

Der Quantentod des Universums

Trägheit, Raum-Zeit-Struktur, Quantenphysik, Machsches Prinzip und Feldtheorie

Klaus Retzlaff

Zusammenfassung: Weil die Trägheit die mathematischen Grundstrukturen der Physik bestimmt, ist die Analyse, wie der Trägheitsbegriff die verschiedenen fundamentalen Theorien formt von zentraler Bedeutung für das physikalische Weltverständnis. Die Analyse und insbesondere die Einbeziehung der Quantenphysik in die Betrachtungen führt zu dem Ergebnis, dass sowohl der frühere dichte Zustand des Universums, als auch die Zukunft desselben, sich grundlegend von den bisherigen Vorstellungen unterscheiden müssen, wenn das so genannte Machsche Prinzip physikalische Realität ist. Die frühere dichte Phase des Kosmos wäre dann durch eine Subpression der Quanteneigenschaften gekennzeichnet, während der späte unserer üblichen Vorstellung und Messung zugängliche Kosmos den Quantentod erleidet und damit zugleich übermakroskopische Strukturbildungen, ähnlich denen der Bildung von Atomen, vor sich gehen können.

Der Trägheitsbegriff ist bestimmend für das Raum-Zeit-Konzept der jeweiligen mechanischen oder physikalischen Theorie. In der Newtonschen Dynamik folgt aus dem absoluten Charakter der trägen Masse Newtons absoluter Raum und Newtons absolute Zeit. Diese absoluten Bestimmungen (Raum für sich und Zeit für sich) kommen in der Existenz zweier unabhängiger Erhaltungssätze für Energie und Impuls zum Ausdruck. Die Reduktion der beiden Erhaltungssätze auf einen einzigen summarischen Erhaltungssatz führt unmittelbar auf eine 4-dimensionale Raum-Zeit-Union mit einer konstanten maximalen Fundamentalgeschwindigkeit für alle Wechselwirkungen und zur Äquivalenz von Trägheit und Energie sowie einer Variabilität der Trägheit. Der Trägheitsbegriff ist dabei bestimmend für die Kausalstruktur der Welt. Bei oberflächlicher Betrachtung steht die Quantenmechanik bis heute in einem prinzipiellen fundamentalen Widerspruch zu den Kausalstrukturen der klassischen Theorien, wie Newtonscher Dynamik und Spezieller Relativitätstheorie (einschließlich ihrer allgemeinrelativistischen Erweiterung zur Riemannschen Raum-Zeit). Richard Phillips

Feynman sah im Verständnis des Doppelspaltexperimentes das ganze Rätsel um die Eigenarten der Quantenphysik. In der Diskussion um den quantenmechanischen Messprozess ist die Rolle des Beobachters oft subjektivistisch behandelt worden. Darum muss betont werden, dass eine Beobachtung durch ein Subjekt stets eine physikalische Wechselwirkung voraussetzt. Es ist der Tatbestand der Wechselwirkung, nicht des subjektiven Beobachtens, und darum der Charakter der Messung (Ortsmessung, Impulsmessung), welcher den Quantenzustand in die Raum-Zeit-Struktur projiziert. Alle scheinbaren Absurditäten, ob z.B. der Mond auch da ist, wenn wir nicht hinsehen (Einstein) im Zusammenhang um die Rolle des Beobachters, verlieren so automatisch jede Relevanz. Es ist die enge Verknüpfung des Wechselwirkungsbegriffes mit der Kausalstruktur, die das Rätsel der „Spukhaften Fernwirkung“ (Einstein) auflöst. Die Wellenfunktion, bzw. der Zustandsvektor verhält sich streng kausal gemäß der Schrödinger Gleichung oder der Matrixmechanik, aber diese Kausalstruktur ist eine andere als die raum-zeitliche Kausalstruktur der klassischen Physiken

