

U.33-144

"Für Wien,
März 1958"

Ms. beendet:
24.I. 1958

Ms. "Ist vielleicht auch der Energiesatz ^{nicht} statistisch sinnvoll?"

wo veröff.?

in engl. Sprache, mit kleinen

Änderungen:

might perhaps Energy be a merely
Statistical Concept?

in: Nuovo Cimento, vol. IX,
p. 162 - 170 (1958)

Ms. dazu in pack. 11, n. 7

Wahrscheinlich VORTRAG

sicher, nach Aussagen von Sekret. Chef Frank u. Prof. Leop. Halpern;
vor der "Physikal.-Chem. Gesellschaft" und der "Österr. Physikal. Ges."

~~Einladungskarte~~

☐: Einladungskarte zugleich Einladungskarte
"Ist viell. auch der E. bloß statist. sinnvoll?"

Brief, in dem E.S. erklärt, warum "auch", nämlich in bezug auf den Begriff Entropie

Zu dieser Abh. bezug. Auffassung E. Ss. haben mehrere Leute sich geäußert.

gr. Hörsaal des II. Phys. Inst. 78 Uhr



Ist vielleicht auch der Energiesatz nur
statistisch sinnvoll?

Die vorherrschende Meinung ist wohl: Nein. Sie stützt sich wohl darauf, daß die Erhaltung von Energie und Impuls auch für den einzelnen Stoßimpuls in allen untersuchten Fällen experimentell bestätigt wird. Zuerst beim Comton^p-effekt. Dann bei einer großen Zahl verschiedener Stoßprozesse, die z.B. in der Wilson'schen Nebelkammer fixiert und analysiert werden konnten. Es scheint mir eben, daß in allen Fällen die einfache Auslegung hinreicht, die ich vor 30 Jahren (1927) für den Compton-effekt vorgebracht habe: Reflexion einer fortschreitenden Welle an einer anderen. Die Sache ist wohlbekannt von der Reflexion monochromatischen Lichtes an Ultraschallwellen in einer Flüssigkeit oder auch (was fast dasselbe ist) an den ebenen Wellenzügen, in welche die Wärmebewegung in der Flüssigkeit sich zerlegen läßt (Leon Brillouin). Der Mathematische Apparat kommt hinaus auf das Bragg'sche Reflexionsgesetz für Röntgenstrahlen an einer Kristallebenen-Schar, ergänzt durch das Dopplerprinzip für Reflexion am bewegten Spiegel. Ich kann das hier nicht näher ausführen, weil mir sonst keine Zeit bliebe, das zu sagen, was ich eigentlich will.

Der erste, der die Sinnlosigkeit des Energiesatzes im Kleinen ahnte und seine Zweifel sehr deutlich aussprach, war Franz Exner in seinen Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften (Wien, Deuticke 1919). Das war 6 - 7 Jahre vor der Quanten- oder Wellenmechanik. Durch diese, sobald sie akzeptiert war, wurde es äußerst unwahrscheinlich, daß der Inhalt des Satzes als scharfe Aussage seinen Sinn behalte, daß er sinnvoll bleibe. Denn der Energiebegriff stammt aus der sogen. klassischen Mechanik (Galilei, Newton) u.zw. von einer dort auftretenden Integrationskonstante. Nun ist das Denkbild der klassischen Mechanik bloß eine Näherung und wird ganz sicher unzutreffend im Kleinen, in räumlichen Dimensionen von der Größenordnung λ . Die Bewegung von Elementarteilchen - falls dieser Begriff überhaupt erhalten bleibt - wird durch dieses Denkbild

auch nicht annähernd erfaßt. Daß der Begriff der Energie ~~als~~ als einer strengen Konstante - und damit der Begriff des Energieaustausches - in diesem Gebiet trotzdem sich bewähren sollte, ist somit einmal jedenfalls recht unwahrscheinlich.

Man wird erinnert an den ^{tran}Energiesatz, zunächst der phänomenologischen Thermodynamik: für ein isoliertes System sollte die Entropie stets zunehmen. Die statistische Thermodynamik, indem sie diesen Satz erst verständlich machte, hob ihn zugleich auf. In doppelter Weise. Erstens trifft er für Systeme mit weniger Freiheitsgraden wirklich nicht mehr zu, ja die Entropie ist da kaum mehr recht definierbar. Zweitens (und das ist noch wichtiger) gilt er auch für große Systeme gar nicht mehr wegen des logischen Widerspruchs, den es involviert, einseitige Gerichtetheit des Geschehens aus reversiblen Modellen zu deduzieren. Man muß die Zeitrichtung durch den Entropiesatz definieren. Wir stoßen auf die Probleme des Zeitbegriffs.

