

بسم الله الرحمن الرحيم

نگرش فیزیکی به جهان

تألیف:

محمد وحید تگوک

(عضو هیأت علمی دانشگاه رازی)

دانشگاه رازی

۱۳۹۸



سرشناسه : تکوک، محمدوحید
عنوان : نگرش فیزیکی به جهان / تألیف محمدوحید تکوک.
مشخصات نشر : کرمانشاه، دانشگاه رازی، ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری : ۲۲۰ ص. مصور
فروست : دانشگاه رازی؛ ۳۷۸. فیزیک؛ ۹/۲
شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۳۹۳-۰۲۰-۹
موضوع : فیزیک - مسائل، تمرین ها و غیره (عالی)
موضوع : کوانتوم - مسائل، تمرین ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده : عنوان
رده بندی دیویی : ۵۳۰/۷۶
رده بندی کنگره : ۱۳۹۸ ۸۸ ت/ ۳۲۷ QC

انتشارات دانشگاه رازی ۳۷۸

The physical view of the world

عنوان کتاب: نگرش فیزیکی به جهان

تألیف: دکتر محمدوحید تکوک

ویراستار علمی: اردشیر ربیعی، محمد راستی ویس

ویراستار ادبی: حسن فتاحی

طراح جلد: کزال یوسفی

Razi University Press

ناشر: دانشگاه رازی

© 2019/1398

تاریخ و نوبت چاپ: ۱۳۹۸- دوم

Print Run: 500

شمارگان: ۵۰۰

Price: 290000 Rials

قیمت: ۲۹۰۰۰ تومان

ISBN: 978-600-393-020-9

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۹۳-۰۲۰-۹

مراکز پخش: تهران: مرکز نشر دانشگاهی ۸۸۵۵۶۱۶۸ - کتابیران ۶۶۴۹۲۲۶۶ - دانشیران ۶۶۴۱۶۱۷۶

Tehran: Ketabiran: 021 66492266 Daneshiran: 021 66416176

کرمانشاه: مرکز چاپ و نشر دانشگاه رازی - تلفن ۰۸۳ - ۳۴۲۸۰۸۰۲

Kermanshah: 083 34280802

Email: press@razi.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده مؤلف می باشد. (این کتاب با کاغذ حمایتی منتشر شده است.)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

کزین برتر اندیشه بر نگذرد

به نام خداوند جان و خرد

به دانش ز دانندگان راه جوی

به گیتی بیوی و به هر کس بگوی

ز هر دانشی چون سخن بشنوی

ز آموختن یک زمان نغوی

چو دیدار یابی به شاخ سَخُن

بدانی که دانش نیابد به بُن

« حکیم ابوالقاسم فردوسی »

تقدیم به : همسر سارا و دخترانم سحر و سپیده

تشکر و قدردانی

از تمامی دانشجویان علاقه‌مندی که در کلاس‌های نسبیت عام ۱ و ۲، مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱ و ۲، نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی ۱ و ۲، نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی در فضای منحنی، نظریه‌ی ابر-تقارن و ابر-گرانش، جبر لی، نظریه‌ی گروه و نمایش‌های یکانی آن و هندسه دیفرانسیل که طی سالهای متمادی برگزار شده، شرکت کرده‌اند و با پرسش‌های خود نگارنده را بر این داشتند که سعی کند به زبان ساده، پیچیده‌ترین مباحث فیزیک و ریاضی را بیان کند، سپاس فراوان دارم.

همچنین از دوستان و همکاران گرامی آقایان سعید تهرانی‌نسب، حمیدرضا سپنجی، امید جلیلی، اردشیر رابعی، محمد راستی‌ویس، حسن فتاحی و خانم رؤیا رازیانی که این کتاب را قبل از چاپ مطالعه کرده و پیشنهادات مفیدی برای بهتر و قابل فهم شدن آن ارائه داده‌اند قدردانی و تشکر می‌کنم. از برادرم کامران به خاطر ویرایش متن، آقای حسین نخعی برای رسم اشکال و خانم کژال یوسفی برای طرح جلد سپاسگزارم.