Dr. Klaus Retzlaff, 02/2017

Astronomische Gesellschaft Magdeburg e.V., <http://astronomie-magdeburg.de/astrophysik>

gemäß Newton (Newtonsche Dynamik) oder Einstein (Spezielle Relativitätstheorie, Allgemeine Relativitätstheorie). Die Wechselwirkung führt zum Schnitt („Berührung“, Schnittmenge) unterschiedlicher Kausalstrukturen, darum sind die Resultate dieses Schnitts stochastisch und die Projektion auf die klassischen Raum-Zeit-Strukturen liefert nur Erwartungswerte $\langle \hat{O} \rangle$ für die jeweiligen physikalischen Operatoren, hier stellvertretend mit „ \hat{O} “ bezeichnet. Der Mond ist also auch dann da, wenn kein Beobachter hinschaut, weil dieses riesige Objekt einer permanenten Wechselwirkung in vielfältigen Zusammenhängen unterliegt. Und das trifft auf alle makroskopischen Objekte zu. Makroskopische Objekte wären selbst dann „klassisch“, wenn sie von allen äußeren Wechselwirkungen abgeschirmt werden könnten, weil sie aus einer Unmenge von wechselwirkenden Quantenobjekten aufgebaut sind, und diese Wechselwirkungen finden in der Raum-Zeit statt.

Der Wechselwirkungsbegriff ist eine klassische Kategorie und gehört zu den klassischen Raum-Zeit-Konzepten. Doch die klassischen Raum-Zeit-Konzepte gemäß Newton oder Einstein sind durch die Trägheit, bzw. den jeweils zugrundeliegenden Trägheitsbegriff, determiniert und es ist ausgerechnet die Trägheit, die auch den Grundgleichungen der Quantenmechanik (Schrödinger-Gleichung, Dirac-Gleichung, usw.) ihr Fundament gibt. So ist der Mond auch nach der Quantenmechanik einerseits deswegen ein klassisches Objekt, weil seine Compton-Wellenlänge $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{mc}$ unter seinen geometrischen Abmessungen liegt, andererseits besteht er aus unzähligen wechselwirkenden Partikeln, so dass der Bahnbegriff, d.h. die gleichzeitige Objektivität von Ort und Impuls des Mondes stets gewährleistet ist. Der Mond ist ein Objekt in der Raum-Zeit.

Die klassischen Raum-Zeit-Konzepte sind keine willkürlichen Erfindungen von Physikern oder bloße Modelle, sie besitzen Objektivität, weil sie exakt das dynamische Verhalten makroskopischer Objekte beschreiben. Dass sie das richtig tun, bringt zum Ausdruck, dass sie Naturgesetze sind, welche die Grundlagen des Ingenieurwesens sind. Newtons Dynamik ist absolut richtig für kleine Geschwindigkeiten, bzw. für $c \rightarrow \infty$ und $\hbar \rightarrow 0$, für $f \rightarrow 0$, $\ddot{x} \rightarrow 0$ und $\hbar \rightarrow 0$ gilt die Spezielle Relativitätstheorie und schließlich für $\hbar \rightarrow 0$, $f \approx const.$ und zumindest für kleine Massendichten, d.h. für

$$\rho \ll \rho_{krit} = \frac{3c^6}{32\pi f^3 m^2} \text{ gilt die Allgemeine}$$

Relativitätstheorie. Die Gültigkeit der Allgemeinen Relativitätstheorie ist auch auf die Fälle beschränkt, in denen das Auftreten einer Anisotropie der Trägheit bei nicht-inertialen Bewegungen vernachlässigt werden kann. Die Objektivität der klassischen Raum-Zeit-Konzepte findet auch darin ihren Ausdruck, dass eine Quantenphysik ohne Rückgriff auf die klassischen Strukturen gar nicht formuliert werden kann. Entsprechend funktioniert das „Quantenkochrezept“ so, dass zuerst eine klassische Hamilton-Funktion formuliert wird, dann findet eine Ersetzung der klassischen Größen durch Operatoren statt, die auf eine Wellenfunktion wirken (Schrödinger Wellengleichung), alternativ werden die klassischen Größen durch Matrizen substituiert, deren Eigenwerte die Messwerte repräsentieren (Heisenbergsche Matrixmechanik). Die Wellenfunktion, bzw. der Zustandsvektor einschließlich der Normierungsbedingung sind im Vergleich zur klassischen Physik und Relativistik etwas Neues. Superposition und Normierung führen zu nicht-klassischen Phänomenen, die unter anderem mit dem Auftreten von Mischtermen $\alpha_n a_m^* \langle n | \hat{O} | m \rangle \neq 0$ in Beziehung stehen, für die es überhaupt keine klassische

Entsprechung gibt. So können Schrödinger-Katzen reale Messwerte mitbestimmen.