Nach den neueren Untersuchungen hat nun 1.) auch die Energie etwas mit der Zeit zu tun, freilich nicht mit ihrem Richtungssinn, aber eine ^{sub}Unärfelation verknüpft $\Delta \xi$ und Δt ; 2.) gibt es grundsätzlich kein isoliertes System, in welchem von Konstanz der Energie die Rede sein könnte, weil sich die Wechselwirkung mit der allgemeinen Wärmestrahlung grundsätzlich nie ausschalten läßt.

Wenn man nun nach (1) - das ist die übliche, oft gehörte ~~Interpretation~~ Interpretation - eine ∞ lange Zeit braucht, um den exakten Wert der Energie festzustellen, dann ist wirklich schwer einzusehen, wie man hinterher auch noch soll feststellen können, daß dieser Wert sich mit der Zeit nicht verändert! Dazu ist noch, nach (2), in absehbar kurzer Zeit Wechselwirkung mit der Strahlung zu gewärtigen d.h. (klassisch gedacht) eine Veränderung des Energiewertes. - Nun könnten Sie denken, daß ich hier etwas boshaft auf die Spitze treibe, was man nicht soll, und daß es in Wirklichkeit nicht so schlimm ist. Aber warten Sie, es kommt bald schlimmer.

Als Funktion des Phasenraumes (p_k, q_k) ist die Energie schon deshalb nie bestimmt, weil nach den Unbestimmtheitsrelationen kein Phasenpunkt genau bestimmbar ist. Was macht nun der Quanten-

statistiker in dieser Notlage? Er denkt sich die Energie-Eigenwertgng (oder Amplitudengng. oder zeitunabhängige Schrödingergng.) hingeschrieben oder schreibt sie wohl auch wirklich hin; die bestimmt gewisse Eigenwerte der Frequenz; die multipliziert er mit h und erklärt sie als die "einzig zulässigen" Energiewerte, genau à la Bohr 1913. Dieses Energiespektrum tritt eigentlich an die Stelle des Phasenraums von Boltzmann und Gibbs. Gewicht - höchst einfach, gleich für jeden einfachen Eigenwert. Stimmt ostensibel vortrefflich mit der Erfahrung, widerspricht bloß den Grundlagen der Quantenmechanik. Nämlich die privilegierten Quantenniveaus liegen bekanntlich gerade genau so dicht, daß man sie nach der Unbestimmtheitsrelation gerade kaum mehr unterscheiden kann. Nämlich jedes Quantenniveau hat um sich-oder vertritt - ein Phasenvolumen.

$\int \dots (\&f) \int dq_1 \dots dp_f = h^f$. (f = Zahl der Freiheitsgrade)
 und für jedes Paar q_k, p_k gilt die Unbestimmtheit $\Delta q_k \Delta p_k \gg \frac{h}{2\pi}$
 Das heißt diese "Domäne" grenzt gerade an die Domänen der Nachbar-Energie=Werte. Sie schwimmen also. Das 2π rettet die Situation nicht. Eine scharfe Aussonderung solcher Energieniveaus widerspricht der U. R. Scharf sind nach Ausweis der Spektren u.s.w. die Frequenzen. Das ist etwas anderes. Meist wird behauptet, das ~~sie~~^{sei} dasselbe - aufgrund einer (seit 1900) eingewurzelten Denkgewohnheit, die abzulegen sein wird.

Wie man auch ohne solche Absurdität zu einer die Erfahrung deckenden Quantenstatistik gelangt, habe ich schon zweimal auseinandergesetzt (ohne viel Gegenliebe zu finden), zuerst 1927 (Ann.d.Phys.), dann wieder 1952 (2.Aufl.meiner Statistical Thermodynamics). Ich kann es hier nicht wiederholen, weil sonst die Zeit nicht reicht.

Ich wende mich einer neuen Frage zu, vielmehr der Beantwortung eines naheliegenden Einwands: Ist denn nicht eine Eigenfunktion eines scharf bestimmten Energiewerts anzusehen als Beschreibung eines Zustandes, in dem das System diese scharf bestimmte Energie besitzt? Nein - Warum nicht?

