

کوانٹم میکینیات

خالد حسان یوسفزئی

جامعہ کامپیٹ، اسلام آباد

khalidyou safzai@comsats.edu.pk

۷/ اگست ۲۰۲۱

عنوان

vii میری پہلی کتاب کا دیباچہ

۱	۱	تفاعل موج
۱	۱.۱	شرو وڈنگر مساوات
۲	۱.۲	شکاریاتی مفہوم
۵	۱.۳	احتمال
۵	۱.۳.۱	غیر مسلسل تغیرات
۹	۱.۳.۲	استمراری تغیرات
۱۲	۱.۴	معمول زنی
۱۵	۱.۵	معیار حرکت
۱۸	۱.۶	اصول عدم یقینیت
۲۵	۲	غیر تابع وقت شرو وڈنگر مساوات
۲۵	۲.۱	ساکن حالات
۳۱	۲.۲	لامستثنائی چپکور کنواں
۴۰	۲.۳	ہارمونی سر نقش
۴۲	۲.۳.۱	الجبرائی ترکیب
۵۱	۲.۳.۲	تحلیلی ترکیب
۵۹	۲.۴	آزاد ذرہ
۶۸	۲.۵	ڈیلٹ تفاعل محققہ
۶۸	۲.۵.۱	مقید حالات اور بکھراؤ حالات
۷۰	۲.۵.۲	ڈیلٹ تفاعل کنواں
۷۹	۲.۶	مستثنائی چپکور کنواں
۸۹	۳	قواعد وضوابط
۸۹	۳.۱	ہلبرٹ فضا
۹۳	۳.۱.۱	قابل معلوم حالات
۹۵	۳.۲	ہر مشی عامل کے امتیازی تفاعل

۳.۲.۱	غیر مسلسل طیف	۹۵
۳.۲.۲	استمراری طیف	۹۷
۳.۳	متعمم شمارائی مفہوم	۱۰۰
۳.۴	اصول عدم یقینیت	۱۰۴
۳.۴.۱	اصول عدم یقینیت کا ثبوت	۱۰۴
۳.۴.۲	کم سے کم عدم یقینیت کا موجدی اکٹھ	۱۰۸
۳.۴.۳	توانائی و وقت اصول عدم یقینیت	۱۰۸
۳.۵	ڈیراک علامتیت	۱۱۳
۴	تین البادی کو انٹرمیکانیات	۱۲۷
۴.۱	کروی محدود میں مساوات شروڈنگر	۱۲۷
۴.۱.۱	علیحدگی متغیرات	۱۲۹
۴.۱.۲	زاویائی مساوات	۱۳۰
۴.۱.۳	ردای مساوات	۱۳۵
۴.۲	ہائیڈروجن جوہر	۱۳۹
۴.۲.۱	ردای تقاسم عمل موج	۱۴۰
۴.۲.۲	ہائیڈروجن کا طیف	۱۵۰
۴.۳	زاویائی معیار حرکت	۱۵۲
۴.۳.۱	امتیازی افتدار	۱۵۳
۵	متمثل ذرات	۱۶۵
۵.۱	دو ذراتی نظام	۱۶۵
۶	غیر تابع وقت نظریہ اضطراب	۱۷۳
۶.۱	غیر انخطاطی نظریہ اضطراب	۱۷۳
۶.۱.۱	عمومی ضابطہ بندی	۱۷۳
۶.۱.۲	اول رتبہ نظریہ	۱۷۴
۶.۱.۳	دوم رتبہ توانائیاں	۱۷۸
۶.۲	انخطاطی نظریہ اضطراب	۱۷۹
۶.۲.۱	دوپڑتا انخطاط	۱۷۹
۶.۲.۲	بلند رتبہ انخطاط	۱۸۳
۶.۳	ہائیڈروجن کا مہین ساخت	۱۸۷
۶.۳.۱	اضافیتی تصحیح	۱۸۸
۶.۳.۲	چکر و مدار رابط	۱۹۱
۶.۴	زیمان اثر	۱۹۵
۶.۴.۱	کمزور میدان زیمان اثر	۱۹۵
۶.۴.۲	طاقتور میدان زیمان اثر	۱۹۷
۶.۴.۳	درمیانی طاقت میدان زیمان اثر	۱۹۸
۷	تغیری اصول	۲۰۱

۲۰۳	۸	وکب تخمین
۲۰۵	۹	تابع وقت نظریہ اضطراب
۲۰۷	۱۰	حرارت ناگزیر تخمین
۲۰۹	۱۱	بکھراو
۲۱۱	۱۲	بکھراو
۲۱۱	۱۲.۱	تعارف
۲۱۱	۱۲.۱.۱	کلاسیکی نظریہ بکھراو
۲۱۳	۱۲.۱.۲	کوانٹم نظریہ بکھراو
۲۱۴	۱۲.۲	حبزوی موج تجزیہ
۲۱۴	۱۲.۲.۱	اصول وضوابط
۲۱۷	۱۲.۲.۲	لایا عمل
۲۱۹	۱۲.۳	یستقلات حیط
۲۲۲	۱۲.۴	بارن تخمین
۲۲۲	۱۲.۴.۱	مساوات شرودنگر کی عملی روپ
۲۲۶	۱۲.۴.۲	بارن تخمین اوّل
۲۳۰	۱۲.۴.۳	شکل بارن
۲۳۳	۱۳	پس نوشت
۲۳۴	۱۳.۱	آئنسٹائن پوڈولسکیو وزن تضاد
۲۳۵	۱۳.۲	مسئلہ بل
۲۳۹	۱۳.۳	مسئلہ کلیہ
۲۴۱		جوابات
۲۴۳	۱	خطی الجبرا
۲۴۳	۱.۱	سمتیات
۲۴۳	۲.۱	اندرونی ضرب
۲۴۳	۳.۱	فتالب
۲۴۳	۴.۱	تبدیلی اساس
۲۴۳	۵.۱	امتیازی تفاعلات اور امتیازی افتدار
۲۴۳	۶.۱	بر مشی تبادلے
۲۴۵		فہرست

میری پہلی کتاب کا دیباچہ

گزشتہ چند برسوں سے حکومت پاکستان اعلیٰ تعلیم کی طرف توجہ دے رہی ہے جس سے ملک کی تاریخ میں پہلی مرتبہ اعلیٰ تعلیمی اداروں میں تحقیق کا رجحان پیدا ہوا ہے۔ امید کی جاتی ہے کہ یہ سلسلہ جاری رہے گا۔ پاکستان میں اعلیٰ تعلیم کا نظام انگریزی زبان میں رائج ہے۔ دنیا میں تحقیقی کام کا بیشتر حصہ انگریزی زبان میں ہی چھپتا ہے۔ انگریزی زبان میں ہر موضوع پر لاتعداد کتابیں پائی جاتی ہیں جن سے طلب و طالبات استفادہ کرتے ہیں۔

ہمارے ملک میں طلب و طالبات کی ایک بہت بڑی تعداد بنیادی تعلیم اردو زبان میں حاصل کرتی ہے۔ ان کے لئے انگریزی زبان میں موجود مواد سے استفادہ کرنا تو ایک طرف، انگریزی زبان از خود ایک رکاوٹ کے طور پر ان کے سامنے آتی ہے۔ یہ طلب و طالبات ذہین ہونے کے باوجود آگے بڑھنے اور قوم و ملک کی بھرپور خدمت کرنے کے قابل نہیں رہتے۔ ایسے طلب و طالبات کو اردو زبان میں نصاب کی اچھی کتابیں درکار ہیں۔ ہم نے قومی سطح پر ایسا کرنے کی کوئی خاطر خواہ کوشش نہیں کی۔

میں برسوں تک اس صورت حال کی وجہ سے پریشانی کا شکار رہا۔ کچھ کرنے کی نیت رکھنے کے باوجود کچھ نہ کر سکتا تھا۔ میرے لئے اردو میں ایک صفحہ بھی لکھنا ناممکن تھا۔ آخر کار ایک دن میں نے اپنی اس کمزوری کو کتاب نہ لکھنے کا جواز بنانے سے انکار کر دیا اور یوں یہ کتاب وجود میں آئی۔

