

Stolpersteine der Physik am Ende des 19. Jahrhunderts

Advanced

Man ist leicht geneigt, die "Erfindung" der Quanten- und Relativitätstheorie auf *einen* spezifischen Anlaß zurückzuführen, oder dem Genius *eines* Mannes zuzuschreiben.

- Das ist aber viel zu kurz gedacht. Denn Ende des 19. Jahrhunderts gab es eine ganze Reihe von Erscheinungen, die mit der bekannten Physik schlicht *nicht* vereinbar waren: Ein kurze unsystematische Liste enthält zum Beispiel:

Die spezifische Wärme von Gasen.

- Eine unwiderlegbares Ergebnis der statistischen Wärmetheorie (um 1900) war, daß die spezifische Wärme c proportional sein mußte zur Zahl der möglichen Freiheitsgrade des Moleküls, Energie zu "speichern". Ein *einziges Atom* hat nur 3 Freiheitsgrade: Die Bewegung in den drei Raumrichtungen und damit drei Freiheitsgrade für die kinetische Energie $\frac{1}{2} m \cdot v_i^2$, $i = x, y, z$.
- Ein *zweiatomiges* Molekül hat außer den 3 Freiheitsgraden der Bewegung des Schwerpunkts noch 3 Freiheitsgrade der Rotation um diverse Achsen, und Freiheitsgrade in den Schwingungen der Atome relativ zueinander; bei dreiatomigen Molekülen wird es langsam unübersichtlich - es gibt zahlreiche Freiheitsgrade.

Gasmoleküle aller Arten dachten aber gar nicht dran, der Vorhersage zu folgen - es war ein unlösbares Problem ohne die Quantenmechanik.

Die **Strahlung eines schwarzen Körpers**, d.h. einer speziellen Lampe. (Bei nicht zu niedrigen Temperaturen wird aus *jedem* Material in jeder *Form* diese "spezielle" Lampe; *alles* leuchtet mit (fast) identischem Spektrum bei hoher Temperatur).

- Das gemessene Spektrum war grundverschieden von dem Vorhergesagten. Hier hat Max **Planck** den Durchbruch geschafft, und die Quantenmechanik "erfunden".
- Das hat er aber nicht durch scharfes Nachdenken und Postulieren einer neuen Physik gemacht, sondern durch mathematisches Herumspielen mit den Formeln unter der Überschrift: "Was wäre, wenn man hier mal was anderes einsetzt".
- Erst als er dann eine Formel erhielt, die exakt zu den Experimenten paßte, setzte das Nachdenken darüber ein, was der mathematische Ansatz eigentlich bedeutet.

Der **photoelektrische Effekt**.

- Aus Metallen (und allen anderen Materialien auch), kann man durch Beleuchten, d.h. Energiezufuhr, Elektronen herausschlagen. Klassisch sollte es nur darauf ankommen, *genügend* Energie zuzuführen, d.h. nur auf die *Intensität* des eingestrahlt Lichts.
- Das Experiment sagte aber eindeutig: Entscheidend ist die *Wellenlänge*, nicht die Intensität. Erst Albert **Einstein** fand die Erklärung (auf dem Hintergrund der sich gerade bildenden Quantenmechanik).
- Dafür bekam er übrigens seinen *einen* Nobelpreis - er hätte noch mindestens *vier* weitere bekommen müssen: für die *spezielle Relativitätstheorie*, die *allgemeine Relativitätstheorie*, die *atomistische Erklärung der Diffusion* und für die Vorhersage der sogenannten *Bose-Einstein Kondensation*, die 1997 erstmals experimentell nachgewiesen wurde (Nobelpreis dafür 2001). Außerdem vielleicht noch eine *sechsen* für die Vorhersage der *stimulierten Emission*, der Grundlage des Lasers.

Und dann waren da noch die *Spektr*en der Atome, Moleküle usw., deren Spektrallinien klar erkennbare Gesetzmäßigkeiten folgten, die aber von keiner Theorie erklärt werden konnten.

- Hier hat Niels **Bohr** mit seinem simplen Modell für die absolute Sensation gesorgt

Nicht vergessen wollen wir:

- Den **Compton Effekt** - er ist in einem eigenen Modul behandelt.
- Die allgemeine Erscheinung der **Radioaktivität**, die im Rahmen der klassischen Physik nicht vorgesehen ist.
- Den experimentellen Nachweis der absoluten **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit** (oder den Nachweis der Nichtexistenz des "Äthers") durch **Michelson** und **Morley** - einer der Gründe für die Notwendigkeit der **speziellen Relativitätstheorie**.
- Die Antwort auf die Frage: *Was hält die Sonne am Laufen?* - d.h. woher kommt die "unerschöpfliche" Energie mit der sie uns mit Licht und Wärme versorgt?
- Die Frage, aus was Atome eigentlich bestehen - nachdem **Rutherford** gezeigt hat, daß man beim gezielten Nachschauen im wesentlichen leeren Raum findet.

