

Quarks, Quasare, Quintessenz – Antike Reminiszenzen im Weltbild der modernen Physik und Kosmologie

Bruno Binggeli

Leicht gekürzte Fassung eines Vortrags gehalten an der interdisziplinären Tagung des Schweiz. Altphilologenverbands: "Elemente – Elementa – Stoicheia", Zürich, 17. März 2011

1. Einleitung

Es ist eine weit verbreitete Ansicht, dass die heutige Teilchenphysik im griechischen Atomismus einen Vorläufer hat. Diese Ansicht ist nicht falsch, aber sie ist einseitig und beschränkt. Es gibt viele weitere Parallelen zwischen ganz verschiedenen Konzepten griechischen Denkens und solchen der modernen Physik, gerade auch im Bereich der Kosmologie, wo dies weniger bekannt ist. Diese Parallelen sollen hier in einer groben Panoramaskizze ausgebreitet werden. Manches findet sich schon in der Literatur (siehe Anhang), anderes erscheint hier vielleicht zum ersten Mal. Nie kann es im Sinn historischer Kontinuität gemeint sein. Auch wenn die neuzeitliche, klassische Physik in grossen Stücken eine bloss Wiederauflage der hellenistischen Wissenschaft ist, wie Lucio Russo meint, so ist die "moderne" Physik, durch die revolutionären Neuerungen der Quantenmechanik, Relativitätstheorie und Big Bang-Kosmologie, inhaltlich so radikal neu, dass man "antike Reminsizenzen im modernen Weltbild" nicht unbedingt erwarten würde – und doch gibt es sie. Eine mögliche Erklärung dafür hat der Quantenphysiker Fritz Bopp vor vierzig Jahren so formuliert:

"Natürlich sind die Vorstellungen der Alten weit entfernt von dem Ziel, das wir hier [in der heutigen Physik] anstreben. Doch mag die Verwandtschaft deutlich machen, dass die Mannigfaltigkeit elementarer Vorstellungen, mit denen wir Wirklichkeitsordnung in den Griff zu kriegen suchen, begrenzt ist. Der Hinweis auf die griechischen Philosophen ist darum keineswegs an den Haaren herbeigezogen, sondern nur Ausdruck dessen, dass in jener virulenten Periode der Philosophie die menschenmöglichen Vorstellungsweisen bereits durchgespielt worden sind, mit denen wir Wirklichkeitsordnung erfassen, ohne dass man damals zu entscheiden vermochte, welche von ihnen tragfähig sind."

Quarks, Quasare, Quintessenz –Antike Reminiszenzen im Weltbild der modernen Physik und Kosmologie

Bruno Binggeli

Leicht gekürzte Fassung eines Vortrags gehalten an der interdisziplinären Tagung des Schweiz. Altphilologenverbands: “Elemente – Elementa – Stoicheia”, Zürich, 17. März 2011

1. Einleitung

Es ist eine weit verbreitete Ansicht, dass die heutige Teilchenphysik im griechischen Atomismus einen Vorläufer hat. Diese Ansicht ist nicht falsch, aber sie ist einseitig und beschränkt. Es gibt viele weitere Parallelen zwischen ganz verschiedenen Konzepten griechischen Denkens und solchen der modernen Physik, gerade auch im Bereich der Kosmologie, wo dies weniger bekannt ist. Diese Parallelen sollen hier in einer groben Panoramaskizze ausgebreitet werden. Manches findet sich schon in der Literatur (siehe Anhang), anderes erscheint hier vielleicht zum ersten Mal. Nie kann es im Sinn historischer Kontinuität gemeint sein. Auch wenn die neuzeitliche, klassische Physik in grossen Stücken eine blossе Wiederauflage der hellenistischen Wissenschaft ist, wie Lucio Russo meint, so ist die “moderne” Physik, durch die revolutionären Neuerungen der Quantenmechanik, Relativitätstheorie und Big Bang-Kosmologie, inhaltlich so radikal neu, dass man “antike Reminsizenzen im modernen Weltbild” nicht unbedingt erwarten würde – und doch gibt es sie. Eine mögliche Erklärung dafür hat der Quantenphysiker Fritz Bopp vor vierzig Jahren so formuliert:

“Natürlich sind die Vorstellungen der Alten weit entfernt von dem Ziel, das wir hier [in der heutigen Physik] anstreben. Doch mag die Verwandtschaft deutlich machen, dass die Mannigfaltigkeit elementarer Vorstellungen, mit denen wir Wirklichkeitsordnung in den Griff zu kriegen suchen, begrenzt ist. Der Hinweis auf die griechischen Philosophen ist darum keineswegs an den Haaren herbeigezogen, sondern nur Ausdruck dessen, dass in jener virulenten Periode der Philosophie die menschenmöglichen Vorstellungsweisen bereits durchgespielt worden sind, mit denen wir Wirklichkeitsordnung erfassen, ohne dass man damals zu entscheiden vermochte, welche von ihnen tragfähig sind.”