یہ کتاب اردو زبان میں تعلیم حاصل کرنے والے طلب و طالبات کے لئے نہایت آسان اردو میں لکھی گئی ہے۔ کوشش کی گئی ہے کہ اسکول کی سطح پر نصاب میں استعمال ہونے والے تکنیکی الفاظ ہی استعمال کئے جائیں۔ جہاں ایسے الفاظ موجود نہ تھے وہاں روزمرہ میں استعمال ہونے والے الفاظ چنے گئے۔ تکنیکی الفاظ کی چٹائی کے وقت اس بات کا دہان رکھا گیا کہ ان کا استعمال دیگر مضامین میں بھی ممکن ہو۔

کتاب میں بین الاقوامی نظام اکائی استعمال کی گئی ہے۔ اہم متغیرات کی علامتیں وہی رکھی گئی ہیں جو موجودہ نظام تعلیم کی نصابی کتابوں میں رائج ہیں۔ یوں اردو میں لکھی اس کتاب اور انگریزی میں اسی مضمون پر لکھی کتاب پڑھنے والے طلب و طالبات کو ساتھ کام کرنے میں دشواری نہیں ہوگی۔

امید کی جاتی ہے کہ یہ کتاب ایک دن حوالہ اردو زبان میں انجینئرنگ کی نصابی کتاب کے طور پر استعمال کی جائے گی۔ اردو زبان میں برقی انجینئرنگ کی مکمل نصاب کی طرف یہ پہلا قدم ہے۔

اس کتاب کے پڑھنے والوں سے گزارش کی جاتی ہے کہ اسے زیادہ سے زیادہ طلب و مطالبات تک پہنچانے میں مدد دیں اور انہیں جہاں اس کتاب میں غلطی نظر آئے وہ اس کی نشاندہی میری ای۔ میل پر کریں۔ میں ان کا نہایت شکر گزار ہوں گا۔

اس کتاب میں تمام غلطیاں مجھ سے ہی سرزد ہوئی ہیں البتہ انہیں درست کرنے میں بہت لوگوں کا ہاتھ ہے۔ میں ان سب کا شکریہ ادا کرتا ہوں۔ یہ سلسلہ ابھی جاری ہے اور مکمل ہونے پر ان حضرات کے تاثرات یہاں شامل کئے جائیں گے۔

میں یہاں کامیٹ یونیورسٹی اور ہائر ایجوکیشن کمیشن کا شکریہ ادا کرنا چاہتا ہوں جن کی وجہ سے ایسی سرگرمیاں ممکن ہوئیں۔

حنالد حنان یوسفزئی

28 اکتوبر 2011ء

باب ۱۳

پس نوشت

اب چونکہ میں توقع کرتا ہوں آپ کو انٹرمیکانیات کو سمجھتے ہیں ہم حصہ 1.2 میں کیا گیا سوال دوبارہ اٹھاتے ہیں کو انٹرمیکانیات کے نتائج سے کیا مطلق اغیز کرنا چاہیے مسئلہ کا جڑ تفاعل عمل موج کے ساتھ وابستہ شماریاتی مفہوم کی عدم تعینیت ہے۔ تفاعل ψ یا کو انٹرمیکانیات کا حال کہنا بہتر ہوگا جو مثال کے طور پر چسپکار ہو سکتا ہے صرف ممکنہ نتائج کی شماریاتی تقسیم مہیا کرتا ہے اور کسی بھی پیمائش کا نتیجہ یکتا طور پر تعین نہیں کرتا اس سے ایک اہم سوال کھڑا ہوتا ہے کیا پیمائش سے قبل نظام یہ مخصوص خاصیت حقیقتاً رکھتا تھا جسے حقیقت پسند نقطہ نظر کہتے ہیں یا پیمائش کے عمل نے اس خاصیت کو جسم دیا جو تا فعل موج کی شماریاتی پابندی کو مطمئن کرتا ہے۔ تقلید پسند نقطہ نظر یا ہم اس سوال کو ان بنیادوں پر رد کرتے ہیں کہ یہ سوال ایک فرضی سوال ہے انکاری نقطہ نظر۔

حقیقت پسند کے نقطہ نظر سے کو انٹرمیکانیات ایک نامکمل نظریہ ہے چونکہ کو انٹرمیکانیات کی تمام فرضیہ کردہ معلومات یعنی اس کا تفاعل موج جانتے ہوئے آپ خواص تعین نہیں کر سکتے ہیں۔ ظاہر ہے ایسی صورت میں کو انٹرمیکانیات سے باہر کوئی اور معلومات ہوگی جس کو ψ کے ساتھ ملا کر طبعی حقائق کو مکمل طور پر بیان کرنا ممکن ہوگا۔

تقلید پسند نقطہ نظر اس سے بھی زیادہ سنگین سوالات کھڑے کرتا ہے چونکہ اگر پیمائشی عمل نظام کو ایک خاصیت اختیار کرنے پر مجبور کرتا ہو تب پیمائش ایک عجیب عمل ہوگا ساتھ ہی یہ جانتے ہوئے کہ ایک پیمائش کے فوراً بعد دوسری پیمائش وہی نتیجہ دیتی ہے ہمیں ماننا ہوگا کہ پیمائشی عمل تفاعل عمل موج کو یوں مٹا کر تا ہے جو موادات شر وڈنگر کی تجویز کردہ ارتقاء کے برعکس ہے۔

ان سب کی روشنی میں ہم دیکھ سکتے ہیں کہ نسل در نسل ماہر طبیعیات انکاری سوچ کے پیچھے پن لینے پر مجبور کیوں ہوئے اور اپنے شاگردوں کو نصیحت کرتے رہے کہ نظریہ کے تصوراتی بنیادوں پر غور و فکر کر کے اپنا وقت ضائع نہ کریں۔

۱۳.۱ آئنسٹائن پوڈولسکی روزن تضاد

سن 1935 میں آئنسٹائن پوڈولسکی اور روزن نے مل کر آئنسٹائن پوڈولسکی اور روزن تضاد پیش کیا جس کا مقصد حتمیاً نظریاتی بنیادوں پر یہ ثابت کرنا تھا کہ صرف حقیقت پسندانہ نقطہ نظر درست ہو سکتا ہے۔ میں اس تضاد کی ایک سادہ روپ جو داؤد بام نے پیش کی پر تبصرہ کرتا ہوں۔ تادیلی پائے میزبان کی ایک الیکٹران اور ایک پرنٹون میں تحلیل پر غور کریں

$$\pi^0 \rightarrow e^- + e^+$$

سکن پائون کی صورت میں الیکٹران اور پروٹان ایک دوسرے کے مخالف رخ جائیں گے شکل 12.1۔ اب چونکہ پائون کا چکر صفر ہے لحاظ زاویائی معیار حرکت کی بقا کے تحت یہ الیکٹران اور پوزیٹرون یکساں تنظیم میں ہوں گے

$$(13.1) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(\uparrow\downarrow + -\downarrow\uparrow)$$

اگر دیکھا جائے کہ الیکٹران ہم میدان ہے تب پوزیٹرون لازماً مخالف میدان ہوگا اور اسی طرح اگر الیکٹران مخالف میدان پایا جائے تب پوزیٹرون ہم میدان ہوگا۔ کوانٹم میکانیات آپ کو یہ بتانے سے قاصر ہے کہ کس پائون تجویز میں آپ کو کونسی صورت حال ملے گی تاہم کوانٹم میکانیات یہ ضرور بتا سکتی ہے کہ ان پیمائش کا ایک دوسرے کے ساتھ تعلق ہوگا اور اوسطاً نصف وقت ایک قسم اور نصف وقت دوسری قسم کی جوڑیاں پیدا ہوں گے۔ اب فرض کریں ہم ان الیکٹران اور پوزیٹرون کو ایک عملی تجربہ کے لیے دس میٹر تک جانے دیں یا اصولاً دس نوری سال تک جانے دیں اور اس کے بعد الیکٹران کے چکر کی پیمائش کریں۔ فرض کریں آپ کو ہم میدان ملتا ہے۔ آپ فوراً حیران پائیں گے کہ بیس میٹر یا بیس نوری سال دور کوئی دوسرا شخص پوزیٹرون کو مخالف میدان پائے گا۔

