انجام می‌دهد (بخش پنجم را ببینید).

اما این بدین معنا نیست که تحولاتی که پس از نگارش کتاب رخ داده نامربوط است. بالعکس، برخی از آن‌ها مانند «اثر کوانتومی زنو»^۲ شگفت‌آور و بسیار جالب هستند. برخی دیگر، پرسش‌هایی را که در بالا ذکر شد، واضح‌تر می‌کنند. به ویژه، نظریه مشهور همدوسی^۳ که نشانه کاملاً مهمی از جهانی بودن قواعد کوانتومی ایجاد کرد. با وجود این، برخی دیگر به دلیل بسیار متفاوت ارزش مطالعه کامل دارند، بدین دلیل که توسط بعضی از طرفداران آن‌ها به عنوان وسیله‌ای ممکن برای فرار از حداقل یک نتیجه‌گیری بیان‌شده در نظر گرفته شدند: همانند بازگرداندن جداپذیری در فیزیک کوانتومی. برای مثال، در یک زمان، مورد نظریه‌های تاریخ‌های سازگار^۴ توسط گریفیتس، گل‌مان و هارتل، اومنز^۵ و غیره ایجاد شد. سرانجام نشان داده شد که در واقع چنین بازگشتی به جداپذیری صورت نمی‌گیرد. برای خلاصه کردن این مباحث - و به طور گسترده‌تر، برای بررسی پیامدهای همه این تحولات اخیر - من در سال ۱۹۹۵ میلادی کتاب جدیدی با عنوان واقعیت مستور^۶ نوشتم که محتوای آن با عنوان فرعی آن توضیح داده شده است: تجزیه و تحلیل

۱. انبوه‌گرایی (multitudinism) رهنامه‌ای است که بر اهمیت بیشتر کثرت (جمع) بر فرد تأکید دارد.

2. Quantum Zeno Effect

3. Decoherence

4. Consistent Histories Theories

5. Griffiths, Gell-Mann and Hartle, Omnes

6. Veiled Reality

مفاهیم کوانتوم مکانیکی حاضر. از جمله موارد دیگر، این کتاب شامل شرح مفصلی از پارادوکس زنو؛ وابستگی خروجی در مقابل پارامتر مستقل؛ شکل‌های مختلف قضیه بل؛ نظریه همدوسی؛ دشواری «و-یا» هنوز مسئله نظریه اندازه‌گیری کوانتومی است، حتی هنگامی که واهمدوسی در نظر گرفته می‌شود؛ مسائل گوناگونی که در هنگام تلاش برای توافق فروپاشی کوانتومی با نظریه حالت‌های وابسته ملاحظه می‌شوند؛ نظریه‌های مختلف تعبیری هستی‌شناختی، ویژگی‌های زیبای آن‌ها و معایب آن‌ها؛ و نکته آخر، مشکلات فلسفی ناشی از همه این‌ها به وجود می‌آید.

کتاب واقعیت مستور را باید مکمل مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی دانست که با همین روایت نوشته شده است (فصل‌های مقدماتی عملاً در این دو کتاب یکسان است) و برای کسانی مفید است که «به دانستن» جنبه‌های پیشرفته‌تر تحولات امروز نیاز دارند. از طرف دیگر، آنالیزهای مفصلی را شامل می‌شود که ممکن است خواندن آن را برای افراد غیرمتخصص کمی سخت کند. مفاهیم بنیادی مکانیک کوانتومی خوانندگان خود را مستقیماً با خصوصیات اساسی مشکلات موجود در تماس قرار می‌دهد و همچنین تعدادی از پرسش‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند. به عنوان مثال، نقش «منطق کوانتومی» غیربولی که در کتاب اخیر (واقعیت مستور) بحث نشده است. از این نظر، این کتاب باید همان اندازه مفید باشد که ممکن است بیست سال پیش مفید بود.