Mit $|\varphi\rangle = \sum_k \alpha_k |k\rangle$ und der Bedingung $\langle \varphi | \varphi \rangle = 1$ folgt:

$$\langle \varphi | \hat{O} | \varphi \rangle = \sum_n \alpha_n \alpha_m^* \langle n | \hat{O} | m \rangle.$$
 Das

weitreichende definitorische Hineinregieren der klassischen Raum-Zeit-Struktur (Physik) in die Quantenwelt kommt auch in der *Korrespondenz* der Eigenschaften der Poisson-

Klammern $\{AB\} = \sum_k \left(\frac{\partial A}{\partial p_k} \frac{\partial B}{\partial q_k} - \frac{\partial A}{\partial q_k} \frac{\partial B}{\partial p_k} \right)$

mit den Vertauschungsregeln für Operatoren (Matrizen) $[\hat{A}\hat{B}]_- = \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}$ der Quantenphysik zum Ausdruck¹, auf die meines Wissens Dirac zum ersten Mal hinwies, und die mit den Unschärfereaktionen der Quantenphysik auf das Engste verknüpft sind, denn man kann bereits aus einer absolut klassischen Theorie ablesen, welche Operatoren in einer Quantentheorie nicht vertauschbar sind, für welche also Unschärferelationen in der Quantenphysik existieren, d.h. **genau dann**, wenn $\{AB\} \neq 0$ gilt, folgt $[\hat{A}\hat{B}]_- \neq 0$, und **genau dann** folgt stets $\Delta A \Delta B \geq \frac{\hbar}{2}$.

Aus den Unschärferelationen, insbesondere aus der Unschärfe für Ort und Impuls, sowie Energie und Zeit wurden nicht zu Unrecht weitreichende fundamentale Schlussfolgerungen zum Teilchen- und Bahnbegriff gezogen, von denen manche fälschlich in metaphysische oder holistische, jedenfalls subjektivistische Weltansichten abgeglitten sind. Der Grund für diese Fehlschlüsse besteht,

¹ Die Größen A und B sind klassische Größen, die Größen \hat{A} und \hat{B} sind die den klassischen Größen zugeordneten quantenphysikalischen Operatoren, bzw. Matrizen.

bzw. bestand stets in der Reduktion des Realitätsbegriffes auf die klassische Raum-Zeit-Struktur und eine subjektivistische Bestimmung des Beobachtungsbegriffs. Diese gibt aber nur den Rahmen für die erweiterte Realität der Quantenwelt, die sich in ihren Wirkungen, wie der Stabilität der Atome, der Existenz von Spektrallinien, der Chemie und vielem mehr in der makroskopischen Erlebniswelt geltend macht. Die Realität der alltäglichen Gegenstände, einschließlich des Lebens, wäre hinfällig, ohne die objektiven Gesetzmäßigkeiten der Quantenwelt, aber sie wären ebenso hinfällig, ohne dass die makroskopische Raum-Zeit-Struktur den Quantengesetzen ihre Form aufprägt – diese reale und objektive Koexistenz sich scheinbar ausschließender physikalischer Gesetze (Lokalität versus Nichtlokalität, Determinismus versus Indeterminismus) materialisiert sich am Funktionieren von Atombomben, die unsere Lebensqualität so sehr bereichert haben², denn, dass sie funktionieren setzt Quantenmechanik und Relativitätstheorie in gleicher Weise und auf gleicher Augenhöhe voraus. Man sieht die Koexistenz und Wechselbeziehung von klassischer, bzw. relativistischer Physik einerseits und Quantenphysik andererseits an der fundamentalen Tatsache, dass es sowohl möglich ist, eine klassische Quantenphysik („klassisch“ im Sinne der Newtonschen Dynamik) zu betreiben (Schrödinger-Gleichung), als auch im Sinne der relativistischen Physik Einsteins (Dirac-Gleichung).

