

Liebe Leserin, lieber Leser,

der LHC, die mächtigste Beschleunigermaschine der Welt, sorgt für Schlagzeilen. Das ist kein Wunder. Der *Large Hadron Collider* ist ein Wunder, ein Wunder an Technik und auch an Organisation, an Management. Superlative sind also angebracht, geht es um das Wunder von Genf. Dass man sich überhaupt aufgerafft hat, so etwas zu bauen! Wenn das für den, dem reine Erkenntnis noch etwas bedeutet, kein Grund zur Freude und für hochgespannte Erwartungen ist?

Was ich allerdings für eine völlige Verkennung der Tatsachen halte: die in diesen Tagen häufig beschworene vermeintliche Nähe zum „Urknall“. Wir sind nicht Gott! Wir sind bestenfalls auf halben Wege zum Urknall. Da ist also etwas richtig zu stellen.

Und eines runden Geburtstages ist zu gedenken. Vor 250 Jahren, an einem 11. Oktober, wurde Wilhelm Olbers geboren. Der Bremer Arzt und Astronom entdeckte sechs Kometen und die beiden Planetoiden Pallas und Vesta. Und er fand, dass die nächtliche Dunkelheit erklärungsbedürftig sei. Da muss man erst einmal darauf kommen! Heute wissen wir die Antwort. Sie hat mit der Expansion des Universums zu tun, seiner Endlichkeit, dem „Urknall“ also. Olbers verstarb 1840.

Hoffen wir, dass der LHC bald wieder hochgefahren werden kann. Einen strahlenden Herbst wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Oktober

Merkur geht am 22. Oktober mit 18° wieder einmal auf maximale Distanz zur Sonne. Er steht dann westlich (also für Europäer rechts) von der Sonne und dürfte die ganze zweite Monatshälfte in der Morgendämmerung zu sehen sein. In den Morgenstunden des 27. Oktober gesellt sich zu ihm die schmale Mondsichel. Neumond ist zwei Tage darauf.

Jupiter ist etwas für Abendstunden. Dafür meldet sich Saturn zurück. Gegen Monatsende geht er bereits um 2 Uhr MEZ auf. Von seinen Ringen ist nicht mehr viel zu sehen. Die Ringebene ist nur noch 3° gegen die Sichtlinie geneigt.

Auf halbem Weg zum Urknall

Der LHC erobert die Teraelektronenvolt-Welt ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$). Bis zu 14 TeV ($= 2\mu\text{Ws}$) soll er erreichen. Zum Vergleich: Die Ruhemasse eines Protons entspricht einer Energie von 1 GeV (Gigaelektronenvolt; $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$). Man könnte also Teilchen, die 14 000-mal schwerer als das Proton sind, erzeugen. Genau darum geht es: Man möchte das Higgs-Boson habhaft werden, das „Gott-Teilchen“, dem jedes Ding seine Masse verdankt.

Rechnet man 14 TeV in eine Temperatur um, so ergeben sich 10^{17} K . Die herrschten 10^{-15} Sekunden nach dem Urknall. Das ist für unsereinen unvorstellbar kurz. Probt der LHC also doch den Urknall?

Zu denken gibt, dass mit der kosmischen Strahlung sporadisch hochenergetische Teilchen in die Erdatmosphäre eindringen, die das am LHC Erreichbare weit in den Schatten stellen – um einen Faktor 10 000 000! Kein Astrophysiker, der auf die Idee käme, diese Geschosse irgendwie mit dem Urknall in Zusammenhang zu bringen, eher mit ganz alltäglichen Neutronensternen oder Aktiven Galaxienkernen.

Die Geschichte des Kosmos ist die einer expansionsbedingten Abkühlung. Es begann überaus heiß, sagen wir bei 10^{32} K . Nach einer Sekunde war die Temperatur bereits auf wenige Milliarden Grad gefallen. Einige Hunderttausend Jahre nach dem Urknall bildeten sich bei 3000 K neutrale Atome. Das Universum wurde schlagartig durchsichtig. Die Bildung von Galaxienhaufen, Galaxien und Sternen begann.

Fakt ist, dass es für die kosmologische Expansion (bis auf eine „kurze“ Episode, die spätestens 10^{-30} Sekunden nach dem Urknall zu Ende war) keine irgendwie ausgezeichnete Zeitskala gibt. (Über die Zukunft wollen wir hier nicht spekulieren.) Die sog. Hubble-Konstante – sie misst die momentane Expansionsrate – ist nur für uns Eintagsfliegen eine Konstante. Ihr Kehrwert ist immer (bis auf einen Faktor nahe Eins) das Weltalter, und das nimmt zu. Seinen mathematischen Ausdruck findet diese Skalenfreiheit in Potenzgesetzen.

So gesehen ist in der ersten Sekunde, wo die Temperatur um 22 (!) Zehner-

potenzen gefallen ist, vermutlich mehr geschehen, als in den 13,7 Milliarden Jahren danach. Oder, drastisch formuliert: Für den Astronomen mag eine Million Jahre schon sehr dicht am Urknall sein, wogegen für den Elementarteilchenphysiker, dem die Vereinigung von Quanten- und Gravitationsphysik durch den Kopf geht, 10^{-15} Sekunden wie eine Ewigkeit vorkommen.