Also: die griechischen Philosophen haben bereits den ganzen Garten des Denkmöglichen abgegrast; auch die verrückteste Idee hat irgendwann irgendwer schon gehabt. Das leuchtet ein – und trifft vielleicht doch nicht den wesentlichen Punkt. Denn: was ist das Denkmögliche? Anscheinend gibt es so etwas wie ein Urmuster des menschlichen Denkens, oder vielmehr: eine endliche Menge von urtümlichen Bildern oder Symbolen, die dem menschlichen Denken unterliegen. Der Physiker Wolfgang Pauli (ein Mitbegründer der modernen Physik) sagt zum Vorgang der Theoriebildung:

“Wenn man die vorbewusste Stufe der Begriffe analysiert, findet man immer Vorstellungen, die aus symbolischen Bildern mit im allgemeinen starkem emotionalen Gehalt bestehen. Die Vorstufe des Denkens ist ein malendes Schauen dieser inneren Bilder, deren Ursprung nicht allgemein und nicht in erster Linie auf Sinneswahrnehmungen zurückgeführt werden kann.” – und anderswo: *“Theorien kommen zustande durch ein vom empirischen Material inspiriertes Verstehen, welches am besten im Anschluss an Plato als das zur Deckung kommen von inneren Bildern mit äusseren Objekten und ihrem Verhalten zu deuten ist.”*

Pauli spielt hier natürlich auf die Archetypen C.G. Jungs an; mit diesem stand Pauli bekanntlich in einem intensiven geistigen Dialog. Die Jungschen Archetypen sind Strukturdominanten der kollektiven unbewussten Psyche, die sich in stets wiederkehrenden Vorstellungsmustern bemerkbar machen. Nach Jung und Pauli gehen alle bedeutenden naturwissenschaftlichen Ideen auf Archetypen zurück. Gerade der Atomismus sei ein gutes Beispiel dafür, weil er über Jahrhunderte hindurch, ohne echte empirische Stütze, mit grösster Beharrlichkeit am Leitgedanken, dass die Materie aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Bausteinen aufgebaut sei, festgehalten habe.

Die Nähe zur Platonischen Lehre der *Anamnesis* ist unübersehbar: Erkenntnis ist wesentlich Erinnerung... Und so möchte ich nun im folgenden ein paar “Erinnerungen” der modernen Physik und Kosmologie vorführen – und im übrigen natürlich offen lassen, wie diese Analogien zwischen antiken und modernen Denkfiguren letztlich zu interpretieren sind.

2. Materie

Am Anfang stehen, bei Empedokles noch ganz mythisch aufgefasst, die *Elemente*. Die Existenz einer begrenzten Anzahl verschiedener Urstoffe (wie Wasser, Luft etc.) suggeriert auch die bloße Beobachtung der Natur. Erst die weitere Entwicklung, ins Unsichtbare, wird nach Sambursky getrieben durch zwei ganz gegensätzliche archetypische Vorstellungen, nämlich dass die Materie aus unsichtbar kleinen, ewig beständigen, unteilbaren Teilchen – *Atomen* – besteht, die sich im Vakuum bewegen und deren Formen und Kombinationen alle

vielfältigen Eigenschaften der Materie erklären; – oder dass die Materie ins unendlich Kleine zerteilt werden kann und dabei ihre Eigenschaften beibehält, m.a.W. ein *Kontinuum* bildet, die Existenz eines Vakuums ausschliessend. Die Konkurrenzsituation der beiden Grundmodelle der Materie blieb die ganze Antike hindurch bestehen, am schärfsten ausformuliert unter Epikur und seinen Nachfolgern auf der einen Seite, und der *Stoa* auf der andern.