حقیقت پسند کے نقطہ نظر سے اس میں کوئی حیرانی کی بات نہیں ہے چونکہ انکی پیمائش کے وقت سے ہی الیکٹران حقیقتاً ہم میدان اور پوزیٹرون مخالف میدان تھے ہاں کوانٹم میکانیات ان کے بارے میں جاننے سے قاصر تھا۔ تاہم تقلید پسند نقطہ نظر کے تحت پیمائش سے قبل دونوں ذرات نہ ہم میدان اور نہ ہی مخالف میدان تھے الیکٹران پر پیمائش تفاعل موج کو منحرف کرتی ہے جو فوراً بیس میٹر یا بیس نوری سال دور پوزیٹرون کو مخالف میدان بناتا ہے۔ آئنسٹائن پوڈولسکی اور روزن اس قسم کے دور عمل کرنے والے عوامل میں یقین نہیں رکھتے تھے۔ یوں انہوں نے تقلید پسند نقطہ نظر کو نافذ بل قبول مقرر دیا چاہے کوانٹم میکانیات حیران ہو یا نہ حیران ہو الیکٹران اور پوزیٹرون لازماً کسی مخصوص چکر کے حامل تھے۔

ان کی دلیل اس بنیادی مفروضہ پر کھڑی ہے کہ کوئی بھی اثر روشنی کی رفتار سے تیز سفر نہیں کر سکتا ہے۔ ہم اسے اصول مقامیت کہتے ہیں۔ آپ کو شبہ ہو سکتا ہے کہ تفاعل موج کی انہدام کی خبر کسی مستثنائی سمتی رفتار سے سفر کرتی ہے۔ تاہم ایسی صورت میں زاویائی معیار حرکت کی بقا متعین نہیں ہوگی چونکہ پوزیٹرون تک انہدام کی خبر پہنچنے سے پہلے اگر ہم اس کے چکر کی پیمائش تو ہمیں دونوں اقسام کے چکر چپا چپا پس فیصد احتمال سے

حاصل ہوں گے۔ آپ کا نظریہ جو بھی کہے تجربہ بات کے تحت دونوں کے چکر ہر صورت ایک دوسرے کے مخالف ہوتے ہیں۔ ظاہر ہے تفاسل موج کا انہدام ایک دم ہوتا ہے۔

سوال ۱۳.۱: پولیدہ حالات۔ پولیدہ حالات کی ایک کلاسیکی مثال یکتا چکر تنظیم مساوات 12.1 ہے۔ اس دو ذرہ حال کو دو یک ذری حالات کا مجموعہ نہیں لکھا جاسکتا ہے لحاظ جس کے بارے میں بات کرتے ہوئے کسی ایک ذرے کے علیحدہ حال کی بات نہیں کی جاسکتی ہے۔ آپ گمان کر سکتے ہیں کہ شاید ہماری علالت کی بنا ہے اور عین ممکن ہے کہ یک ذرہ حالات کا کوئی خطی جوڑ اس نظام کو کھول سکے درج ذیل مسئلے کا ثبوت پیش کریں۔

دو سطحی ایک نظام $|\psi_a\rangle$ اور $|\psi_b\rangle$ پر غور کریں جہاں $\langle\psi_i|\psi_j\rangle = \delta_{ij}$ ہو۔ مثلاً $|\psi_a\rangle$ ہم میدان اور $|\psi_b\rangle$ خلاف میدان کو ظاہر کر سکتا ہے۔ دو ذری حال

$$\alpha |\phi_a(1)\rangle |\phi_b(2)\rangle + \beta |\phi_b(1)\rangle |\phi_a(2)\rangle$$

جہاں $\alpha \neq 0$ اور $\beta \neq 0$ ہیں کسی بھی ایک ذری حالات $|\psi_r\rangle$ اور $|\psi_s\rangle$ کا حاصل ضرب

$$|\psi_r(1)\rangle |\psi_s(2)\rangle$$

نہیں لکھا جاسکتا ہے۔

اشارہ: $|\psi_s\rangle$ اور $|\psi_r\rangle$ کو $|\psi_a\rangle$ اور $|\psi_b\rangle$ کے خطی جوڑ لکھیں۔

۱۳.۲ مسئلہ بل

آئنسٹائن، پوڈولسکی اور روزن کا کوانٹم میکینکس کی درستگی پر کوئی شق نہیں تھا البتہ انکا دعوہ کے طبعی حقیقت کو بیان کرنے کے لیے یہ ایک مکمل نظریہ ہے کسی بھی نظام کا حال پوری طرح جاننے کی خاطر ψ کے ساتھ ساتھ ایک اور مقدار λ درکار ہوگی۔ چونکہ فعل حال ہم نہیں جاننے کہ λ کو کس طرح ناپا یا احباب کے ذریعہ معلوم کیا جائے۔ لحاظ ہم اسے درپردہ متغیر کہتے ہیں۔ تاریخی طور پر کئی درپردہ متغیر نظریات پیش کئے گئے جو پیچیدہ ہونے کے ساتھ ساتھ نامعقول ثابت ہوئے بہر حال سن 1964 تک اس پر کام کرنے کی وجہ نظر آتی تھی تاہم اس سال جناب بل نے ثابت کیا کہ درپردہ متغیر نظریہ اور کوانٹم میکینکس کے ساتھ ساتھ نہیں چل سکتے ہیں۔

بل نے آئنسٹائن، پوڈولسکی اور روزن بونہم تجربہ کو عمومی بنانے کی بات کی الیکٹران اور پوزیٹرون کا کشف کو ایک ہی رخ رکھنے کی بجائے بل نے انہیں علیحدہ علیحدہ زاویوں پر رکھنے کی اجازت دی۔ پہلا کشف اکائی سمتیہ a کے رخ الیکٹران چکر کا حبز ناپتا ہے جبکہ دوسرا b کے رخ پوزیٹرون کے چکر کا حصہ ناپتا ہے شکل 12.2۔ ہم اپنی آسانی کے لیے چکر کو $\hbar/2$ کی اکائیوں میں ناپتے ہیں یوں کشف کے رخ ہم میدان کی قیمت $+1$ اور خلاف میدان کی قیمت -1 ناپی جائے گی۔ کئی π^0 تنزل کے نتائج درج ذیل جدول میں پیش کئے گئے نتائج کی طرح ہو سکتے ہیں۔ کشف کے رخوں کی کسی ایک جوڑی کے لیے بل نے چکر کے حاصل ضرب کی اوسط قیمت تلاش کی جسے ہم $P(a, b)$ لکھتے ہیں۔ متوازی کاشفوں کی صورت میں $a = b$ ہوگا جو ہمیں اصل آئنسٹائن، پوڈولسکی، روزن اور بونہم تجربہ کے نتائج دیگالی صورت

الیکٹران	پوزیٹرون	ضرب
+1	-1	-1
+1	+1	+1
-1	+1	-1
-1	-1	+1
-1	-1	-1
⋮	⋮	⋮

میں ایک ہم میدان اور دوسرا مخالف میدان ہوگا لحاظ ان کا حاصل ضرب ہر صورت -1 ہوگا اور یوں اوسط کی قیمت بھی یہی ہوگی

$$(۱۳.۲) \quad P(a, a) = -1$$

اسی طرح اگر کاشف زد متوازی ہوں تب $b = -a$ اور ہر حاصل ضرب $+1$ لحاظ درج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۳) \quad P(a, -a) = +1$$