Betrachten wir ein freies Teilchen, so ist dessen Hamilton-Funktion einfach durch die kinetische Energie gegeben, d.h.

$$H = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m} (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2).$$
 Den Über-

² In dem Sinne tragen die Leichen von Hiroshima und Nagasaki Poppers Erkenntnistheorie und Wissensskeptizismus zu Grabe.

gang zur Quantenmechanik realisieren wir nach „Quantenkochbuch“ (Grundkurs Quantenmechanik) durch die Ersetzung des Impulses $\vec{p} = p_x \vec{e}_x + p_y \vec{e}_y + p_z \vec{e}_z$ durch den Impulsoperator $\hat{p} = -i\hbar \nabla$, mit dem Operatorquadrat:

$$\nabla \cdot \nabla = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

So erhalten wir schließlich den Hamilton-Operator für ein freies Teilchen: $\hat{H} = \frac{\hbar^2}{2m} \Delta$. Die Schrödinger

Gleichung für das freie Teilchen (d.h. ohne Potential) ist dann einfach $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$ und

die vollständige zeitabhängige Wellenfunktion dazu ist ebenfalls einfach

$$\Psi = \text{const} \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p} \cdot \vec{r})}.$$

Von Bedeutung ist die Beobachtung, dass sich die klassische Physik und damit das (hier) Newtonsche Raum-Zeit-Konzept sowohl in der Struktur des Hamilton-Operators, als auch im Exponenten der Wellenfunktion, nämlich in der Wirkung $Et - \vec{p} \cdot \vec{r}$ manifestiert. Das ist das Gemeinte, die Quantenphysik lebt nicht losgelöst von den klassischen bzw. relativistischen Raum-Zeit-Konzepten. Und es sind genau diese Konzepte, bei denen der Trägheitsbegriff die determinierende Kategorie ist (siehe hierzu die Artikel: „Trägheitsvariabilität und Raum-Zeit-Struktur“, sowie „Trägheitsinduktion und Relativität der Zeit“ auf der Webseite der Astronomischen Gesellschaft Magdeburg e.V.). Während Einstein die spezielle Relativitätstheorie aus dem Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit deduzierte, zeigte ich in meinem Artikel „Trägheitsvariabilität und Raum-Zeit-Struktur“, dass die Forderung einer Trägheitsvariabilität die zwei Erhaltungssätze für Energie und Impuls der Newtonschen Dynamik auf einen einzigen gemeinsamen Erhaltungssatz reduziert, der die Raum-Zeit-Struktur und damit die Konstanz einer

Maximalgeschwindigkeit gemäß der speziellen Relativitätstheorie impliziert.

Die Quantentheorie respektiert die jeweiligen Raum-Zeit-Strukturen, was sich bereits im dargestellten Quantenkochrezept unmittelbar ausdrückt.

In der relativistischen Quantenphysik wird die Lorenzinvarianz der quantenphysikalischen Gleichungen gefordert. Das führt einerseits auf die Klein-Gordon-Gleichung für spinlose Teilchen, andererseits kann Lorenzinvarianz und damit der Respekt vor der Raum-Zeit-Struktur bei geladenen Teilchen, wie z.B. dem Elektronen, nur dann erreicht werden, wenn ganz neue mathematische Strukturen hinzutreten, die als Spinoren bezeichnet werden, und mit dem Spin zusammen hängen. Solche Teilcheneigenschaften werden intuitiv mit den Quanteneigenschaften der Wirklichkeit in Beziehung gesehen. Dies ist aber zu einseitig, in Wahrheit ist es der Respekt der Quantenphysik vor der trägheitsdeterminierten Raum-Zeit-Struktur, der solche rätselhaften Eigenschaften, wie den Spin, in die Welt bringt.