Der Atomismus wurde in der Neuzeit wieder aufgenommen in Form der *Korpuskulartheorie* (Descartes, Newton u.a.). Im Gegensatz zu den Atomen der Antike, bewegen sich die Korpuskeln allerdings nicht im Vakuum, sondern in einem feinstofflichen *Aether*, für den das stoische *Pneuma* Modell stand (Aether ist eigentlich aristotelisch, aber die beiden Konzepte Aether und Pneuma wurden bereits in der Antike miteinander vermengt; das Pneuma wurde ebenfalls als fünftes Element verstanden, nur dass es nicht wie der aristotelische Aether auf die himmlische Region beschränkt war). Die inneren Spannungen des all-durchdringenden, allbelebenden Pneumas liessen sich ganz einfach als Kräfte umdeuten. In der Neuzeit haben wir also bereits ein Hybridmodell, nicht mehr Atome *oder* Kontinuum, sondern diskrete Korpuskeln *und* kontinuierlicher Aether.

Von den neuzeitlichen Korpuskeln führt der (äusserst verschlungene!) Weg zu den modernen Elementarteilchen. Bis um 1900 blieb der korpuskulare Atomismus blosser Theorie. Die Atome im chemischen Sinn erwiesen sich als teilbar, nämlich zusammengesetzt aus Kernteilchen und Elektronen; erstere erwiesen sich später ebenfalls als zusammengesetzt aus noch fundamentalen Einheiten, den Quarks. Das moderne Analogon zum Atom ist gewiss das *Elementarteilchen*, verstanden als Teilchen ohne innere Struktur, als Punktsingularität. Auf der andern Seite entwickelte sich das Konzept des Aethers zum Konzept des *Feldes*. Noch bei Maxwell gingen Feld und Aether zusammen; erst Einstein schaffte den Aether in seiner Relativitätstheorie ab; ein Feld braucht kein Medium, es kann sich im Vakuum ausbreiten. Statt Korpuskeln plus Aether haben wir heute also Elementarteilchen plus Felder, so dass man wieder sagen könnte: Es hatten beide recht, die Atomisten und die Stoiker! Aber es kam noch anders...

Noch vor der endgültigen Ausformulierung des Elementarteilchenkonzepts wirft die aufkommende Quantenmechanik ein völlig neues Licht auf die Struktur der Materie, ausgedrückt im Konzept der sog. *Teilchen-Welle-Dualität*. Je nach experimenteller Anordnung verhalten sich beispielsweise Elektronen mal wie diskrete Teilchen, mal wie kontinuierliche Wellen. Und das Seltsame ist: Beides gehört zur vollständigen Beschreibung des Elektrons: das ist das Konzept der *Komplementarität*, also nicht “oder”, auch nicht “und”, sondern etwas dazwischen (das aristotelische *tertium non datur* gilt in der Quantenmechanik nicht

mehr!). Damit verwandt ist auch die *Heisenbergsche Unschärferelation*: Position und Geschwindigkeit eines Teilchens lassen sich nicht beide gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit messen. Inwiefern ist es dann noch sinnvoll, von einem räumlichen Kontinuum zu sprechen? Dieses Problem akzentuiert sich in der *Quantenfeldtheorie*, die aus einer Verbindung mit der Relativitätstheorie hervorgegangen ist. In dieser Theorie werden die kontinuierlichen Felder quantifiziert. Das elektromagnetische Feld wird beispielsweise repräsentiert durch “virtuelle” Photonen (virtuell, weil sie gar nie in Erscheinung treten), die elektromagnetische Wechselwirkung beschrieben als Austausch von solchen Photonen. – Ist das nun ein später, aber endgültiger Sieg des Atomismus?

So einfach ist es nicht! Zumindest unterscheiden sich die Elementarteilchen von den antiken Atomen in einer fundamentalen Eigenschaft: Sie sind *nicht* ewig beständig. Das hat mit der relativistischen Äquivalenz von Materie und Energie zu tun: Elementarteilchen, genauer: Teilchen-Antiteilchen-Paare können erzeugt und vernichtet werden. Der Atomismus stimmt nur insofern, als die letzte materielle Wirklichkeit “körnig” ist.