اختیاری سمت بندی کے لیے کو انٹیمیکانیات درج ذیل پیش گوئی کرتی ہے

$$(۱۳.۴) \quad P(a, b) = -a \cdot b$$

سوال 4.50 دیکھیں۔ بل نے دریافت کیا کہ یہ نتیجہ کسی بھی درپردہ متغیر نظریہ کا ہم اب تک نہیں ہو سکتا ہے۔

اس کا دلیل حیرت کن حد تک سادہ ہے فرض کریں الیکٹران پوزیٹرون نظام کے مکمل حال کو کوئی درپردہ متغیر یا متغیرات λ ظاہر کرتا ہے۔ ایک پائیون تنزل سے دوسرے پائیون تنزل تک λ کی تبدیلی کو نہ ہم سمجھتے اور نہ ہی متاثر کرتے ہیں۔ ساتھ ہی فرض کرتے ہیں کہ الیکٹران کی پیمائش پر پوزیٹرون کاشف کی سمت بندی b کا کوئی اثر نہیں پایا جاتا ہے یا درجے کہ تجربہ کرنے والا الیکٹران کی پیمائش کے بعد پوزیٹرون کاشف کا رخ منتخب کر سکتا ہے۔ ایسی صورت میں چونکہ پوزیٹرون کاشف کا رخ منتخب کرنے سے پہلے ہی الیکٹران کی پیمائش کی جا چکی ہوگی لحاظ اس پر بھی کی سمت کا کوئی اثر نہیں ہو سکتا ہے۔ یہ اصول معیت کا مفروضہ ہے یوں الیکٹران کی پیمائش کوئی تفاعل $A(a, \lambda)$ اور پوزیٹرون کی پیمائش کوئی دوسرا تفاعل $B(b, \lambda)$ دیگا۔ ان تفاعلات کی قیمتیں صرف ± 1 ہو سکتی ہیں

$$(۱۳.۵) \quad A(a, \lambda) = \pm 1; \quad B(b, \lambda) = \pm 1$$

جب کاشف متوازی ہوں تب تمام λ کے لیے درج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۶) \quad A(a, \lambda) = -B(a, \lambda)$$

اب پیمائشوں کی حاصل ضرب کی اوسط قیمت درج ذیل ہوگی جہاں $\rho(\lambda)$ درپردہ متغیر کی کثافت احتمال ہے

$$(۱۳.۷) \quad P(a, b) = \int \rho(\lambda) A(a, \lambda) B(b, \lambda) d\lambda$$

کسی بھی کشافیت کا احتمال کے لیے یہ غیر منفی ہوگا اور معمولی شرط $\int \rho(\lambda) d\lambda = 1$ کو متعین کرے گا تاہم اس کے علاوہ ہم $\rho(\lambda)$ کے بارے میں کچھ بھی فرض نہیں کرتے ہیں درپردہ متغیر کے مختلف نظریات ρ کے لیے کافی مختلف تفصیلات پیش کر سکتے ہیں۔ مساوات 12.6 کو استعمال کرتے ہوئے ہم B کو خارج کر سکتے ہیں۔

$$(۱۳.۸) \quad P(a, b) = - \int \rho(\lambda) A(a, \lambda) A(b, \lambda) d\lambda$$

اگر c کوئی تیسرا اکائی سمتیہ ہوت بدرج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۹) \quad P(a, b) - P(a, c) = - \int \rho(\lambda) [A(a, \lambda) A(b, \lambda) - A(a, \lambda) A(c, \lambda)] d\lambda$$

اور چونکہ $[A(b, \lambda)]^2 = 1$ ہے لحاظ بدرج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۱۰) \quad P(a, b) - P(a, c) = - \int \rho(\lambda) [1 - A(b, \lambda) A(c, \lambda)] A(a, \lambda) A(b, \lambda) d\lambda$$

تاہم مساوات 12.5 کے تحت $+1 \leq [A(a, \lambda) A(b, \lambda)] \leq -1$ مزید $\rho(\lambda) [1 - A(b, \lambda) A(c, \lambda)] \geq 0$ لحاظ

$$(۱۳.۱۱) \quad |P(a, b) - P(a, c)| \leq \int \rho(\lambda) [1 - A(b, \lambda) A(c, \lambda)] d\lambda$$

یا مختصر ادرج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۱۲) \quad |P(a, b) - P(a, c)| \leq 1 + P(b, c)$$

یہ مشہور بل عدم مساوات ہے۔ مساوات 12.5 اور 12.6 کے علاوہ کوئی شرط عائد نہیں کی گئی ہے ہم نے درپردہ متغیرات کی تعداد یا خاصیت یا تقسیم ρ کے بارے میں کچھ بھی فرض نہیں کیا لحاظ یہ عدم مساوات ہر مقامی درپردہ متغیر نظریہ کے لیے کارآمد ہوگا۔

لیکن ہم بہت آسانی سے دیکھا سکتے ہیں کہ کوانٹم میکانیات کی پیش گوئی مساوات 12.4 اور بل عدم مساوات ہم اہن نہیں ہیں۔ فرض کریں تینوں اکائی سمتیہ ایک مستوی میں پائے جاتے ہوں اور a اور b کے ساتھ c کا زاویہ 45° ہو شکل 12.3 ایسی صورت میں کوانٹم میکانیات کہتی ہے کہ

$$P(a, b) = 0, \quad P(a, c) = P(b, c) = -0.707$$

جبکہ بل عدم مساوات کہتی ہے کہ

$$0.707 \not\leq 1 - 0.707 = 0.293$$

جب ایک دوسرے کے غیر ہم اینگ نتائج ہیں یوں بل کی ترمیم سے آئنسٹائن، پڈولسکی اور روزن تضاد ایک ایسی بات ثابت کرتا ہے جو اس کے مصنفین تصور بھی نہیں کر سکتے تھے۔ اگر وہ درست ہوں تب نہ صرف کوانٹم میکانیات

مکمل ہے بلکہ یہ مکمل طور پر غلط ہے اس کے برعکس اگر کوانٹم میکانیا درست ہے تب کوئی درپردہ متغیر نظریہ ہمیں اس غیر مکامیت سے نجات نہیں دو سکتی جسے آئنسٹائن مضائقہ خیال سمجھتا تھا۔ مزید اب ہم بہت سادی تجربہ سے اس مسئلے کو دفن کئے ہیں۔

بل عدم مساوات کو پرکھنے کے لیے ساٹھ اور ستر کی دہائیوں میں کئی تجربات سرانجام دئے گئے جن میں ایپیکٹ، گرنیئر اور روبنر کا کام قابل فخر ہے ہمیں یہاں انکے تجربہ کی تفصیل سے دلچسپی نہیں ہے۔ انہوں نے پائیون تیز کی بجائے دو فوٹان جوہری استعمال استعمال کیا یہ خدشہ دور کرنے کے لیے کہ الیکٹران کاشف کی سمت بندی کو کسی طرح پوزیٹرون کاشف حبان پائے گا فوٹان کی راواگی کے بعد دونوں کی سمت بندی کی گئی۔ نتائج کوانٹم میکانیات کی پیش گوئی کی عین مطابق تھے اور بل عدم مساوات کے غیر ہم آہنگ تھے۔

ستم ظریفی کی بات ہے کہ کوانٹم میکانیات کی تجرباتی تصدیق نے سائنسی برادری کو ہلا کر رکھ دیا۔ لیکن اس کی وجہ حقیقت پسند سوچ کا غلط ثابت ہونا نہیں تھا عموماً سائنسدان کب کے اس حقیقت کو مان چکے تھے اور جو ابھی بھی مانتے تھے انکے لیے غیر مکامی درپردہ متغیر نظریات کا راستہ ابھی کھلا ہے چونکہ مثلاً اطلاق ان پر نہیں ہوتا ہے۔ اصل عدم مساوات کا تھکا کہ قدرت از خود بنیادی طور پر غیر مکامی ہے۔ تفاسل موج کی فوراً انہدام کی صورت میں غیر مکامیت یا متشائل ذرات کے لیے ضرورت تشاکلیت ہمیشہ تقلید پسند نظریہ کی خاصیت رہی ہے۔ تاہم ایپیکٹ کے تجربہ سے قبل امید کی جا سکتی تھی کہ کوانٹم غیر مکامیت کسی طرح قائم و ضوابط کی غیر طبعی پیداوار تھی جس کے متقابل کشف اثرات نہیں ہو سکتے ہیں اس امید کو بھول جائیں ہمیں فاصلہ پر یکدم عمل کے تصور کو دوبارہ دیکھنا ہوگا۔