با تشکر از همسر عزیزم سارا تیمورپور که مشوق اصلی من در نوشتن این کتاب بوده، همچنین ویرایش اولیه‌ی متن به‌وسیله‌ی ایشان انجام گرفته است.

پیشگفتار

در این کتاب سه هدف دنبال خواهد شد که در قالب سه پرسش بنیادین در علم فیزیک بیان می‌شوند و در پی آن هستیم که خواننده در پایان کتاب پاسخ این سه پرسش را به روش علمی بیابد: ۱ - سیستم‌های فیزیکی یا پدیده‌های طبیعی با چه مدل ریاضی توصیف می‌شوند؟ ۲ - تحول سیستم‌های فیزیکی را چگونه می‌توان پیدا و رفتار آنها را در آینده پیش‌بینی کرد؟ ۳ - ما به عنوان ناظر طبیعت، قادر به فهمیدن چه پدیده‌هایی هستیم؟ یا به بیان دیگر فهم و درک از دیدگاه فیزیک چیست و چه اختلافی بین فهم کلاسیکی و فهم کوانتومی وجود دارد؟ جواب این پرسش‌ها را از سه دیدگاه فیزیک کلاسیک، نیمه کلاسیک و نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی بحث و بررسی خواهیم کرد.

در مورد جواب پرسش اول در رابطه با سیستم‌های فیزیکی، گفتنی است که از دیدگاه فیزیک کلاسیک پدیده‌های طبیعی ذره یا میدان هستند (یا ترکیبی از آنها) که در فرهنگ عامه ذره معادل جسم یا جرم و میدان معادل انرژی قلمداد می‌شوند. در فیزیک به هر دوی آنها سیستم فیزیکی می‌گویند. از دیدگاه نیمه-کلاسیکی یعنی ذره‌ی کوانتومی و میدان کلاسیکی، همه موجودات در عالم انواع مختلف میدان‌ها هستند، بنابراین به تعریف دقیق میدان از دیدگاه هندسی می‌پردازیم. در اینجا اهمیت هندسه برای خواننده روشن خواهد شد. در نهایت بیان می‌کنیم که از دیدگاه نظریه میدان‌های کوانتومی، پدیده‌های طبیعی در عالم با مدل ریاضی حالت کوانتومی $|\alpha, t\rangle$ توصیف می‌شوند، سپس به تعریف دقیق آن با استفاده از فضای هیلبرت و فضای فوک خواهیم پرداخت. با مقایسه‌ی اهمیت هندسه در مکانیک کلاسیک با فضای هیلبرت در مکانیک کوانتومی، سعی بر آن است تا خواننده به اهمیت فضای هیلبرت و نقش آن در فهم پدیده‌های طبیعی از دیدگاه کوانتومی پی‌برد، زیرا فهم و درک هندسه بسیار راحت‌تر از فضای هیلبرت است.

در پاسخ به پرسش دوم یعنی بررسی تحولات سیستم‌های فیزیکی و پیش‌بینی رفتار آنها در آینده، باید گفت که در فیزیک برای هر سیستم فیزیکی کمیتی به نام لاگرانژین تعریف می‌شود که از جنس یک نوع تفاضل انرژی بوده و تمام اطلاعات کلاسیکی سیستم در آن نهفته است. با داشتن لاگرانژین می‌توان گفت که سیستم را شناخته‌ایم و هر دانشمندی که لاگرانژینی را معرفی کرده است، به اسم خود او در تاریخ علم فیزیک ثبت شده است. برای نوشتن لاگرانژین از یک روش ساده و یکتا استفاده شده تا خواننده به وحدت و یگانگی که در علم وجود دارد، پی‌برد و آن چیزی جز مشاهده‌ی نظم و تقارن در عالم یا در سیستم فیزیکی نیست. نظم و تقارن در فیزیک به وسیله‌ی نظریه‌ی گروه در ریاضیات نشان داده می‌شود و ما سعی خواهیم

کرد که این مبحث مهم و زیبا را به زبان خیلی ساده بیان کنیم تا خواننده احساس مطلوبی نسبت به آن پیدا کرده و ارتباط مناسبی با آن برقرار کند.