Die Verbindung zwischen Teilchen und Feld konkretisiert sich in der Quantenfeldtheorie im Konzept des *Vakuums*. Das quantenphysikalische Vakuum ist allerdings nicht einfach die Leere, im Gegenteil: Es ist ein Plenum! Vakuum bezeichnet den Zustand niedrigster Energie, und der ist nicht null. Es gibt eine nicht verschwindende Energiedichte im Raum. Das moderne Vakuum ist ein brodelnder Untergrund, worin sich, ermöglicht durch die Heisenbergsche Unschärferelation, jederzeit spontan Teilchen-Antiteilchen-Paare bilden, die sofort wieder verschwinden. Zu diesem Konzept mag man in der aristotelischen *Materia prima (prote hyle)* ein Analogon erblicken: dasjenige was dem Wandel der Elemente als Substrat unterliegt als reine Potentialität, als Stoff ohne Form.

Aber derjenige griechische Philosoph, welcher der Idee der Quantenphysik vielleicht am nächsten steht, ist (nach Fritz Bopp) Heraklit. Alle Dinge sind einem steten Wandel unterworfen, “alles fließt”. Man betrachte ein Raumgebiet und schaue, was darin passiert; dann kommt man genau auf den Formalismus der Quantenphysik. Nicht die Dinge haben Bestand, sondern der Wandel der Dinge; das Wesentliche steckt in den Gesetzmässigkeiten. Deswegen bei Heraklit die überragende Bedeutung des Weltgesetzes, des *Logos*. Heraklit spricht vom *Urfeuer*, das man wiederum mit dem modernen Vakuum, der Raumenergiedichte, analogisieren könnte (Heisenberg verglich Heraklits Urfeuer mit der Energie).

Die seltsamste Eigenheit der Quantenphysik, die nun endgültig den Atomismus, auf dessen Boden sie notabene gewachsen ist, kaputtschlägt, ist die Exis-

tenz sogenannte *verschränkter Zustände*. Man kann ein System von Teilchen haben, bei dem die Teilchen, wie von Geisterhand gelenkt, schneller voneinander wissen, als es die endliche Lichtgeschwindigkeit erlauben würde; sie sind miteinander “verschränkt”, d.h. *akausal* verbunden. In letzter Konsequenz ist strikte nichts separierbar. Auch hier ist man nicht verlegen um analoge Konzepte aus der griechischen Philosophie, oder besser: der griechischen Mystik (?). Auch wenn keines dieser Konzepte den modernen Sachverhalt genau trifft, erwähne ich die *Anima mundi* Platons, die *Sympathie* der Stoiker, das *Eine* der Neuplatoniker. Heute erscheint uns die Materie rätselhafter denn je, auch wenn diese Rätselhaftigkeit mathematisch formuliert werden kann.

3. Symmetrien

Doch die mathematische Beschreibbarkeit der Materie, ihre Abstraktheit, macht anscheinend gerade ihr Wesen aus. Materie ist sozusagen etwa Immaterielles. Das ruft nun Platon auf den Plan sowie ein Schlüsselkonzept der modernen theoretischen Physik: das Konzept der *Symmetrie*.

Im Dialog *Timaios* entwickelt Platon eine geometrische Theorie der Materie. Platon übernimmt von seinen Vorgängern die vier Elemente und auch das Konzept der Atome (ohne allerdings das Vakuum gutzuheissen); aber seine Atome (Elementarkörper) haben nicht irgendwelche unendlich verschiedene Formen (wie bei Demokrit), sondern jedem Element ist *eine* bestimmte Atomsorte mit bestimmter Form (wenn auch verschiedener Grösse) zugeordnet. Und diese Gebilde sind vier der fünf *Platonischen Körper* (Tetraeder – Feuer, Oktaeder – Luft, Ikosaeder – Wasser, Hexaeder – Erde; das Dodekaeder wurde später dem Aether, dem fünften Element des Aristoteles, zugeordnet).

Ein strukturelles Grundmuster dieser Elementarkörper besteht darin, dass sie aus gleichen Flächen konstruiert sind. Platon reduziert die Flächen auf zwei Sorten von Dreiecken. Feuer, Luft und Wasser bestehen aus denselben Dreiecken und können deshalb ineinander umgewandelt werden, was ja durchaus der Beobachtung entspricht (erhitztes Wasser wird zu Wasserdampf, also Luft). Platons Nachfolger (Aristoteles insbesondere) haben das nicht verstanden: Die Flächen müssten doch eine gewisse Dicke haben; denn die Welt ist dreidimensional. Aber das ist genau der Punkt: Die Flächen sind eben immaterielle, mathematische Strukturelemente. Das Wesentliche liegt in der Regelmässigkeit, Harmonie, Symmetrie, Schönheit dieser Körper. Der physikalischen Wirklichkeit liegt eine mathematische Struktur mit symmetrischen oder harmonischen Anordnungen zugrunde. Darin ist Platon ganz Pythagoreer.