Durch die Energie allein, oder durch sie zusammen mit einer Handvoll von Parametern wie etwa Gesamtvolumen u.dgl. ist der Zustand eines Systems noch nicht bestimmt, sondern höchstens

vielleicht der thermodynamische Gleichgewichtszustand, den es, sich selbst überlassen, erreichen würde. Mit anderen Worten, das System kann dieselbe Energie noch auf sehr viel verschiedene Arten "beherbergen", worunter sich thermodynamische Gleichgewichtszustände befinden, aber auch solche, die vom Gleichgewicht weit entfernt sind, z.B. mit erheblichen Temperaturgradienten oder/und un-ausgeglichenen Druck-, Dichte-, Konzentrationsverteilung. Diesem empirischen Sachverhalt scheint nun auf Seite der Theorie genüge getan, da in einem solchen Fall der betreffende Energieeigenwert hochgradig entartet sein wird. Man kann sich also denken, daß bei geeigneter Bestimmung der sehr vielen zu demselben Eigenwert gehörigen Eigenfunktionen eine völlige Entsprechung sich erzielen läßt zwischen den letzteren und den empirischen Zuständen; natürlich keine eindeutige Zuordnung (aus naheliegenden Gründen), aber doch so, daß jeder empirische Zustand durch mindestens eine Eigenfunktion repräsentiert wird.

Allein diese Vermutung ist in faustdickem Widerspruch mit der Erfahrung. Ein Nicht-gleichgewichtszustand kann niemals durch eine Energieeigenfunktion repräsentiert werden. Denn bei scharfer Energie ist ein Quantensystem "völlig tot". Es verändert sich nichts darin. Alles ist zeitunabhängig. Fände eine solche Entsprechung statt, so wäre unser System in einen richtigen Dornröschenschlaf verfallen, eingefrorene Temperatur- und Konzentrationsgradienten, chemische Reaktionen mitten im Gang stillstehend, nicht zu reden von einem fallenden Ziegelstein, der durch Zauberkraft in der Luft hängenbleibt, einer Ediosendung aus Wien, die den Empfänger in Linz nicht erreicht, einem Atombombenpilz, der sein Zerstörungswerk nicht fortsetzt - bis zum berühmten Koch, der den vor Schreck erstarrten Küchenjungen mit seiner zur Watschen gezückten - aber gleichfalls wie leblos eingefrorenen Rechten hundert Jahre lang bedroht.

Also das geht natürlich nicht. Alles wirkliche Geschehen, obwohl es nach klassischer Auffassung in einem System von scharf bestimmter Energie sich vollzieht, kann quantenmechanisch nur dargestellt werden durch eine Zustandsfunktion, die nicht Eigenfunktion zu einem Frequenzwert ist, sondern aus einem linienreichen (wenn auch auf ein schmales Gebiet beschränkten) Spektrum

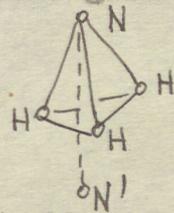
besteht. Der mathematische Sachverhalt ist sehr ähnlich dem, den man man vom berüchtigten Wellenpaket her kennt - aber das ist bloß eine mathematische Analogie.

Darnach scheint es mir ziemlich klar, daß ein einzelnes Produkt

$$h\nu \quad h\nu$$

mit so etwas wie Energie noch nichts zu tun hat, so wenig wie etwa eine einzelne ebene Welle mit so etwas wie dem Ort eines Elektrons oder gar Photons.

Übrigens ist die ganze Sache nicht neu, sondern seit etwa 30 Jahren bekannt, u.zw. am besten bekannt aus ihrem Widerspiel, nämlich: daß Zustände, welche der klassischen Physik ohne weiteres als Gleichgewichtszustände sehr einfacher Systeme galten, quantenmechanisch keine sind. Z.B. das NH_3 - Molekül, eine gleichseitige Pyramide (Ammoniak). Quantenmechanisch scheint Entartung vorzuliegen, denn das N könnte sich auch bei N' befinden. Es ist aber nicht ganz so. Weder zu der N - Lage, noch der N' - Lage gehört eine Energiefunktion. Vielmehr gibt es deren allerdings zwei, die aber zu etwas verschiedenen Eigenwerten gehören. Keine davon entscheidet sich in der Alternativen N, N'. Sie unterscheiden sich überhaupt nur dadurch, daß die eine symmetrisch, die andere antisymmetrisch ist bezüglich der Ebene der drei H-Atome. Durch passende Superposition beider läßt sich sowohl die N - Lage wie die N' - Lage darstellen. Keine davon ist aber permanent, sondern wegen der, wenn auch sehr geringen, Frequenzdifferenz gehen sie schwebungsmäßig ineinander über.