سخنی در مورد ایده هدایت‌کننده این کتاب، مکانیک کوانتومی می‌تواند به صورت اصول موضوعه فرمول‌بندی شود که به خاطر شفاف‌سازی، انجام این کار کاملاً مناسب است، اما در این اصول موضوعه، باید به گونه‌ای دقیق و کلی «قواعد بازی» رعایت شود و برای پیش‌بینی آنچه مشاهده خواهد شد، به کار روند. این تفاوت با مکانیک کلاسیک وجود دارد که اصول موضوعه آن (قوانین نیوتن و بقیه) به سادگی به عنوان گزاره‌های مربوط به ساختار برخی واقعیت‌های مستقل از ذهن بیان می‌شوند. این یک فکت است که تلاش برای انجام همان کارهای مکانیک کلاسیک، در فیزیک کوانتومی به سرعت به سردرگمی مفهومی منجر می‌شود («آیا توابع موج واقعی هستند؟»، «آیا فروپاشی واقعی است؟» و غیره)، در حالی که در مقابل اگر به عنوان مجموعه‌ای از قواعد پیش‌بینی در نظر گرفته شوند، مکانیک کوانتومی کاملاً واضح است. بنابراین، قواعد مورد نظر باید همچنان که هستند در نظر گرفته شوند، به صورت آنچه که در فیزیک کوانتومی محکم‌ترین است. این دلیلی واقعی این موضوع است - و نه به دلیل وفاداری پیشینی به پوزیتیویسم، تجربه‌گرایی یا آنچه که نیست! - که در اینجا شروع فقط با بیان این قواعد پیش‌بینی‌کننده و بررسی پیامدهای آن‌ها توصیه می‌شود. از این جهت که هیچ‌گونه تبعیتی از پدیدارشناسی صورت نمی‌گیرد، البته براساس برخی واقعیت‌های بنیادی، مسئله تعبیر قواعد نیز قابل توجه است. در واقع به معنای واقعی، چنین مطالعه‌ای هدف کتاب حاضر است. اما فقط مرحله تجزیه و تحلیل‌های مربوط باید پس از تصحیح قواعد و بررسی قواعد انجام شوند.

توجه داشته باشید که دیدگاه توضیح‌داده‌شده، دقیقاً موضوعی است که آزادی حداکثری را در مورد

مسائل تعبیری به ما می‌دهد؛ زیرا هرگونه پیش‌قضاوت پیشینی را نسبت به آنچه واقعیت را تشکیل می‌دهد، منع می‌کند. از این رو، از همان ابتدا در درون آن مجاز نیستیم واقعیت را به صورت امواج، ذرات یا «موج‌ذره‌ها»^۱ یا غیره تصور کنیم. هر روش تفکر درباره واقعیت، فقط یک امر پیشینی قابل پذیرش است به شرطی که در انتها معلوم شود که با پیش‌بینی‌های مشاهده‌پذیر منتج از قواعد پایه کوانتومی سازگار است. اما همان‌گونه که ملاحظه خواهد شد، برای تحقق این شرط، تلاش زیادی نیاز است و چشم اندازه‌های زیادی برای آن وجود ندارد. به درستی، این کتاب نشان می‌دهد که چنین رهیافتی به آرامی به ایده‌های کاملاً مشخصی در مورد مبانی مفهومی علم فوق‌العاده قدرتمندی منجر می‌شود که مکانیک کوانتومی نامیده شده است.

۱. موج‌ذره (Wavicle) ترکیب ابتدا و انتهای دو واژه (Waves) و (particle) است و به موجودی اطلاق می‌شود که هر دو خاصیت را توأمان دارد، مانند الکترون.