- Die Frage, was die mechanischen Eigenschaften der Metalle bestimmt (Was genau passiert beim Schmieden?).

Man könnte weitermachen Aber klar wird doch: Die neuen Theorien lagen in der Luft, zuviel stimmte nicht mehr.

Jetzt fragen wir uns mal: Wie sieht die Liste *heute* aus? Welche grundsätzlichen Fragen sind mit der heutigen Physik nicht zu beantworten?

- Leicht gefragt - schwer zu beantworten (die Physiker im ausgehenden **19.** Jahrhundert hätten die obige Liste auch nicht so leicht zusammen bekommen).
- So etwas richtig auffälliges, was auch "der kleine Mann auf der Straße" oder sogar ein Journalist sofort versteht, gibt es nicht.

Aber mindestens *zwei* ganz große Rätsel existieren doch und werden immer drückender:

1. Die *Quantentheorie und die allgemeine Relativitätstheorie*, die jede für sich in ihrem Bereich mit absolut phantastischer Genauigkeit stimmt (bis auf **10** Stellen hinter dem Komma soweit meßbar), passen *nicht zusammen*.

- Ein Beispiel: Die sog. *kosmologische Konstante* in der *allg. Relativitätstheorie* ist gemessen, sie ist nicht weit weg von Null. Rechnet man sie aber mit der *Quantentheorie* aus, ergibt sich ein Wert von **$10^{40} - 10^{120}$** - die schlechteste Vorhersage die jemals gemacht wurde.
- Leider spielt die kosmologische Konstante in "kleinen" Dimensionen (d.h. Dimensionen kleiner als ca. Galaxien) überhaupt keine Rolle, d.h. man kann keine einfachen Experimente dazu machen. Und in kosmologischen Dimensionen kann man nicht so leicht experimentieren. *Wir werden sehen*.

1a Ein ähnlich gelagertes Problem: Im Universum ist der Teufels los - oder präziser gesagt, die "Kosmologie" als Wissenschaft produziert zunehmend tiefe und unbeantwortete Fragen.

- Nachdem die "*Big Bang*" Theorie im Prinzip experimentell unwiderlegbar bestätigt wurde, gab es dann schnell Probleme mit den "Details"
- **1980** war dann das nicht leicht eingängige Modell des "inflationären Universums" (inflationary universe) ein großer Fortschritt; **1992** wurde es durch Präzisionsmessungen der *Hintergrundstrahlung* experimentell "bestätigt".
- Aber immer wieder tauchen neue Probleme auf: Die sichtbaren Auswirkungen der Gravitation sind z.B. nicht im Einklang mit der *sichtbaren* Materie: Galaxien Sterne, kosmischer Staub, etc.. alles was man her auf Erden sehen oder anderweitig nachweisen kann, sind nur ein paar Prozent dessen, was im Universum Gravitation erzeugt.
- Zunächst schien es auszureichen, die Existenz einer "**dunklen Materie**" ("**dark matter**") zu postulieren, die dann aber irgendwelche, noch nicht gefundene, und auch nicht so richtig vorhergesagte, neuartige Elementarteilchen bedingt.
- Heute (nach **2000**) wird aber zunehmend klar, dass die postulierte dunkle Materie auch nur **25 % - 30 %** der beobachteten Gravitation verursachen kann; postuliert wird jetzt zusätzlich noch eine ziemlich obskure "**dunkle Energie**" ("**dark energy**"), die die restlichen ca. **70%** Gravitation trägt.
- Ein bißchen haftet der dunklen Materie und Energie der Geruch des **Äthers** seelig an, des im **19.** Jahrhundert postulierten und tief und fest geglaubten "ätherischen" und unfaßbaren Hintergrundmaterials, in dem sich all das abspielen sollte was wir heute mit "elektromagnetischem Feld" usw. bezeichnen.
- Die kosmologische Inflation und die dunkle Materie und Energie sind sehr eng mit Elementarteilchen und Quantentheorie verwoben, deshalb ist erst mit der Lösung der ersten Frage auch ein Durchbruch bei der Kosmologie zu erwarten.

Ob es die "kosmologische Inflation" sowie die "dunkle Materie und Energie", und was immer noch kommen wird, aber wirklich gibt, oder ob sie irgendwann einmal als "Äther **2.** Art" in den Orkus geworfen werden, weiß heute niemand. Klar ist nur, dass es an dieser Stelle zunehmend "klemmt".