Noch interessanter ist der Fall, wo die zwei Situationen stereoisomer sind. Da gehört weder zur R-Situation noch zur L-Situation eine echte Eigenfunktion, sondern jede der beiden Eigenfunktionen ist racemisch, aber in ganz verschiedener Art und darum sind sie ein ganz klein wenig gegenseitig "verstimmt".

Ich kannte diese schon lange bekannten Dinge das Widerspiel meiner früheren Erklärung. Früher hob ich hervor, daß ein empirischer thermodynamischer Nichtgleichgewichtszustand (z.B. ein Gas mit Temperaturgradient) nicht adäquat durch eine einzelne Energieeigenfunktion dargestellt werden kann, weil eine solche die

beobachtete zeitliche Veränderlichkeit nicht wiedergibt; bei den letzten Beispielen (etwa ein Häufchen Dextrose, das auch in einem Jahr nicht razemisiert) handelt es sich um empirische Gleichgewichtszustände, welche - selbst sie - durch Superposition etwas verschieden frequenter Eigenfunktionen dargestellt werden müssen, also sub specie aeternitatis oder in Wirklichkeit gar kein Gleichgewicht sind.

Was übrigens diese Wirklichkeit, die reale Außenwelt, angeht, so wird uns Gegnern der KopenhagenerKomplementaritäts-Objekt-Subjekt-Philosophie regelmäßig vorgeworfen, daß wir zu Unrecht nach einem Bilde der Wirklichkeit, der Welt, wie sie an sich ist, verlangen, ohne Beziehung auf das wahrnehmende Subjekt. Wir verschließen uns, so heißt es, der neu herangebrochenen Erkenntnis, daß es dies nicht geben kann, daß nicht bloß die Gegenstände uns, sondern auch wir die Gegenstände merklich, aber unkontrollierbar beeinflussen u.s.w.

Man braucht nun aber das dringende Verlangen nach einer für alle gültigen Vorstellung der raumzeitlichen Welt, zu der unsere Leiber gehören, nicht ontologisch zu fassen; das wäre wirklich unwissenschaftlich. Seit Demokrit bis zu Bertrand Russell ist immer wieder einzelnen Denkern ins Bewußtsein getreten, daß unser Denkendes, fühlendes u.s.w. Ich und die Körperwelt aus denselben Elementen bestehenden, bloß in anderer Anordnung und Zusammenfassung; jedenfalls ist die Raum-Zeit-Welt nur aus Ich-Bestandteilen aufgebaut. Sie ist gekennzeichnet als das allen Gemeinsame, von allen gesunden Vollsinnigen gleichermaßen Anerkannte. Das unterscheidet sie von Traumbildern und Halluzinationen, aber auch von Kopfschmerz, Bauchweh, dem Wohlgeschmack einer über meine Zunge gleitenden Auster, Kaviar u.dgl.

Nur diese Gemeinsamkeit - nichts sonst - diese Gemeinsamkeit, die merkwürdig genug ist, charakterisiert die reale Außenwelt. Wir wenden dieses Kriterium praktisch an (Ich höre ein Summen; hörst Du es auch? Summt der Ofen? Oder ist es bloß in meinem Ohr? - Vergl. auch Faust, Osterspaziergang, das Auftauchen des Pudels.) Die Kopenhagener Erkenntnistheorie anerkennt dieses Kriterium nicht; schlimmer, sie kümmert sich nicht darum. Sie ist die Physik eines Solipsisten. Das drückt sich schon rein

sprachlich aus. Es heißt selten: wir finden... wir messen...; viel häufiger: Der Beobachter stellt fest, ich finde Singular, statt Plural. Begreiflich. Das eine Lichtquant, das mir etwa in γ - Strahl-Mikroskop den Ort eines Elektrons enthüllen soll, langt ja kaum für mich, geschweige für mehrere.