مقدمه ویراست دوم

هنگامی که من برای اولین بار با پدرو^۱ آشنا شدم، جنبش محیط زیستی هنوز در اولویت قرار داشت. فکر می‌کنم که ما برای دفاع از برخی سواحل مدیترانه با هم در راهپیمایی بودیم. اگر ما آنجا نبودیم، تبادل نظر بین ما نبود. خیلی زود فهمیدیم که هر دو فیزیک دان هستیم و معلوم شد که او چاپ اول (و مقدماتی) کتاب حاضر را خوانده است.

پدرو به ایده‌های کلی علاقه داشت. در روزهای بعد، او درباره پرسش‌ها، قضاوت‌ها و حدس‌های خود به من گفت. چنین تصورات «نیمه پخته» به راحتی نوشته نمی‌شود. با وجود این، اجازه دهید این کار را انجام دهم. شاید کاملاً تصادفی نباشد که این پرسش‌ها و نظریات، هم انگیزه کار حاضر و هم برخی از بلندپروازانه‌ترین (و افسوس!) - و همچنین غیرقابل اطمینان‌ترین) نتیجه‌گیری آن را منعکس می‌کنند. ظاهراً امروزه در دنیای فیزیک چندین پدرو وجود دارد که از نظر دیدگاه‌های مهم یا جزئی همه متفاوت از همدیگر هستند. این رساله مسائل آن‌ها را تصویر می‌کند.

ریاضیات و فیزیک

پدرو با یادآوری اینکه یک اجماع نسبتاً کامل در بین فیزیک‌دانان در مورد استفاده «عملی» از الگوریتم نظری وجود دارد، از جمله روش‌های پیش‌بینی نتایج تجربی جدید، شروع کرد. از طرف دیگر، او همچنین گفت که دیدگاهی که این کتاب حاضر است آن را به اشتراک بگذارد، یعنی این عقیده که چنین توافق عملی کاملاً وجود دارد، عملاً تفاوت‌های قابل توجهی را پنهان می‌کند. او خاطر نشان کرد حتی در میان نظریه پردازان، پدیدارشناسان^۲ و اصول موضوعه‌شناسان^۳ از هم جدا می‌شوند. او به ویژه، بر وجود عده بزرگی از فیزیک‌دانان تأکید کرد که «عملگرایی سرسخت» هستند که به نظر آن‌ها نقش نظریه پرداز صرفاً در تلاش برای ایجاد ارتباط داده‌های تجربی جدید به داده‌های بزرگ تر قدیمی است. با وجود این، پدرو ادعا کرد که این قطعاً نظر شخصی وی در مورد علم نیست. برای او حقیقت علمی چیزی غیر از مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های فنی از چنین نوعی است.

وی گفت: «اکنون» آیا این بدان معنی است که باید اصول موضوعه گرا بود؟ او ادعا کرد که چنین نیست. اصول موضوعه گرا این عقیده را دارد - یا حداقل، باید آن را داشته باشد - که «درک عمیق از آنچه

1. Pedro
2. Phenomenologists
3. Axiomatists

در ریشه‌های فیزیک مدرن (مکانیک کوانتومی و تبعیت کننده‌های از آن) نهفته است فقط به تلاش برای الگوریتم‌های ریاضی کلی‌تر نیاز دارد. استفاده محض از مورد اخیر، تمام ماده اصلی این درک را می‌دهد که ما توانمند هستیم. بنابراین، هر جمله‌ای که به‌طور زبانی واضح بیان شده باشد و بدون ابزار فرمول‌بندی ریاضی باشد، صرفاً گفتمانی غیرضروری است^۱. پدرو این گزاره را رد کرد. او گفت فرمول‌بندی ریاضی از تنوع پیچیده‌تری برای فیزیک ضروری است، اما باید به‌طور کمکی در جست‌وجوی مفاهیم به‌طور فزاینده‌تر تصحیح شده بود. برای ترغیب بیشتر من، او خاطرنشان کرد که این تصور اینشتین از علم بوده است، همان‌گونه که دربارهٔ ماخ^۲ ذکر کرده است: «عمل او [ماخ] به‌ویژه سالم بود؛ زیرا او این مسئله را روشن کرد که مهم‌ترین مسائل فیزیکی از نوع ریاضی قیاسی نیستند، بلکه مربوط به مفاهیم بنیادی هستند» (مکاتبات اینشتین و بسو^۳).