ماہر طبیعیات روشنی سے زیادہ تیز رفتار اثر و سوچ کو کیوں برداشت نہیں کر سکتے ہیں؟ آخر کئی چیزیں روشنی سے زیادہ تیز رفتار سے حرکت کرتی ہے۔ ایک موم بتی کے سامنے چلتے ہوئے کیڑے کا سامنے دیوار پر سارے کی رفتار دیوار تک فاصلے کے راست مستجاب ہوگی اصولاً آپ اس فاصلہ کو اتنا بڑھا سکتے ہیں کہ سایہ کی رفتار روشنی سے زیادہ ہو شکل 12.4۔ تاہم دیوار پر کسی ایک نقطہ سے دوسرے نقطہ تک سایہ کوئی توانائی منتقل کر سکتا ہے اور نہ ہی کوئی خبر پہنچ سکتا ہے۔ نقطہ X پر ایک شخص ایسا کوئی عمل نہیں کر سکتا جو یہاں سے گزرتے ہوئے سارے کے ذریعہ نقطہ Y پر اثر انداز ہو۔

اس کے برعکس روشنی سے زیادہ تیز حرکت کرنے والے سبھی اثر و سوچ کے ناقابل قبول مضمرات ہو سکتے ہیں۔ خصوصی نظریہ اضافت میں ایسے جمودی چوکھٹ پائے جاتے ہیں جن میں اس طرح کا اشارہ وقت میں پیچھے جا کے گالیعی سبب سے پہلے اثر رونما ہوگا جس سے ناقابل قبول منتقلی مسائل کھڑے ہوتے ہیں۔ مثلاً آپ اپنے نوزادہ دادا کو قتل کر سکتے ہیں۔ جو ظاہر ہے ایک بری بات ہے۔ اب سوال یہ کھڑا ہوتا ہے کہ آیا روشنی سے تیز اثرات جن کی پیش گوئی کوانٹم میکانیات کرتی ہے اور جو ایپیکٹ کے تجربہ میں کشف ہتے ہیں ان معانوں میں سببی ہے یا یہ سارے کی حرکت کی طرح غیر حقیقی ہے جن پر فلسفیانہ اعتراضات نہیں لگائے جا سکتے ہیں۔

آئیں تجربہ بل پر غور کریں کریں۔ کیا الیکٹران کی پیمائش کا پوزیٹرون کی پیمائش پر اثر ہوگا یقیناً ایسا ہوتا ہے ورنہ ہم مواد کے بیچ باہم رشتہ کی وضاحت پیش کرنے سارے متاصر ہوں گے۔ لیکن کیا الیکٹران کی پیمائش پوزیٹرون کی کسی مخصوص نتیجہ کا سبب ہے؟ الیکٹران کاشف پر بیٹھا شخص اپنی پیمائش کے ذریعہ پوزیٹرون کاشف پر بیٹھے شخص کو اشارہ نہیں بھیج سکتا ہے چونکہ یہ اپنی پیمائش کے نتیجہ کو متاثر نہیں کرتا یہ الیکٹران کو ہم میدان ہونے پر

مجبور نہیں کر سکتا ہے جیسا نقطہ X پر کیڑا کے سارے پر وہ شخص اثر انداز نہیں ہو سکتا، ہاں الیکٹران کاشف پر بیٹھا شخص فیصلہ کر سکتا ہے کہ وہ پیمائش کرے یا نہ کرے تاہم پوزیٹرون کاشف پر بیٹھا شخص اپنی پیمائشی نتائج کو دیکھ کر یہ نہیں بتا سکتا کہ الیکٹران پر پیمائش کی گئی یا نہیں دونوں کاشف کے نتائج پر علیحدہ علیحدہ غور کرنے سے مکمل بلا واسطہ مواد دیکھنے کو ملتا ہے۔ صرف دونوں مواد کا ایک دوسرے کے ساتھ موازنہ کرنے سے ہمیں ان کے بیچ باہم رشتہ نظر آتا ہے کسی دوسرے جمودی چوکھٹ میں الیکٹران کی پیمائش سے قبل پوزیٹرون کی پیمائش کی جائے گی لیکن اس کے باوجود اس سے کوئی منتفی تضاد پیدا نہیں ہوتا۔ دیکھا گیا باہم رشتہ اس پر منحصر نہیں کہ ہم کہیں الیکٹران کی پیمائش پوزیٹرون کی پیمائش پر اثر انداز ہوتی ہے یا پوزیٹرون کی پیمائش الیکٹران کی پیمائش پر اثر انداز ہوتی ہے۔ یہ ایک نہایت نازک اور خوبصورت اثر ہے جو بلا واسطہ مواد کے بیچ باہم رشتہ کی صورت میں نظر آتا ہے۔

یوں ہمیں مختلف قسم کے اثرات کی بات کرنی ہوگی سبھی قسم جو وصول کنندہ کی کسی طبعی خاصیت میں حقیقی تبدیلیاں پیدا کرتا ہو جنہیں صرف ذیلی نظام پر تجرباتی پیمائش سے کشف کیا جاسکتا ہو اور آسمانی قسم جو توانائی یا معلومات کی ترسیل نہیں کرتا اور جس کے لیے واحد ثبوت دو علیحدہ ذیلی نظاموں کے مواد کے بیچ باہم رشتہ ہے۔ اس باہم رشتہ کو کسی بھی طرح کی ایک ذیلی نظام میں تجربات کے نتائج کو دیکھ کر کشف نہیں کیا جاسکتا ہے۔ سبھی اثرات روشنی کی رفتار سے تیز حرکت نہیں کر سکتے ہیں جبکہ آسمانی اثرات پر ایسی کوئی پابندی عائد نہیں۔ تضاد عمل فوج کی انہدام سے وابستہ اثرات مخز الذکر قسم کی ہے جس کا روشنی سے تیز سفر کا تاحیران کن ضرور ہو سکتا ہے لیکن تباہ کن نہیں ہے۔

۱۳۳ مسئلہ کلیہ

کو انٹرمیٹ پیمائش عموماً تباہ کن ہوتے ہیں یعنی یہ پیمائش کردہ نظام کے حال کو تبدیل کرتا ہے۔ یہی تجربہ گاہ میں اصول عدم یقینیت کو یقینی بناتا ہے ہم کیوں اصل حال کی کئی متضاد نقل وقل کلیہ بن کر اصل نظام کو چھوئے بغیر ان کی پیمائش نہیں کرتے ایسا کرنا ممکن نہیں ہے۔ اگر آپ کلیہ بنانے والا ایسا آلا بنا پائیں تو کو انٹرمیکانیات کو خداحافظ کہنا ہوگا۔

مثال کے طور پر آئنسٹائن، پوڈلسکی، روزن اور بوہم تجربہ کے ذریعہ روشنی سے تیز رفتار پر خبر بھیجنے ممکن ہوگا مندرجہ کرین پوزیٹرون کاشف چلانے والا شخص ہاں یا نہیں کی خبر ترسیل کرتا ہے۔ خبر ہاں ہونے کی صورت میں بھیجنے والا پوزیٹرون کا S_z ناپتا ہے یہ جاننے کی ضرورت نہیں کہ پیمائشی نتیجہ کیا ہے صرف اتنا جاننا ضروری ہے کہ پیمائش کی گئی ہے یوں الیکٹران کسی غیر مبہم حال \uparrow یا \downarrow میں ہوگا جس کا جاننا غیر اہم ہے۔ خبر وصول کرنے والا حبلہ ی سے الیکٹران کی دس لاکھ کلیہ تیار کر کے ہر ایک کی S_z ناپتا ہے اگر تمام کا ایک ہی جواب ہو تو جواب یہ جاننا ضروری نہیں ہم یقین سے کہہ سکیں گے کہ الیکٹران کی پیمائش کی گئی لحاظ خبر ہاں ہوگی۔ اس کے برعکس اگر نصف الیکٹران ہم میدان اور نصف خلاف میدان ہوں تب یقیناً الیکٹران کی پیمائش نہیں کی گئی اور خبر نہیں ہوگا۔