Auf der Wiederentdeckung der platonischen Sichtweise, dass das “Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben ist” (Galilei), gründet der

Aufschwung der Physik im 17. Jh. Aber noch viel spezifischer erlebt die moderne Physik (des 20. Jh.) eine Wiederauflage platonischen Gedankenguts. Das hat nun mit Symmetrie zu tun. Der Begriff der Symmetrie hat sich gewandelt über die Jahrhunderte. Ursprünglich (wie hier noch bei Platon) war Symmetrie praktisch synonym mit Harmonie oder Wohlproportioniertheit. Später kam eine neue Bedeutung hinzu, nämlich Symmetrie als eine Art Austauschbarkeit von Teilen, z.B. zwischen links und rechts (Spiegelsymmetrie). Daraus entwickelte sich eine gruppentheoretische Definition der Symmetrie: *Symmetrie bedeutet Invarianz unter einer spezifischen Gruppe von Transformationen*. Die Symmetrie etwa des Ikosaeders besteht nicht primär darin, dass seine Flächen identische, schöne Dreiecke sind, sondern dass man den Körper um bestimmte Winkel rotieren, an bestimmten Punkten und Ebenen spiegeln kann, und er sich dabei gleich (invariant) bleibt.

In dieser Form ist das Prinzip der Symmetrie ohne Übertreibung zum Herzstück der ganzen theoretischen Physik geworden. Es stellt sich nämlich heraus, dass die fundamentalsten Gesetze der Physik auf Symmetrien beruhen – *und deren Brechung*. Beispielsweise haben die bekannten Erhaltungssätze (Energie, Impuls, Drehimpuls) mit Symmetrien bezüglich Raum und Zeit zu tun. Aber besonders wichtig sind Symmetrien in der Quantenmechanik und Teilchenphysik geworden. Zu jedem Teilchen gibt es ein Antiteilchen, das in allen physikalischen Eigenschaften das genaue Gegenstück darstellt. Und gerade hier zeigt sich die Bedeutung der Symmetriebrechung. Die Teilchen–Antiteilchen–Symmetrie im Kosmos ist nämlich insofern gebrochen, als es in der heutigen kosmischen Epoche viel mehr Teilchen als Antiteilchen gibt.

Die Symmetrien der Teilchenphysik sind etwas ganz und gar Abstraktes. Es sind “innere” Symmetrien, die eine Teilchensorte in eine andere überführen. Was damit gemeint ist, sieht man vielleicht am besten bei den sog. *Hadronen*, die aus *Quarks* zusammengesetzt sind.¹ Repräsentiert man die inneren, abstrakten Parameter (“Quantenzahlen”) dieser Teilchen als Raumkoordinaten, so lässt sich die Vielfalt der Hadronen, unter ihnen Protonen und Neutronen, als Gitterpunkte eines Kristalls verstehen – und die Teilchensymmetrie erinnert dann, wie Abb. 1 zeigt, ganz direkt an die platonischen Körper!

¹ Hadron kommt von gr. *hadros* = dick und sperrig. Hadronen sind schwere Teilchen wie die Protonen und Neutronen; sie bestehen neben den Leptonen, von gr. *leptos* = dünn, zu denen das Elektron gehört. Die Namen der Teilchen sind zumeist griechisch, nur “Quark” sicher nicht. Dieser Name geht auf den amerikanischen Physiker Murray Gell-Mann zurück, der als begeisterter Joyce-Leser seine hypothetischen Teilchen nach einem Joyce-Zitat *quarks* taufte (“Three quarks for Muster Mark”, aus dem Roman *Finnegans Wake*). Immerhin besteht auch hier ein griechischer Bezug, denn Joyce ist der Autor von *Ulysses*!