2. Die zweite Frage ist nach der Existenz von *künstlicher Intelligenz* und damit gekoppelt, dem Wesen des (menschlichen?) *Bewußtseins* .

- In anderen Worten: Könnte ein *technisches* informationsverarbeitendes Gebilde mit der Komplexität des menschlichen Gehirns (ein Computer) soviel Intelligenz haben wie ein Mensch - oder zumindest ein Menschenaffe - ohne daß man grundsätzlich neue Erkenntnisse zu seiner Konstruktion braucht?
- Hat ein ausreichend komplexer Computer (immer inklusive Software) automatisch eine Art Bewußtsein? Oder braucht es dazu bestimmte, im Moment gar nicht bekannte Hard- und/oder Software?
- Falls ja, kann der Mensch diese notwendigen Zutaten jemals finden? Oder ist es ihm prinzipiell unmöglich? Sind diese Zutaten vielleicht mit Begriffen wie "Seele", "Schöpfung", "Gott" beschreibbar?
- *Wir werden sehen* - zumindest einen Teil. Denn Computer, deren Komplexität vergleichbar sein wird mit der des menschlichen Gehirns, sind durchaus in den nächsten **50** Jahren zu erwarten.

Hier eine Buchbesprechung zum Thema (mit Literaturhinweisen für Interessierte):

● **PETER RICHTER, MARTIN REES:** Das Rätsel unseres Universums. Hatte Gott eine Wahl? C. H. Beck Verlag, München 2003. 219 Seiten, 19,90 Euro.

● Dunkel das Leben, die Materie und Energie. Gott kam nur bis zum Ereignishorizont: Der königlich-britische Hofastronom Martin Rees erklärt die Rätsel der Kosmologie Vor zwölf Jahren sollte die sogenannte „dunkle Materie“ „das Rätsel unseres Universums“ lösen

● *(John Gribbin und Martin Rees: Ein Universum nach Maß. Bedingungen unserer Existenz. Birkhäuser 1991).*

● Inzwischen haben neue Beobachtungen der Astronomen neue Rätsel aufgegeben, und nun muss zusätzlich auch eine „dunkle Energie“ für den Großteil unseres Nicht-Verstehens herhalten. Nur vier Prozent dessen, was die Welt auszumachen scheint, lässt sich als bisher bekannte Materie oder Energie identifizieren: als Sterne, kosmischer Staub oder Strahlung. 25 bis 30 Prozent werden als unbekanntes „dunkle Materie“ in Ansatz gebracht, um das Standard-Modell der Kosmologie mit den Daten in Einklang zu bringen. Der Rest, an die 70 Prozent, geht auf das Konto der „dunklen Energie“, die anders als Materie nicht zur Gravitation beiträgt, sondern im Gegenteil die Expansion des Kosmos immer noch beschleunigt.

Bis 2010 – so hofft **Martin Rees**, Professor der Astronomie und Kosmologie sowie Master des Trinity College in Cambridge, seit 1995 auch königlich-britischer Hofastronom – dürfte die Natur von dunkler Materie und dunkler Energie erkannt sein. Derzeit aber blühen vor allem Spekulationen; sein kürzlich ins Deutsche übersetztes Buch „Das Rätsel unseres Universums. Hatte Gott eine Wahl?“ lädt uns ein, daran teil zu haben. Der englische Originaltitel „Our Cosmic Habitat“ gibt allerdings besser wieder, wovon das Buch hauptsächlich handelt: von dem, was zu Beginn des 21. Jahrhunderts mit einiger Sicherheit über unseren kosmischen Lebensraum gesagt werden kann – ein kompetent und flüssig geschriebenes Update zum Stand der Kosmologie. Wer frühere Bücher von Rees oder auch anderen Autoren gelesen hat, wird viel Vertrautes finden.

Etliches ist aber erst kürzlich hinzu gekommen: die Entdeckung extrasolarer Planeten-Systeme, die präzise Vermessung der kosmischen Hintergrund-Strahlung, die Analyse einer großen Zahl von Gravitationslinsen, schließlich der unerwartete Befund einer beschleunigten Expansion des Kosmos. Die Gewissheit über Planetensysteme von anderen Sternen gibt der Diskussion über extraterrestrisches Leben neue Nahrung. Die genaue Kenntnis der Fluktuationen des Strahlungs-Hintergrunds erlaubt erstmals, die Entstehung von Galaxien auf der Basis empirischer Daten überzeugend zu modellieren – auf diesem Gebiet war Rees selbst forschend tätig. Daran knüpft sich die Feststellung, dass in einer frühen Phase der kosmischen Evolution bestimmte Bedingungen recht genau eingehalten sein mussten, wenn es denn einerseits überhaupt zu lokaler Kondensation, andererseits aber nicht zu raschem Kollaps der Galaxien in schwarzen Löchern kommen sollte. Ist dies schon Ausdruck einer auf Leben abzielenden – „biophilen“ – Disposition des Universums?