Spaß beiseite. Ich verliere nicht Zeit mit dem abgedroschenen Belächeln der These, daß der Zustandsvektor (oder die Ψ - Funktion) sich sprunghaft ändere, wenn "ich" einen Registrierstreifen ablese. (Ein Anderer liest ihn nicht ab, für ihn behält sie den früheren Wert.) Die Kopenhagener Schule verwahrt sich gegen dieses Lächeln: Die Ψ - Funktion beschreibe eben nicht den Zustand des Objekts, sondern sein Verhältnis zum Subjekt (Singular!). Vergleichen Sie bitte mit dem Begriff der Entropie. Die Entropie eines bestimmten Gaskörpers hat einen bestimmten Wert für den, der bloß dessen Energie und Volumen kennt (nämlich etwa: Logarithmus des Phasenvolumens bis zu diesem Wert der Energie); Die Entropie hat einen anderen Wert für den, der auch die (inhomogenen) Temperaturverteilung in dem Gaskörper kennt. Dennoch ist Niemandem je eingefallen, in der Entropie nicht eine Eigenschaft des Objekts zu sehen, sondern zu faseln: sie drücke bloß "meine" Kenntnis vom Objekt aus (das mag man entweder von allen Maßwerten der Physik behaupten - oder von keinem; das ist belangloser Privatgeschmack.)

Wir haben das Bedürfnis nach einer vollständigen Beschreibung der Raumzeitwelt und halten die Unmöglichkeit davon noch lange nicht für erwiesen. Das heißt nicht, daß wir gegen den Stachel der Unbestimmtheitsrelation löcken wollen. Nein. Es soll bloß die Beschreibung eines gedachten Objekts alles enthalten können - irgendwie enthalten können - was davon von irgendwem irgendwie beobachtet werden könnte; nicht etwa bloß den Niederschlag von Simultanbeobachtbarem. Ernst Mach nennt das "Ergänzung der Tatsachen in Gedanken". Genau wie wir etwa die räumliche Gestalt eines festen Körpers lieber nicht bloß durch einige perspektivische Zeichnungen vermitteln, sondern eben durch eine räumliche Vorstellung - obwohl wir in jedem Augenblick bloß eine perspektivische Ansicht davon erblicken können. (Anderes Beispiel: 100M-Schein, abends in die Lade gesperrt, morgens herausgenommen, durch nächtlich unbeobachteten 100M-Schein gedanklich ergänzt.)

Es handelt sich jetzt nicht darum, ob die Wellenfunktion (der Zustandsvektor) die vollständige Beschreibung liefert. Es ist schon oft, und neulich wieder einmal, gesagt worden, man soll bei einer physikalischen Theorie nicht fragen, ob sie einmal eine Abänderung erfahren wird, sondern: in welcher Richtung wohl? Es handelt sich vielmehr darum, wann und soferne und solange sie dafür angesehen wird, ist sie die "reale Außenwelt" und nicht etwa bloß eine Wahrscheinlichkeitsfunktion (zwecks "Vorhersage"), welche (Lord Keynes) vom jeweiligen Stand unserer Kenntnisse abhängt und sich sprunghaft ändert, wenn einer (wer?) einen Registrierstreifen abliest - sie schwebt nicht im luftleeren Raum zwischen Subjekt und Objekt, es hat Sinn zu fragen, welches ist jetzt die Wellenfunktion - gleichviel ob die Frage sich beantworten läßt u.s.w.

Daß die derzeit beliebte Zuordnung zwischen Wellenfunktion und Beobachtung fehlerhaft, habe ich oben am Beispiel der Energie zu zeigen versucht. Hier muß ich mit Nachdruck widersprechen einer Äußerung von L. Rosenfeld, neulich in Bristol: bei einer mathematisch voll ausgearbeiteten, widerspruchsfreien, in sich geschlossenen physikalischen Theorie, könne man nicht sinnvoll von etwaiger Abänderung der Interpretation sprechen, denn eine solche Theorie trage ihre Deutung schon in sich. - Das ist ein Unsinn. Mir fiel dabei ein Wort Einsteins ein (im Privatgespräch mit mir, als wir über die Schloßbrücke schlenderten), welches das genaue Gegenteil vertritt; er sagte lächelnd: Jede Theorie ist richtig, wenn man bloß ihre Rechengrößen denen der Beobachtung in passender Weise zuordnet.

Rosenfelds Ausspruch ist ein Warnungssignal. Nicht darum geht es heute, ob diese oder jene Auffassung die bessere ist, vielmehr um die Gefahr einer fortschreitenden Verengung des Blickfelds, sozusagen eines geistigen Glaukoms.

(Ende. 24. I. 1958)

Сейкэм Харрпост 1935