Skalenfreiheit und Selbstähnlichkeit sind ziemlich verbreitet. Es ist z. B. in Ermangelung einer charakteristischen Ausdehnung der Turbulenzelemente nicht möglich, die Entfernung einer Quellwolke zu schätzen.

Als man 1995 den ersten Exo-Planeten fand, 51 Peg B, war man verblüfft, ihn so nahe bei seinem Mutterstern zu finden. Damit hatte niemand gerechnet. Warum eigentlich nicht? Das Newtonsche Gravitationsgesetz zeichnet keinen Abstand, keine Längenskala¹ aus. Verkleinerten sich alle Entfernungen im Sonnensystem um den gleichen Faktor, verkürzten sich bloß die Umlaufzeiten, ansonsten bliebe alles beim alten.

Oder, nehmen Sie das Universum! In den ersten tausend Jahren war der Kosmos ein reiner Strahlungskosmos. Die Strahlung dominierte über den Stoff, und die Temperatur T fiel mit dem Kehrwert der Wurzel aus der Zeit ab: $T \propto 1/\sqrt{t}$. Ein solches ungebrochenes Potenzgesetz zeichnet keine Zeitskala aus. (So wie das Newtonsche Gravitationsgesetz keine Längenskala auszeichnet.)

Immer, wenn es viele Größenordnungen zu überdecken gilt, d. h. immer wenn es sich um Potenzgesetze handelt, ist man gut beraten, sich die Größen, sei es eine Energie, eine Temperatur, eine Zeit, eine Frequenz . . . , *logarithmisch* vorzustellen. In einem doppelt-logarithmischen Diagramm ist ein Potenzgesetz besonders einfach darstellbar – als eine Gerade.

Unsere Sinnesorgane gehen mit gutem Beispiel voran. Das Auge sieht Größenklassen (nicht Strahlungsflüsse), das Ohr hört Dezibel (nicht Pascal) und ordnet Tonhöhen in zwölfgeteilte Oktaven (nicht in Hertz). Die Tasten auf dem Klavier sind logarithmisch! Von Oktave zu Oktave verdoppelt sich die

¹Erst Einstein hat die Skalenfreiheit des Newtonschen Kraftgesetzes mit seiner $1/r^2$ -Abhängigkeit durch die Einführung des Schwarzschildradius „gebrochen“, was schwarze Löcher möglich macht und uns eine kleinste Längen- und Zeiteinheit beschert: Planck-Länge (4×10^{-33} cm) und Planck-Zeit (10^{-43} s). Eine „schöne Bescherung“: Die Planck-Ära entzieht sich mit Sicherheit der physikalischen Beschreibung. Warum? Indem Einstein die Schwerkraft als reinen Geometrieeffekt genial abgetan hat, hat er die Physik gespalten. Alle anderen Naturkräfte sind nämlich nicht geometriesierbar. Den Riss zwischen Quanten- und Gravitationsphysik zu kitten, ist bis heute nicht gelungen.

Tonhöhe. Anders kann das Ohr mit dem immensen Tonhöhenbereich – von 16 Hz bis 20 000 Hz sind es 10 Oktaven – nicht umgehen.

Sehen wir die Dinge so, liegt der LHC ungefähr auf der Mitte unseres Temperaturstrahls: 15 Zehnerpotenzen kühler als die Planck-Temperatur (10^{32} K) und 17 Zehnerpotenzen heißer als die 3-K-Strahlung. Oder wollen wir den Menschen ins Spiel bringen? Dann wäre die Temperatur, die der LHC simuliert, das *geometrische Mittel* aus Planck-Temperatur und unserer Körpertemperatur! Wie ist die LHC-Energie zeitlich einzuordnen? Nun, diese Experimente proben den Urkosmos, als er 10^{30} Planck-Zeiten und 10^{-32} (heutige) Weltalter auf den Buckel hatte. Zugegeben, 15 : 17 ist nicht dasselbe wie 30 : 32, aber in beiden Fällen kommt der LHC ungefähr auf der Mitte zu liegen. (Wäre das Potenzgesetz, welches die Abkühlung des Kosmos beschreibt, nicht 1000 Jahre nach dem Urknall geändert worden – der strahlungsdominierte Kosmos ging damals in den materiedominierten über –, käme in beiden Fällen exakt das gleiche Verhältnis heraus!)

Hier haben wir die Begründung dafür, warum man eine skalenfreie Welt nicht nur aus Bequemlichkeit logarithmisch sehen sollte. Um bei der Abkühlungsgeschichte des Universums zu bleiben: Nur dann ist die mittlere Temperatur identisch mit der tatsächlichen Temperatur zur mittleren Zeit!

Die logarithmische Betrachtungsweise ist eine Forderung des gesunden Menschenverstands. Wir sollten auf unser logarithmisches Ohr hören.