من پرسیدم «اما اگر ریاضی باید چیزی را تکمیل کند، آیا نباید با منطق مرسوم باشد؟» پدرو اطمینان داد که برخی تلاش‌های فوق‌العاده جالبی در این راستا انجام شده است. در واقع، او حتی از من خواست که در این نسخه جدید، بحثی از آن‌ها را قرار دهم. متأسفانه من توانسته‌ام این کار را فقط با روشی بسیار جزئی و مختصر انجام دهم (به فصل ۱۲ مراجعه کنید)؛ اما من در فصل سعی کردم حداقل یک نکته را در آن مورد تأکید قرار دهم: اینکه یک رهیافت در راستای این سطور می‌تواند برای تعمیم آنچه که در اینجا «جداناپذیری» نامیده می‌شود (سایر نویسندگان آن را «ناموضعی» می‌نامند) استفاده شود. از طرف دیگر، پدرو به من خاطرنشان کرد که نخستین تعمیم که تاکنون از جداناپذیری «آشکار» مربوط به مکانیک کوانتومی «ارتودوکس» صورت گرفته است، مربوط به نظریه‌های متغیرهای پنهان بود و این نتیجه مهم با استفاده از منطق مرسوم به دست نیامد. در عوض، آن به‌عنوان یک نتیجه از تجزیه و تحلیل ابتدایی ساخته شده با ابزار مرسوم ریاضی فیزیک همراه با مفاهیم واضح پدید آمده است (نگاه کنید به فصل ۱۱).

فیزیک و دیدگاه‌های موجود

در یک بعد از ظهر، پدرو رازی را گفت و تعجب شدید خود را برای من توصیف کرد که در هنگام کشف وجود مسائل معرفت‌شناسی مدرن تجربه کرده بود. در دانشگاه استادان - طبق معمول - چنین حقایق را با دقت پنهان کرده بودند. او گفت آن‌ها بهانه‌هایی داشتند. چنین مواردی را می‌توان به‌طور مفید فقط برای دانشجویان دوره تحصیلات تکمیلی معرفی کرد و به صورت یک قاعده، این دانشجویان، بیشتر به پژوهش‌های آزمایشگاهی و یا ریاضی تمایل دارند تا تلاش برای تأمل در مبانی و کلیات. در نتیجه، قبلاً پدرو این صلاحیت را داشت، او در کاری در نظریه گروه و ماتریس S فهمید که (با یأس واقعی) در ادبیات موجود، بعضی از ایده‌هایی که او همیشه صحیح دانسته است با فیزیک مدرن که در آن آموزش دیده

1. Mach
2. Besso

است، سازگار نیست. او گفت تا آن زمان قانع شده بود که وقتی متافیزیک قدیمی خدایان، پری‌ها و شیاطین سرنگون شده‌اند، این امر به هیچ وجه با متافیزیک دیگری جایگزین نشد، بلکه صرفاً با علم عینی جایگزین شد. اما بعد ناگهان فهمیده است که این موضوع بعد از همه این‌ها صدق نمی‌کند. او فهمیده بود که او و اکثر افراد دیگر نیز ناخودآگاه به متافیزیک دیگری، یعنی اتم‌گرایی دموکریتوس^۱، به مفهوم فلسفی آن اعتقاد داشته‌اند و آنچه مهم‌تر است، این است که مجموعه‌ای از ایده‌های زیربنایی متافیزیک (عینیت قوی به علاوه جدایی‌پذیری و غیره، به فصل‌های ۱۱، ۱۲ و ۲۰ مراجعه کنید) که امروزه نشان داده می‌شود، به نوعی اشتباه است؛ به گونه‌ای که تقریباً جایی برای شک به آن باقی نمی‌گذارد. این شوک بود که او متوجه شد این دیدگاه محبوب بشر «امروزی» اصلاً «به‌روز» نیست و در نتیجه او مجبور شده تا کل نظر خود را تغییر دهد.