Der Zusammenhang zwischen unserer klassischen makroskopischen Alltagswelt und der Quantenwelt lässt sich tatsächlich analytisch explizit darstellen, hier an dem einfachen Beispiel der Schrödinger-Gleichung,

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U \psi,$$

die sich leicht auf eine Hamilton-Jacobi-Gleichung zurückführen

lässt, so findet man mit dem Ansatz $\psi = a e^{i\frac{S}{\hbar}}$

für die Wellenfunktion nach Einsetzen in die Schrödinger Gleichung, die zwei Gleichungen

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{1}{2m} (\nabla S)^2 + U - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\Delta a}{a} = 0$$

$$\text{und} \quad \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{a}{2m} \Delta S + \frac{1}{m} \nabla S \nabla a = 0.$$

Es ist zu sehen, dass die erste Gleichung für $\hbar \rightarrow 0$ in die

klassische Hamilton-Jacobi-Gleichung übergeht und die zweite Gleichung genau dann ihre physikalische Bedeutung verliert, weil dann die erste Gleichung die komplette klassische Dynamik liefert (vergleiche: Landau, Lifschitz, Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band III, Seite 50, Akademie-Verlag Berlin, 1979).

Das nichtrelativistische quantenphysikalische Geschehen kommt in die klassische Struktur der Hamilton-Jacobi-Gleichung über den zusätzlichen Term $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\Delta a}{a}$ hinein, wobei a über die zweite Gleichung mit der klassischen Wirkung S verknüpft ist. Analysiert man die Terme der Hamilton-Jacobi-Gleichung in Bezug auf die Trägheitsgröße m eines Teilchens, so findet man:

Term	m - Proportionalität
$\frac{\partial S}{\partial t}$	$\propto m$
$\frac{1}{2m} (\nabla S)^2$	$\propto m$
U	$\propto m$, wenn Gravitation, sonst m - unabhängig
$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\Delta a}{a}$	$\propto \frac{1}{m}$

Während alle klassischen Terme proportional oder unabhängig von der Trägheit sind, ist der Quantenterm umgekehrt proportional zur Trägheit. Das muss im Falle eines Universums mit Machschem Prinzip fundamentale Folgen für die kosmologische Entwicklung haben. Mit zunehmender kosmischer Expansion reduziert sich die lokale Trägheit aller Teilchen, da diese vom Gravitationspotential abhängen (Trägheitsinduktion). Im selben Maß, wie die Trägheitseigenschaften der Teilchen sich reduzieren, vergrößert sich der Einfluss des Quantenterms. In dem Sinne bedeutet diese

Interpretation den **kosmologischen Quantentod des Universums**. Dem entsprechend nimmt auch der Quantencharakter der klassischen physikalischen Felder zu. Und nehmen wir noch einmal Bezug auf die Compton-Wellenlänge, $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{mc}$, so bedeutet der Quantentod des Universums, dass mit zunehmender Expansion die Compton-Wellenlänge über die geometrischen Abmessungen aller Objekte anwächst, und so zur universellen Delokalisation aller Objekte führt. Die Welt degeneriert zunehmend zu einer Quantensuppe. Zuerst beginnen sich die molekularen Strukturen und dann die Festkörper aufzulösen, dann beginnen sich die Planetensysteme zunehmend ähnlich (nicht gleich) wie Atomen zu verhalten, bis schließlich ganze Galaxien und Galaxienhaufen quantenphysikalischen Gesetzen gehorchen und am Ende das gesamte uns bekannte Universum erfasst wird.

Doch das Machsche Prinzip und die Beziehung zur Quantenphysik verändern nicht nur die Zukunft des Universums in grundlegender Weise, auch muss der frühere dichtere Zustand des Kosmos sich durch die Dominanz der klassischen Newton-Einsteinschen Physik im Sinne einer Subpression der Quanteneigenschaften ausgezeichnet haben. Wie weit die Subpression der Quanteneigenschaften gewirkt hat, kann aber nur eine konkrete analytische Rechnung zeigen, da auf Grund der aus dem Machschen Prinzip folgenden Selbstabschirmung der Schwerkraft, die Materiedichte nicht beliebig groß gewesen sein kann. Eine Urknall-Singularität gibt es in einem Kosmos mit Machschem Prinzip ebenso wenig, wie Schwarze Löcher. Sehr wohl sind aber superdichte Materiezustände möglich.