لیکن سن 1982ء وورٹز، زورک اور ڈانگس نے ثابت کیا کہ ایسا مشین تیار نہیں کیا جاسکتا ہے جو کو انٹرمیٹ متضاد ذرات پیدا کرتا ہو ہم چاہیں گے کہ یہ مشین حال $|\psi\rangle$ میں ایک ذرہ جس کا نقل وقل بنا مقصود ہو اور حال $|X\rangle$ |

میں ایک اضافی ذرہ لی کر حال $|\psi\rangle$ میں دو ذرات اصل اور نقل دیتا ہو

$$(۱۳.۱۳) \quad |\psi\rangle |X\rangle \rightarrow |\psi\rangle |\psi\rangle$$

معرض کریں ہم ایسا مشین بنانے میں کامیاب ہوتے ہیں جو حال $|\psi_1\rangle$ کا کلمہ تیار کرتا ہو

$$(۱۳.۱۴) \quad |\psi_1\rangle |X\rangle \rightarrow |\psi_1\rangle |\psi_1\rangle$$

اور $|\psi_2\rangle$ پر بھی کام کرنے کے متبادل ہو

$$(۱۳.۱۵) \quad |\psi_2\rangle |X\rangle \rightarrow |\psi_2\rangle |\psi_2\rangle$$

مثال کے طور پر اگر ذرہ ایک الیکٹران ہو تب $|\psi_1\rangle$ اور $|\psi_2\rangle$ ہم میدان اور خلاف میدان ہو سکتے ہیں۔ یہاں تک کوئی مسئلہ پیدا نہیں ہوتا یہ دیکھنا ہوگا کہ ان کا خطی جوڑ $|\psi\rangle = \alpha |\psi_1\rangle + \beta |\psi_2\rangle$ کی صورت میں کیا ہوگا؟ ظاہر ہے ایسی صورت میں درج ذیل ہوگا

$$(۱۳.۱۶) \quad |\psi\rangle |X\rangle \rightarrow \alpha |\psi_1\rangle |\psi_1\rangle + \beta |\psi_2\rangle |\psi_2\rangle$$

جو ہم نہیں چاہتے ہیں۔ ہم درج ذیل چاہتے ہیں

$$(۱۳.۱۷) \quad |\psi\rangle |X\rangle \rightarrow |\psi\rangle |\psi\rangle = [\alpha |\psi_1\rangle + \beta |\psi_2\rangle][\alpha |\psi_1\rangle + \beta |\psi_2\rangle] \\ = \alpha^2 |\psi_1\rangle |\psi_1\rangle + \beta^2 |\psi_2\rangle |\psi_2\rangle + \alpha\beta[|\psi_1\rangle |\psi_2\rangle + |\psi_2\rangle |\psi_1\rangle]$$

آپ ہم میدان الیکٹران اور خلاف میدان الیکٹران کے کلمہ بنانے کی مشین بنا سکتے ہیں لیکن وہ کسی بھی اہم خطی جوڑ کی صورت میں ناکامی کا شکار ہوگا یہ بالکل ایسا ہوگا جیسا نقل بنانے کی مشین اگلی لکیریوں اور انتہائی لکیریوں کی نقل خوش اصولی سے کرتا ہو لیکن وتری لکیریوں کو مکمل طور پر بگاڑتا ہو۔

۱۳.۴ شرودنگر کی ہلی

کوانٹم میکانیات میں پیمائش کا عمل ایک شرارتی کردار ادا کرتا ہے جس میں عدم تعینیت غیر مکامیرت تفاعل موج کا انہدام اور باقی تمام تصوراتی مشکلات رونما ہتی ہیں۔ پیمائش کی غیر موجودگی میں مساوات شرودنگر کے تحت تفاعل موج متبادل تعین طریقہ سے ارتقا کرتا ہے اور کوانٹم میکانیات کسی بھی سادہ نظریہ میدان کی طرح نظر آتا ہے جو کلاسیکی برقی حرکیات سے بہت سادہ ہوگا چونکہ دو میدان E اور B کی بجائے اس میں واحد ایک غیر سمتی ψ پایا جاتا ہے۔ یہ پیمائش کا عمل ہی ہے جو کوانٹم میکانیات میں عجیب و غریب کردار ادا کرتے ہوئے اس کو سمجھ سے باہر خواص سے نوازتا ہے۔ یہ پیمائش حقیقت میں ہے کیا؟ اسے گہرے طبعی عوامل سے کیا مفسر دینا ہے اور ہم کس طرح حبان سکتے ہیں کہ پیمائش کی گئی ہے؟

شعورنگر نے اپنے مشہر تضاد ہلی کے مفروضہ نے اس بنیادی سوال کو ہمیشہ کیا۔

ایک بلی کو فولاد کے ایک بند ڈبے میں بند کیا جاتا ہے اس ڈبے میں ایک گنگر گنت کار اور کسی تاب کار مادہ کی اتنی چھوٹی مقدار رکھی جاتی ہے جس کا ایک گھنٹہ میں صرف ایک جوہر کے تحلیل ہونے کا امکان ہوتا ہے یہ بھی ممکن ہے کہ کوئی جوہر تحلیل نہ ہو تحلیل کی صورت میں گنت کار اس ڈبے میں ایک زہریلی گیس چھوڑتا ہے۔ ایک گھنٹہ گزرنے کے بعد ہم کہہ سکتے ہیں کہ تحلیل نہ ہونے کی صورت میں یہ بلی زندہ ہوگی۔ پہلی تحلیل اس کو زہر سے مار دیتی۔ اس مکمل نظام کا تفاعل موج اس حقیقت کو ظاہر کرنے کے لیے زندہ اور مردہ بلی کے برابر حصوں پر مشتمل ہوگا۔

ایک گھنٹہ کے بعد بلی کا تفاعل موج درج ذیل روپ کا ہوگا

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{\text{زندہ}} + \psi_{\text{مردہ}}) \quad (13.18)$$

یہ بلی نہ تو زندہ اور نہ ہی مردہ ہے بلکہ پیمائش سے پہلے یہ ان دونوں کا ایک خطی جوڑ ہوگا یہاں کھڑکی سے اندر دیکھ کر بلی کا حال جاننے کو پیمائش تصور کیا جائے گا۔ آپ کا دیکھنے کا عمل بلی کو زندہ یا مردہ ہونے پر مجبور کرتا ہے ایسی صورت میں اگر بلی مردہ پائی جائے تو یقیناً اس کے زہدار آپ ہی ہیں چونکہ آپ نے کھڑکی سے دیکھ کر اسے قتل کیا۔

شرودنگر اس تمام کو ایک بکواس سے زیادہ نہیں سمجھتا تھا اور میرے خیال سے زیادہ تر ماہر طبیعیات ان کے ساتھ متفق ہیں۔ کلا بین اجسام کا دو مختلف حالات کی ایک خطی جوڑ کی صورت میں ہونے کا تصور بے معنی ہے۔ ایک الیکٹران تو ہم میدان اور خلاف میدان کے ایک خطی جوڑ کی صورت میں ہو سکتا ہے لیکن ایک بلی زندہ اور مردہ حالات کے ایک خطی جوڑ کی صورت میں نہیں ہو سکتی ہے۔ اس کو کو انٹرمیکانیات کی تقلید پسند تشریح کے ساتھ کس طرح ہم ابنگ بنایا جاسکتا ہے۔