Die aufregendsten Fragen stellen sich im Zusammenhang mit der Beobachtung des jungen Kosmos. Aus zehn Milliarden Lichtjahren Entfernung kommt Licht, das „nur“ drei Milliarden Jahre nach dem Urknall ausgesandt wurde. Wo es an Galaxien vorbei streicht, wirken diese als Gravitationslinsen, wobei die Stärke des Effekts den Schluss auf dunkle Materie unausweichlich zu machen scheint. Sofern das Licht von Supernovae stammt, erlaubt es eine Bestimmung der kosmischen Expansion vor zehn Milliarden Jahren. Und da zeigt sich, dass diese langsamer war als heute. Was aber mag sie beschleunigen? Dunkle Energie! Eins, zwei, viele Universen?

Die allgemeine Relativitätstheorie lässt tatsächlich eine gleichmäßig im Raum verteilte abstoßende Kraft zu. Einstein selbst hatte sie als „kosmische Konstante „Lambda““ eingeführt, um ein statisches Universum zu modellieren, welches unter dem Einfluss der allgegenwärtigen Gravitation nicht kollabieren würde. Er nannte das eine Eselei, als sich bald darauf herausstellte, dass der Kosmos nicht statisch ist und seine Theorie auch ohne Lambda mit den damaligen Beobachtungen kompatibel war. Zudem hatte er – und haben wir bis heute – keine physikalische Interpretation der durch Lambda beschriebenen Kraft. Nun aber soll sie die „dunkle Energie“ repräsentieren.

Rees ist ehrlich genug, das Ausmaß der Krise einzugestehen, in der sich die Kosmologie damit befindet: „die naheliegendste theoretische Vorhersage für Lambda“ führe „zu einer kosmischen Abstoßung, die um **120** Zehnerpotenzen größer ist als der tatsächlich vermutete Wert“. Noch nie dürften theoretisches Verstehen und empirischer Befund so weit auseinander gelegen haben. Rees interpretiert den aufgrund von Beobachtungen „tatsächlich vermuteten Wert“ als eine der „Feinabstimmungen“, „die für ein Universum mit organischem Leben, wie wir es hier auf der Erde vorfinden, notwendig sind“. Und er zieht zu deren Erklärung drei Möglichkeiten in Betracht: den Zufall, göttliche Fügung und ein Multiversum. Die ersten beiden werden nach kurzer Diskussion als unergiebig verworfen – im Übrigen kommt Gott, anders als der Titel suggeriert, in dem Buch nicht vor.

Rees favorisiert, wie schon 1991 in dem Buch mit Gribbin, die Idee eines aus vielen Universen bestehenden Multiversums, das während einer inflationären Phase der kosmischen Entwicklung kurz nach dem Big Bang entstanden sein mag: jedes einzelne Universum mit unterschiedlichen Werten von Lambda (und anderen Konstanten), ein Teil seiner Struktur allgemeinen Gesetzen gehorchend, ein anderer Teil dem Zufall überlassen, so wie alle Schneeflocken zwar notwendig sechsfache Symmetrie besitzen, im Einzelnen aber durch individuelles Schicksal geprägt sind. Vielleicht sollte man da, wo Erklärungen nicht überzeugen können, keine anbieten. Das Multiversum ist eine Metapher für Vielfalt der Möglichkeiten, sonst nichts. Wenn ein „Verständnis“ der Beobachtungen zu 96 Prozent exotische Versionen von Materie und Energie benötigt, sind Zweifel an der Gültigkeit des Standard-Modells – im Großen wie im Kleinen – angebracht. Für das Kleine, das Innere der schwarzen Löcher, besteht Konsens, dass erst die Verschmelzung von Gravitation und Quantenphysik gelingen muss, ehe mehr als nur Spekulatives darüber gesagt werden kann.

Im Großen scheinen dunkle Materie und dunkle Energie eine ähnliche Rolle zu spielen wie im 19. Jahrhundert der Äther. Der Relativitätstheorie täte es 100 Jahre nach ihrer Geburt (1905) keinen Abbruch, wenn eine neue Theorie

auch ihr die Grenzen aufzeigte.