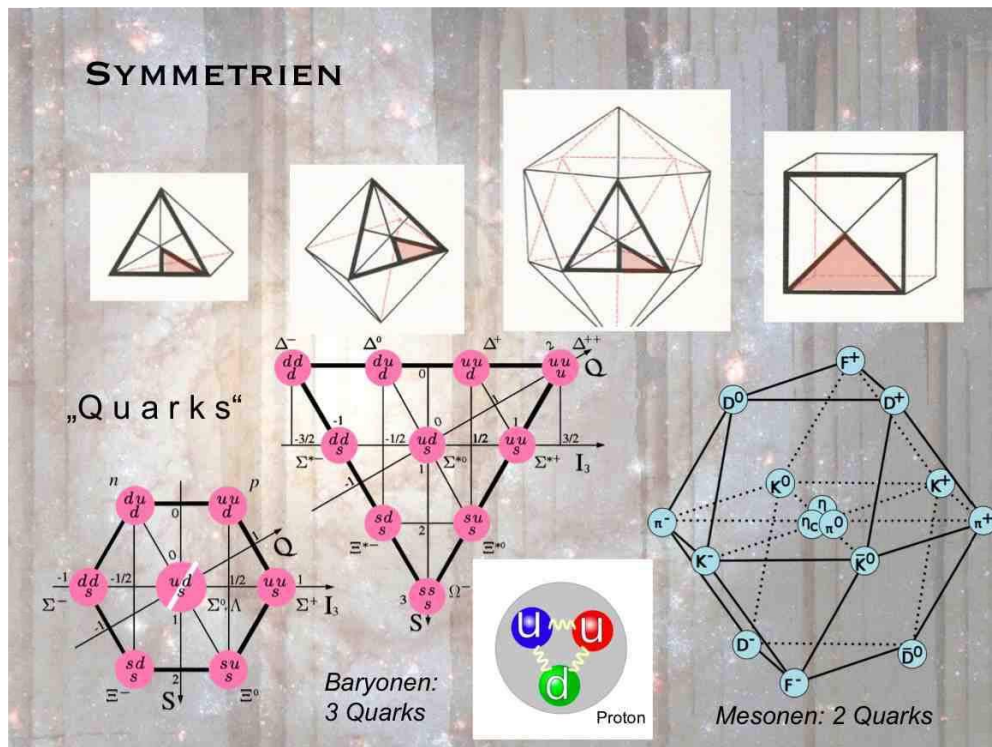


Abb.1 Die platonischen Körper (oben) im Vergleich mit den Repräsentationen der "Hadronen" ("Baryonen" und "Mesonen") im abstrakten Raum der Quantenparameter.

Es ist das allgemeine Bestreben der theoretischen Physik, die Naturgesetze, insbesondere die Wechselwirkungen, welche die Vielfalt der physikalischen Phänomene erklären, immer mehr zu vereinheitlichen. Die Geschichte der Physik zeigt diesen Prozess Schritt für Schritt. Das fing an mit der Vereinigung der himmlischen mit der terrestrischen Physik (Gravitation) durch Newton, weiter über die Vereinigung von Elektrizität und Magnetismus im Elektromagnetismus durch Maxwell, der Vereinigung von Elektromagnetismus und schwacher Wechselwirkung in der elektroschwachen Wechselwirkung vor 50 Jahren, bis hin zu ganz neuen Bestrebungen, die "starke" mit der elektroschwachen Wechselwirkung zu vereinigen oder schliesslich sogar die Gravitation mittels einer Theorie der Quantengravitation, die noch zu entwickeln ist, in einer letzten, höchsten Einheit und Symmetrie hinzuzunehmen. Immer ist es ein Weg zu höherer Symmetrie und Einheit (was leider nicht bedeutet, dass diese höhere Einheit mathematisch einfacher zu verstehen ist, wohl eher im Gegenteil!). Die Vielfalt der Kräfte, die wir heute beobachten, ist die Folge einer Serie von Symmetriebrechungen (davon mehr später).

Was heute in der Physik ansteht, ist die empirische Etablierung eines "Standardmodells", eine Vereinigung der starken und der elektroschwachen Wechselwirkungen, die man durch eine sogenannte *Supersymmetrie* bewerkstelligen will. Die Supersymmetrie (gewöhnlich mit SUSY abgekürzt) stellt eine

Symmetrie her zwischen sog. Fermionen (Teilchen mit halbzahligem Spin, wie Elektronen und Kernteilchen) und sog. Bosonen (Teilchen mit ganzzahligem Spin, wie Photonen). Um diese Symmetrie zu bilden, in der Erwartung, dass es die Natur genauso macht, postuliert man die Existenz eines SUSY-Partners oder Spiegelteilchens für jedes normale Teilchen. Zusammen würden die Teilchen dann eine höhere Einheit oder Symmetrie, eben eine Supersymmetrie bilden. Diese SUSY-Teilchen werden zur Zeit am CERN mit der neuen Maschine, dem Large Hadron Collider (LHC), gesucht (mehr darüber weiter unten).