قبل از این، پدر او ادامه داد که او بدون اینکه هیچ فکری به معرفت‌شناسی کند، کار خود را ادامه داده بود و در صورت لزوم (مثلاً، اغلب)، روش‌های عمل‌گرایی و پوزیتیویسم منطقی را استفاده کرده بود. به‌طور خاص، او غالباً به مفهوم اندازه‌گیری، به معیار سودمندی و مواردی از این دست اشاره می‌کرده است و بادقت از کلمات غیرواقعی مانند «وجود» و «واقعی» خودداری کرده بود. اما این فقط به خاطر تقلید از بزرگان و معرفی دستورالعمل‌های فنی صحیح بود. او هرگز در مورد آن‌ها فکر نمی‌کرد. با وجود این، او با این ایده احساس امنیت کرده است که در آخر راه تمام آنچه که ضرورتاً مبهم بود، با مفهوم کلی یک انبوه‌گرایی «آشکار» مطابقت داشته است. همان‌گونه که در فصل ۱۹ نشان داده شده است، منظور او از این کلمه این است که هر منظره‌ای از جهان که در نظر گرفته شود، در نهایت از تعداد زیادی قسمت بسیار ساده تشکیل شده است که تمام این خصوصیات به صورت موضعی به آن‌ها متصل است. باور ناگفته‌ای او این بود که هر آنچه پیدا شود، نمی‌تواند در این تصویر جا بگیرد و خود تصویر در خارج از حوزه بررسی او قرار دارد. چنین باوری به او پیچیدگی برتری نسبت به هر چیزی داده بود که ممکن است فلسفی به نظر برسد. اما اکنون او جایگزینی برای چنین امنیتی ندارد. به‌طور خاص، همان‌گونه که گفت، او همچنین نمی‌تواند (حداقل بدون نقد) این نظر را بپذیرد که یک فرمالیزم صرف ریاضی می‌تواند جایگزین قابل قبولی برای متافیزیک سابق باشد. امروزه، چنین فرمالیزمی همواره به اندازه‌گیری‌های بشر (فصل ۱۴ تا ۱۸) اشاره می‌کند (به‌طور ضمنی یا غیر آن)، به گونه‌ای که این نگرش چیزی جز یک ایدئال‌گرایی ناگفته و مبهم را به وجود نمی‌آورد. این بدان معنی است که یک انتخاب فلسفی را به‌طور ضمنی و بدون آنکه متوجه شود، انتخاب کرده بود! تجربه قبلی او باعث می‌شود که از این امر اجتناب کند.

پدر او ادامه داد. بنابراین، این چنین است که من متقاعد شدم که مطالعه جدی فلسفه علم ضروری است. در نتیجه، من کتاب‌های زیادی را خوانده‌ام که من را از پیشرفت‌های چشمگیر در این زمینه آگاه کرد. البته آنچه در آنجا آموختم، فقط در چند جمله نمی‌توانم خلاصه کنم. نکات برجسته نظریه‌های پیچیده، واقعیت

1. Democritian

علمی و حقیقت علمی بود که توسط پوزیتیویست‌ها و پیروان آن‌ها ساخته شده است. منظور نظریه‌هایی است که در آن‌ها واقعیت علمی به عنوان یک ساختار در نظر گرفته می‌شود و در آن‌ها حقیقت علمی دیگر به عنوان «کفایت عقل ما به واقعیت ابتدایی پیش از وجود»، مانند نظریه‌های قبلی تلقی نمی‌شود، بلکه به عنوان نوعی خلقت، صدق معیارهای تأییدپذیری، سازگاری و غیره با تأکید بر نقش مشاهده و عمل انسان در تعاریف دقیق از واقعیت و حقیقت است، در واقع این مفاهیم کاملاً با یقین منعکس‌کننده تکامل علم مدرن هستند؛ به ویژه آن‌ها مسیری طولانی را طی می‌کنند و به نظر من در هنگام نگه داشتن واقعیت متعالی چیزها، مانند نظریه‌های قدیمی، به صورت راه‌حل برخی از مشکلات مفهومی مکانیک کوانتومی (به عنوان پارادوکس) ظاهر می‌شوند.