شماریاتی مفہوم کے لحاظ سے مقبول ترین جواب یہ ہے کہ گنت کار کی گنتی پیمائش ہوگی ناکہ کھڑکی میں سے انسانی مشاہدہ پیمائش سے مراد وہ عمل ہے جو کلا بین نظام پر اثر انداز ہو جو یہاں گنت کار ہے۔ پیمائش کا عمل اس لحاظ پر رونما ہوگا جب حسد بین نظام جسے کو انٹرمیکانیات کے قوانین بیان کرتا ہے کلا بین نظام جسے کلاسیکی میکانیات کے قواعد بیان کرتے ہیں کے ساتھ اس طرح باہم عمل کرے جس سے دائمی تبدیلی رونما ہو۔ کلا بین نظام از خود منفرد حالات کی ایک خطی جوڑ کا مکین نہیں ہو سکتا ہے۔

۱۳.۵ کو انٹرمیڈیٹ تصاد

اس عجیب قصہ کی اہم ترین خاصیت تفاعل موج کا انہدام ہے۔ ایک پیمائش کے فوراً بعد دوسری پیمائش سے اسی نتیجہ کے حصول کی خاطر حلاوت نظریاتی بنیادوں پر اسے متعارف کیا گیا تھا یقیناً اس دور رس اصول موضوعہ کے قابل مشاہدہ اثرات بھی ہوں گے۔ مراد اور سردشان نے سن 1977 میں تفاعل موج کی انہدام کا ایک ڈرامائی تجرباتی مظاہرہ تجویز کیا جسے انہوں نے کو انٹرمیڈیٹ کا نام دیا۔ ان کا تصور یہ تھا کہ ایک غیر مستحکم نظام مثلاً ہیجان حال میں ایک جوہر کو بار بار پیمائشی عمل سے گزارا جائے۔ ہر ایک مشاہدہ تفاعل

موج کو منہدم کر کے گھسڑی کو دوبارہ صفرو سے چالو کرے گا اور یوں زیریں حال میں متوقع انتقال کو غیر معائنہ مدد تک روکا جاسکتا ہے۔

فرض کریں ایک نظام ہیجان حال ψ_2 سے آغاز کرتا ہے اور زمینی حال ψ_1 میں منتقلی کے لیے اس کا قدرتی عرصہ حیات τ ہے۔ عام طور پر τ سے کافی کم وقتوں کے لیے انتقالی احتمال وقت t کا راست متناسب ہوگا مساوات 9.42 دیکھیں چونکہ انتقالی شرح $1/\tau$ ہے لحاظ درج ذیل ہوگا

$$P_{2 \rightarrow 1} = \frac{t}{\tau} \quad (13.19)$$

وقت t پر پیمائش کرنے کی صورت میں بالائی حال میں نظام ہونے کا احتمال درج ذیل ہوگا

$$P_2(t) = 1 - \frac{t}{\tau} \quad (13.20)$$

درج کریں ہم دیکھتے ہیں کہ نظام بالائی حال میں ہی ہے ایسی صورت میں تفعل موج واپس ψ_2 پر منحصر ہوگا اور پورا عمل ایک بار نئے سرے سے دوبارہ شروع ہوگا۔ اگر ہم وقت $2t$ پر دوسری پیمائش کریں تب بالائی حال میں نظام ہونے کا احتمال درج ذیل ہوگا

$$\left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^2 \approx 1 - \frac{2t}{\tau} \quad (13.21)$$

جو وہی ہے جو اس صورت ہوتا اگر ہم پہلی پیمائش کرتے ہی نہیں سادہ سوچ کے تحت ایسا ہی ہونا چاہیے تھا۔ اگر ایسا ہی ہوتا تب نظام کا بار بار مشاہدہ کرنے سے کوئی فرق نہیں پڑتا اور سہمی کو انہم زینو اثر پسیدہ ہوتا تاہم بہت قلیل وقت کی صورت میں انتقالی احتمال وقت t کے بجائے t^2 کا راست متناسب ہوگا 9.39 دیکھیں

$$P_{2 \rightarrow 1} = \alpha t^2 \quad (13.22)$$

ایسی صورت میں دو پیمائشوں کے بعد بھی نظام کا بالائی حال میں ہونے کا احتمال درج ذیل ہوگا

$$\left(1 - \alpha t^2\right)^2 \approx 1 - 2\alpha t^2 \quad (13.23)$$

جبکہ پہلی پیمائش نہ کرنے کی صورت میں اب احتمال درج ذیل ہوتا

$$1 - \alpha(2t)^2 \approx 1 - 4\alpha t^2 \quad (13.24)$$

آپ دیکھ سکتے ہیں کہ وقت t گزرنے کے بعد نظام کے مشاہدہ کی بنیادیں حال میں منتقلی کا احتمال کم ہوا ہے۔

یقیناً $t = 0$ سے لیکر $t = T$ تک n برابر وقف $T/n, 2T/n, 3T/n, \dots, T$ پر نظام کا مشاہدہ کرنے کی وجہ سے اس دورانیہ کے آخر میں بھی نظام بالائی حال میں پائے جانے کا احتمال درج ذیل ہوگا

$$\left(1 - \alpha(T/n)^2\right)^n \approx 1 - \frac{\alpha}{n} T^2 \quad (13.25)$$

جو $\infty \rightarrow n$ کی حد میں 1 تک پہنچتا ہے ایک غیر مستحکم نظام جس کا مسلسل مشاہدہ کیا جائے کبھی بھی تحویل نہیں ہوگا بعض مصنفین اس ماحوز سے اتفاق نہیں کرتے اور ان کے نزدیک یہ تفاعل موج کے انہدام غیر درست ہونے کا ثبوت ہے۔ تاہم ان کے مدلائل مشاہدہ کے مفہوم کی عنایت تشریح پر مبنی ہے اگر بلا حسانہ میں ایک ذرہ کی راہ کو مسلسل مشاہدہ کرار دے دیا جائے تب یہ بالکل درست ہوں گے چونکہ ایسی ذرات یقیناً تحویل ہوتے ہیں اور ان کا عرصہ حیات پر کاشف کا متاثری پیشائش اثر نہیں پایا جاتا ہے تاہم ایسا ذرہ حسانہ کے اندر جوہروں کے ساتھ حاد و حوال باہم عمل کرتا ہے جبکہ کو انٹیم زیو اثر کے لیے ضروری ہے کہ ایک بعد دیگر پیشائشوں کے بیچ وقفہ اتنا کم ہو کہ نظام کو t^2 خطہ میں پکڑا جائے۔

ہم دیکھتے ہیں کہ خود بخود انتقال کی صورت میں یہ تجربہ عملاً ممکن نہیں ہے۔ تاہم پیدا کردہ انتقال کی صورت میں نتائج کا نظریاتی پیش گوئی کے ساتھ مکمل اتفاق پایا جاتا ہے۔ بد قسمتی سے یہ تجربہ تفاعل موج کی انہدام کا ختمی ثبوت پیش نہیں کر سکتا ہے اس مشاہدہ کے دیگر وجوہات بھی دئے جا سکتے ہیں۔