Während die SUSY-Theorie realistisch erscheint, ist die *Stringtheorie*, die nach einer Vereinigung mit der Gravitation greift, zur Zeit hoffnungslos weit entfernt von jeglicher experimentellen Überprüfbarkeit. Aber die Theorie ist faszinierend und erwähnenswert, weil mit ihr eine allbekannte archetypische Vorstellung wieder auftaucht – nämlich dass die letzte Wirklichkeit der “Materie” etwas mit Schwingungen zu tun hat. Die Grundidee ist die, dass die strukturellen Grundeinheiten keine Punktsingularitäten sind (Teilchen), sondern eindimensionale Fäden: Strings. Was wir als Teilchen auffassen, sind möglicherweise blosse *Vibrationszustände* solcher Fäden. Die Analogie zu *Pythagoras’ Harmonielehre* muss kaum erwähnt werden.

Die Teilchenphysik findet also hauptsächlich Anklänge bei Platon und Pythagoras (und natürlich bei den Atomisten). Aristoteles haben wir damit weitgehend ausgelassen. Er kommt aber wieder ins Spiel, sobald wir uns der Kosmologie zuwenden.

4. Kosmos

Der aristotelische Kosmos ist den Vorstellungen seiner Vorgänger nachgebildet. Er ist geozentrisch, sphärisch, endlich, hierarchisch. Eigentümlich bei Aristoteles ist die scharfe Trennung zwischen *sublunarer* und *supralunarer* Region. Es gibt “natürliche Orte” und “natürliche Bewegungen” für die vier bzw. fünf Elemente (die Elemente sind von unten nach oben geschichtet: Erde, Wasser, Luft, Feuer, Aether; die vier sublunaren Elemente bewegen sich natürlicherweise linear oben-unten, das fünfte Element bewegt sich kreisförmig – siehe Abb. 2 links).

Man kann fragen, was uns denn an dieser “netten Käferbüchse” noch an die moderne Kosmologie erinnern soll. Bei näherem Hinsehen erstaunlich viel! So wird beispielsweise die *Ortslehre des Aristoteles* seit langem mit der Allgemeinen Relativitätstheorie von Einstein in eine gewisse Analogie gesetzt. Für Aristoteles ist der Ort eines Körpers definiert durch seine Oberfläche, mit welcher er die ihn umgebenden Körper berührt. Raum und Dinge werden so miteinander verknüpft; gewisse Dinge gehören an gewisse Orte. Bei Einstein

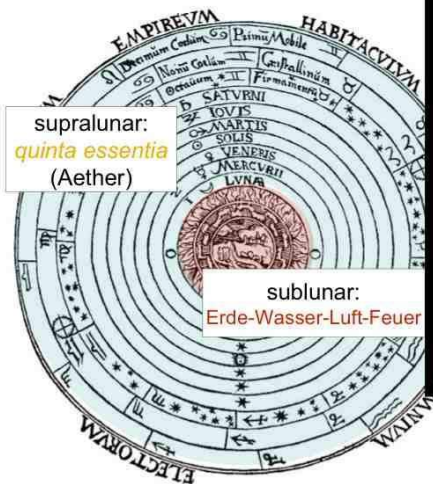
wird der Raum definiert durch die in ihm enthaltene Materie; die Materie bestimmt die Geometrie des Raumes. Die prinzipielle Verwandtschaft dieser Konzepte ist evident. Was man sich zu Newtons Zeit noch nicht vorstellen konnte und was erst im Lauf des 19. Jh. klar wurde: Die Geometrie des Raumes kann *nicht-euklidisch* sein. Dabei war der vorneuzeitliche (antik-mittelalterliche) Kosmos noch selbstverständlich nicht-euklidisch. Die antiken Kugelschalen der Gestirne entsprechen in gewisser Weise dem gekrümmten Raum der Relativitätstheorie.

Seit einiger Zeit gilt der Weltraum aufgrund von “harter” Beobachtungsevidenz im grossen Massstab als euklidisch. Aber das betrifft nur den Raum, nicht die Raum–Zeit.