از طرف دیگر، من همیشه نگران این بودم که به نظر می‌رسد مشکلات واقعی و ابهاماتی در مفاهیم پوزیتیویسم و نظریه‌های مربوط به آن (ابزارگرایی، عمل‌گرایی و غیره) ایجاد می‌شود. من نیازی به توصیف ماهیت این مشکلات و ابهامات ندارم؛ زیرا آن‌ها دقیقاً مواردی هستند که شما خودتان با جزئیاتی از آن‌ها یادآوری کرده‌اید (فصل ۲۰). مسلماً بسیاری از مشکلات مورد بحث چیز جدیدی نیستند و حداقل به طور کلی به وجود آمده و توسط پوزیتیویست‌ها بحث شده‌اند. با وجود این، بدون شک ظهور مکانیک کوانتومی آن‌ها را واضح‌تر کرده است. به تبع آن، هیچ کدام از کتاب‌هایی که خوانده‌ام هرگز راه‌حل‌هایی ارائه ندادند که واقعاً من را راضی کنند. علاوه بر این، من با این ملاحظات موافق هستم که مخالفان پوزیتیویسم گاهی اوقات بیان کرده‌اند که طبق نظر آن‌ها، فلسفه مورد نظر، به طور کلی از طرح پرسش‌های جدید طرفداری نمی‌کند. این امر بدین دلیل است که به طور معمول، در نگاه اول پرسش‌هایی که اساساً جدید هستند (از این رو که راه‌های تأمل علمی را باز می‌کنند) به نظر نمی‌رسند که مطابق معیارهای پوزیتیویسم معنی‌دار باشند؛ زیرا روش‌های مربوط به تأیید و «معلوم» قرار دادن آن‌ها به دلیل جدید بودن آن‌ها مانع از تصوّر ماست. از این رو، پوزیتیویسم، همان‌گونه که در حال حاضر در کاربرد روزانه ما مورد استفاده قرار می‌گیرد، فیزیک را ناب‌نگه می‌دارد؛ اما در عین حال گرایش دارد که پیشرفت خود را افقی‌نگه دارد. در واقع، یکی از اصلی‌ترین مسائل که در این علم با آن روبه‌رو هستیم این است که چگونه از پوزیتیویسم فراتر برویم، به گونه‌ای که به داستان‌های علمی تخیلی منجر نشود.

به همین دلایل و برخی دیگر، مطالعات من دربارهٔ ادبیات معرفت‌شناسی موجود (که عمدتاً بر مبنای پوزیتیویسم است) قطعاً مشکلات من را حل نکرده است و من مجبور شدم ادامه دهم و خوشحال شدم که چندین فیزیک‌دان آن را در مجلات علمی منتشر کرده‌اند؛ تحقیقاتی که کاملاً فراتر از مرزهای تأییدپذیری و مواردی از این دست بود که توسط پوزیتیویسم تحمیل شد.

پس چه نامی باید به بررسی‌های مربوط داده شود؟ آیا آن‌ها علم هستند یا فلسفه؟ این یک امر معنایی است و بنابراین مقدماتی نیست. اگر دانشمند اصرار دارد، آن‌ها را «فلسفه» بنامد. پس آنچه که او آن را «علم» می‌نامد، فقط مجموعه‌ای از قواعد است که به هم متصل هستند. مشاهدات گذشته برای پیش‌بینی