میدان‌ها به دو صورت آزاد و برهم‌کنشی در نظر گرفته می‌شوند و بحث خواهد شد که لاگرانژین میدان‌های آزاد را می‌توان با استفاده از تقارن‌های عام و جهانی^۱ سیستم‌های فیزیکی نوشت و لاگرانژین میدان‌های برهم‌کنشی با استفاده از تقارن‌های موضعی^۲ نوشته می‌شوند. با داشتن لاگرانژین، معادلات تحول کمیت‌های فیزیکی به دست می‌آید و با حل معادلات حرکت و اعمال شرایط اولیه، آینده‌ی سیستم‌های کلاسیکی به‌طور صددرصد پیش‌بینی می‌شود. برای بررسی سیستم‌های کوانتومی کمیت دیگری به نام هامیلتونین معرفی می‌شود که یک تبدیل لژاندر روی لاگرانژین است. هامیلتونین برای بسیاری از سیستم‌های فیزیکی معادل با انرژی کل سیستم است. با داشتن هامیلتونین و حالت کوانتومی اولیه سیستم، $|\alpha, t_0\rangle$ ، و اصول موضوعه‌ی مکانیک کوانتومی، حالت کوانتومی سیستم، $|\alpha, t\rangle$ ، در هر لحظه‌ی دلخواه به‌طور صددرصد به دست می‌آید ولی این حالت کوانتومی نمی‌تواند مشاهدات ناظر را با قطعیت توضیح دهد و تنها به‌صورت احتمالاتی مشاهدات ناظر را بیان می‌نماید. در اینجا یک درهم‌تنیدگی کوانتومی بین ناظر، سیستم فیزیکی و ابزار مشاهده یا اندازه‌گیری ایجاد می‌شود که کاملاً مسئله‌ی فهم و درک فیزیکی ما را به چالش می‌کشد، که آخرین هدف کتاب محسوب می‌شود.

در راستای پاسخ به پرسش سوم در رابطه با فهم و درک فیزیکی، نخست به تعریف فیزیک کلاسیک از فهم و درک می‌پردازیم، که از مشاهده آغاز می‌شود. نظریه‌ی کلاسیکی سعی در بیان واقعیت‌های مشاهده شده و پیش‌بینی رفتار آینده‌ی سیستم با استفاده از اصول مکانیک کلاسیک دارد. در این فرایند اگر بتوانیم مشاهدات را با استفاده از اصول و قوانین فیزیکی توضیح دهیم می‌گوییم می‌فهمیم و اگر نتوانیم توضیح دهیم می‌گوییم نمی‌فهمیم. بعضی از مشاهدات در چارچوب مکانیک کلاسیک، قابل توصیف و بیان نیستند و برای توصیف آنها مجبور به تغییر قوانین و اصول فیزیکی و استفاده از اصول مکانیک کوانتومی هستیم. در ادامه به معرفی فهم و درک کوانتومی می‌پردازیم. بنیان فهم کوانتومی بر اساس حالت کوانتومی سیستم، $|\alpha, t\rangle$ ، استوار است که در پایان پرسش دوم گفتیم برای سیستم‌های آزمایشگاهی قابل دسترس بوده و به زیبایی تمام مشاهدات را به طور احتمالاتی توصیف می‌کند.

مشاهدات و واقعیت پدیده‌های طبیعی وابسته به ناظر و ابزار اندازه‌گیری او هستند و از قبل مشخص و یکتا نیستند ولی این حالت کوانتومی $|\alpha, t\rangle$ است که قبل از اندازه‌گیری یگانه است. حالت کوانتومی از یک برهم‌نهی بردارهای پایه‌ی فضای هیلبرت ساخته شده است که با فهم

^۱Global

^۲Local

کلاسیکی غیرقابل درک است زیرا با عمل مشاهده، حالت کوانتومی سیستم به یک حالت جدید رمبش می‌کند. این حالت جدید قابل فهم کلاسیکی است ولی حالت قبل از رمبش یا مشاهده، قابل فهم کلاسیکی نیست. در ضمن حالت کوانتومی $|\alpha, t\rangle$ تمام مشاهدات مختلف ما را به صورت احتمالاتی توضیح می‌دهد که آن را به‌عنوان فهم کوانتومی تعریف می‌کنیم.