میں نے اس کتاب میں ایک ہم اہنگ اور بلا تصاد کہانی پیش کرنے کی کوشش کی ہے تفاعل موج ψ کسی ذرہ یا نظام کے حال کو ظاہر کرتا ہے۔ عمومی طور پر ای کذرہ کسی مخصوص حرکی حناصیت مثلاً مکام معیار حرکت توانائی زاویائی معیار حرکت وغیرہ کا حامل نہیں ہوتا اس وقت تک جب پیشائشی عمل مداخلت نہ کرے کسی ایک تجربہ میں حاصل ایک مخصوص قیمت کا احتمال ψ کی شماراتی مفہوم تعین کرتا ہے۔ پیشائشی عمل سے تفاعل موج منہدم ہوتا ہے جس کی بنا فوراً دوسری پیشائش لائٹما وہی نتیجہ دیگی۔ اگرچہ دیگر تشریحات مثلاً غیر مکامی در پردہ متغیر نظریات متعدد کائنات کا تصور بلا تصاد تاریخیں سگرہ نمونے وغیرہ بھی پائے جاتے ہیں لیکن میں یقین کرتا ہوں کہ یہ سب سے سادہ ہے جس سے عموماً ماہر طبیعیات اتفاق کرتے ہیں۔ یہ ہر تجربہ سے کامیابی سے ابھرا ہے تاہم یہ کہانی کا اختتام نہیں ہے ہمیں پیشائشی عمل کے بارے میں اور انہدام کے طریقے کار کے بارے میں بہت کچھ جاننا ہے عین ممکن ہے کہ آنے والے نسلیں زیادہ پیچیدہ نظریہ جانتے ہوئے سوچتے ہوں کہ ہم اتنا سادہ کیسے ہو سکتے تھے۔

جوابات

فهرست

54relation,	allowed
energy	26energies,
22allowed,	51 argument,
31conservation,	Bessel
13ensemble,	99function,spherical
expectation	107energy,binding
6value,	Bohr
formula	106radius,
16Broglie,De	106formula,Bohr
Fourier	25conditions,boundary
52transform,inverse	98term,centrifugal
52transform,	83states,coherent
Frobenius	4collapses,
45method,	commutation
function	36relation,canonical
59delta,Dirac	90relations,canonical
generalized	36commutator,
59distribution,	28complete,
59function,	77continuous,
generating	90continuum,
50function,	coordinates
generator	91spherical,
86space,intranslation	3interpretation,Copenhagen
86time,intranslation	75degenerate,
Gram-Schmidt	delta
79process,orthogonalization	28Kronecker,
21Hamiltonian,	Dirac
harmonic	80orthonormality,
25oscillator,	77discrete,
	dispersion

- 3realist,
- 12potential,
- 97effective,
- probability
- 8density,
- quantum
- 105number,principle
- numberquantum
- 96azimuthal,
- 96magnetic,
- 99numbers,quantum
- 97equation,radial
- recursion
- 46formula,
- reflection
- 64coefficient,
- 73time,revival
- Rodrigues
- 49formula,
- 94formula,Rodrigues
- Rydberg
- 113constant,
- 113formula,
- Schrodinger
- 20time-independent,
- 1align,Schrodinger
- series
- 113Balmer,
- 28Fourier,
- 113Lyman,
- 113Paschen,
- 35power,
- 34Taylor,
- spherical
- 96harmonics,
- 11square-integrable,
- 7deviation,standard
- state
- 58bound,
- 113Helium,
- Hermitian
- 40conjugate,
- 3variables,hidden
- 2indeterminacy,
- ladder
- 38operators,
- Laguerre
- 108polynomial,associated
- 108polynomial,
- 90Laplacian,
- law
- 34Hooke,
- Legendre
- 94associated,
- linear
- 22combination,
- 113Lithium,
- 6mean,
- 6median,
- 14momentum,
- Neumann
- 99function,spherical
- 27node,
- 10normalization,
- 14operator,
- 38lowering,
- 38raising,
- 27orthogonal,
- 28orthonormal,
- Planck's
- 113formula,
- polynomial
- 48Hermite,
- position
- 3agnostic,
- 3orthodox,

اتاقی	27excited,
حالات، 83	107,27ground,
اجزائی	58scattering,
توانائیاں، 26	statistical
استمراری، 77	2interpretation,
استمراریہ، 90	66function,step
اصول	theorem
عدم یقینیت، 16	28Dirichlet's,
انتشاری	15Ehrenfest,
رشتہ، 54	52Plancherel,
انخطاطی، 75	112transition,
انعکاس	transmission
شرح، 64	64coefficient,
اوسط، 6	65,58tunneling,
بقا	58points,turning
توانائی، 31	16principle,uncertainty
بندشی توانائی، 107	variables
بوہر	19of,separation
رداس، 106	7variance,
کلیہ، 106	velocity
بیل	54group,
کروی تقاعزل، 99	54phase,
پلانک	wave
کلیہ، 113	64incident,
پیداکار	52packet,
فضا میں انتقال کا، 86	64reflected,
وقت میں انتقال، 86	64transmitted,
پیداکار	1function,wave
تقاعزل، 50	16wavelength,
تبادلہ	
باضابطہ رشتہ، 36	
باضابطہ رشتہ، 90	
تبادلہ کار، 36	
تجدیدی عرصہ، 73	
ترسیل	
شرح، 64	
تسل	
المہ، 113	
پاشن، 113	

- ساکن
حالات، 21
سرحدی شرائط، 25
سرنگ زنی، 58، 65
سگرا، 13
سوچ
انکاری، 3
تقلید پسند، 3
حقیقت پسند، 3
سیڑھی
عاملین، 38
سیڑھی تفاعل، 66
شروڈنگر
غیر تابع وقت، 20
شروڈنگر تصویر کشی، 86
شروڈنگر مساوات، 1
شماریاتی مفہوم، 2
طول موج، 16، 113
عامل
تقلیل، 38
رفت، 38
عبور، 112
عدم تعین، 2
عدم یقینیت اصول، 16
عندرو، 27
علیحدگی متغیرات، 19
عمودی، 27
معیاری، 28
غیر مسلسل، 77
منرو وینوس
ترکیب، 45
فوریسر
الٹ بدل، 52
بدل، 52
قابل تکامل مربع، 11
قانون
- ٹیلر، 34
طامتی، 35
فوریسر، 28
لیمان، 113
تغییریت، 7
تفاعیل
ڈیلٹا، 59
تفاعیل موج، 1
توالی
کلیہ، 46
توانائی
اجزائی، 22
توقعاتی
قیمت، 6
جفت
تفاعیل، 24
حال
بکھراؤ، 58
زمینی، 27، 107
مقید، 58
ہیجان، 27
خطی جوڑ، 22
خفیہ متغیرات، 3
دلیل، 51
ڈیراک
معیاری عمودیت، 80
ڈیلٹا
کرونیگر، 28
رداسی مساوات، 97
رڈبرگ، 113
کلیہ، 113
رفتار
دوری سستی، 54
گروہی سستی، 54
روڈریگیس
کلیہ، 94

- 34، ہا
 کثافت
 8، احتال
 کشیر رکنی
 ہرمانٹ، 48
 کروی
 ہارمونیات، 96
 کلیہ
 ڈی پروگ، 16
 روڈریگیس، 49
 کوانٹم
 صدر عدد، 105
 کوانٹائی اعداد، 99
 کوانٹائی عدد
 استی، 96
 مقناطیسی، 96
 کوپن ہیگن مفہوم، 3
 گرام شمہ
 ترکیب عمودیت، 79
 گر کر، 4
 لاپلاسی، 90
 لاگ
 شریک کشیر رکنی، 108
 کشیر رکنی، 108
 تقسیم، 113
 لیوڈور
 شریک، 94
 متمم
 تقنا عمل، 59
 تقسیم، 59
 محمد
 کروی، 91
 مخفیہ، 12
 موثر، 97
 مرتعش
 ہارمونی، 25
 مرکز گریز حبز، 98
 مسئلہ
 اہر نفٹ، 15
 پلانشرال، 52
 ڈرٹلے، 28
 معمول زنی، 10
 معیار حرکت، 14
 معیار عمودی، 28
 معیاری انحراف، 7
 مکمل، 28
 موج
 آمدی، 64
 ترسیلی، 64
 منعکس، 64
 موجی اکھ، 52
 نیومن
 کروی تقنا عمل، 99
 واپسی نقاط، 58
 وسطانیہ، 6
 ہارمونی
 مرتعش، 25
 ہر مشی
 جوڑی دار، 40
 ہیزنبرگ تصویر کشی، 86
 ہیلم، 113
 ہیملٹنی، 21