اگر کل هستی را به‌صورت یک سیستم واحد و بی‌دررو (ایزوله) در نظر بگیریم حالت کوانتومی کل هستی یا بردار حالت کوانتومی هستی^۱، $|U\rangle$ ، که جواب معادله‌ی ویلر-دوئیث^۲ است، قابل فهم کوانتومی برای ناظر نیست زیرا خود او جزئی از هستی و با آن درهم‌تنیده است، و با مشاهده‌ی هستی به‌وسیله ناظر رمبش اتفاق می‌افتد و حالت کل هستی در یک حالت جدید، $|\alpha, t\rangle$ ، قرار می‌گیرد که t زمان تعریف شده به‌وسیله ناظر است. حالت کوانتومی $|\alpha, t\rangle$ را می‌توان فهمید ولی حالت کل هستی قبل از مشاهده، $|U\rangle$ ، برای ناظر غیرقابل دسترس است. لازم به ذکر است که حالت کوانتومی یک سیاه‌چاله از دید یک ناظر خارجی دور دست، که آن را جزئی از سیاه‌چاله در نظر نگیریم امکان بررسی و تحلیل را دارا است که در چارچوب روش میدان زمینه^۳ قرار می‌گیرد. بنابراین اگر ناظر جزئی از سیستم فیزیکی نباشد گرانش کوانتومی در حالت تقریبی، به‌طور زیبایی قابل بررسی و تحلیل است ولی در حالت کلی که سیستم فیزیکی شامل ناظر هم باشد برای خود ناظر غیرقابل دسترس است.

در پایان لازم به ذکر است که برای تبدیل علم به تکنولوژی و قدرت (توانا بود هر که دانا بود) باید بتوان علم، دانش و آگاهی را به زبان آنالیز ریاضی^۴ بیان کرد که بر بنیان عدد، حد، مشتق و انتگرال ساخته شده است. از این رو به معرفی اجمالی شاخه‌های مهم ریاضی می‌پردازیم که در این کتاب از آنها استفاده کرده‌ایم، از قبیل: تعریف عدد، هندسه، نظریه‌ی گروه و نمایش‌های یکانی آن، فضای هیلبرت و رابطه‌ی آن با مفاهیم آماری. موضوع علم و تبدیل آن به تکنولوژی مبحث مهم دیگری است که خیلی جای کار دارد و در کتابی دیگر به آن خواهیم پرداخت.

محمدوحید تکوک

تهران - آبان ۱۳۹۸

^۱Quantum state of the universe

^۲Wheeler-DeWitt equation

^۳Background field method

^۴Mathematical analysis

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۹	اول نظریه‌ی کلاسیکی	
۱۱	۲ روش علمی	
۱۹	۳ قوانین و اصول موضوعه	
۳۱	۴ هندسه	
۴۷	۵ فضا-زمان، سیستم مختصات و ناظر	
۵۹	۶ سیستم فیزیکی، ذره و میدان	
۷۳	دوم نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی	
۷۵	۷ مکانیک کوانتومی	
۹۷	۸ تقارن، نظریه‌ی گروه و فضای هیلبرت	

۱۲۳	۹ کوانتش میدان‌های آزاد
۱۴۱	۱۰ تقارن‌های موضعی و لاگرانژین برهم‌کنشی
۱۴۹	۱۱ کوانتش میدان‌های برهم‌کنشی
۱۵۹	سوم گرانش کوانتومی
۱۶۱	۱۲ مشکلات گرانش کوانتومی
۱۶۹	۱۳ میدان‌های کوانتومی در فضا-زمان خمیده
۱۷۷	۱۴ میدان‌های کوانتومی در فضا-زمان دوسیه
۱۹۵	۱۵ گرانش پیمانه‌ای و آبَر-گرانش در فضا-زمان دوسیه
۲۰۵	۱۶ سخن آخر
۲۱۳	کتاب‌نامه
۲۲۰	نمایه