Raum und Zeit sind durch die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit stets miteinander verknüpft. Entlegene Orte können wir immer nur in der Vergangenheit erfassen, nie im Jetztzustand; denn das Licht, als Informationsträger, braucht Zeit, bis es zu uns gelangt. Der Raum, zu einer gegebenen Zeit, lässt sich strikte nicht beobachten, nur die Raum-Zeit bzw. ein kleiner Ausschnitt der Raum-Zeit, der durch die Lichtgeschwindigkeit definiert ist. Konkret wird die Astronomie dadurch zur Geschichtsforschung. Je weiter hinaus wir blicken, desto tiefer sehen wir in die Vergangenheit. Sterne sehen wir so, wie sie vor Jahrtausenden, Galaxien wie sie vor Jahrmillionen waren – immer weiter hinaus und weiter zurück. Auf tiefen Aufnahmen mit dem Hubble-Weltraumteleskop sehen wir, in einer Art geschichtlicher “Tiefenbohrung”, quer durch alle Zeiten bis zu den Anfängen der Galaxienentstehung ca. 1 Milliarde Jahre nach dem Urknall (Big Bang). Schliesslich gelangt man an den (optisch unsichtbaren) “*kosmischen Mikrowellenhintergrund*”, einer Zeitepoche ca. 400000 Jahre nach dem Urknall entsprechend, die uns von der heissen, dichten Frühphase des Universums trennt. Das *beobachtete, beobachtbare* Universum wird dadurch zur “positiv” gekrümmten Raum-Zeit-Kugel mit einem endlichen Horizont von ca. 14 Milliarden *Lichtjahren*, der durch das Weltalter von ca. 14 Milliarden Jahren gegeben ist (so weit zurück datiert man heute den Urknall). Im Prinzip kehren damit alle Grundeigenschaften des aristotelischen Kosmos zurück (nicht geozentrisch, aber *beobachterzentrisch* sowie *sphärisch, endlich, hierarchisch*) – siehe Abb. 2. Selbstverständlich ist der neue Kugelkosmos des beobachtenden Kosmologen schier unendlich viel grösser als der antik-mittelalterliche. Aber wir reden über morphologische Ähnlichkeiten, nicht über quantitative Übereinstimmungen. Im Zentrum des Interesses steht hier die archetypische Gestalt, wie sie in der Wissenschaftsgeschichte immer wieder hervorbricht.

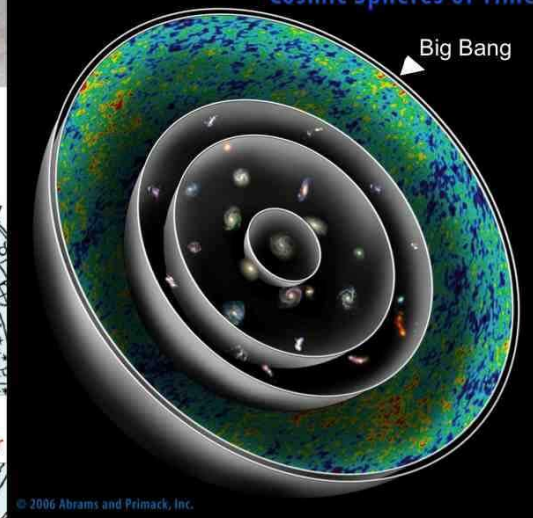
KOSMOS

Schema huius praeiudicis diuisionis Sphaerarum.



Sphärenkosmos nach **Aristoteles**

Cosmic Spheres of Time



Das beobachtbare Universum ist

- endlich und kugelförmig
- zentriert auf Hier und Jetzt
- hierarchisch (von oben nach unten)

als die physikalischen Kraftgesetze einander ausnahmslos gleichgestellt waren, hatten alle elementaren Bausteine der Natur, die schweren wie die leichten, die gleichen Rechte und die gleiche Bewegungsfreiheit. Die exotischsten Teilchen, die der Mensch je entdeckt oder auch nur erträumt hat, wurden freigesetzt und nahmen an diesem unbeschränkten Austausch teil. Die Temperaturen waren so hoch, dass kein Teilchen Bestand hatte. Alle lebten und starben in einem unwahrscheinlich kurzen Augenblick der Herrlichkeit. Für die zerfallenen tauchten augenblicklich andere auf, um ihren Platz einzunehmen. So wurde die Energie aufgeteilt und hin- und hergeschoben.

Dieser idyllischen Ära war jedoch keine Dauer beschieden. Sobald die Temperaturen unerbittlich zu fallen begannen, brachen die Symmetrien. Das Paradies ging verloren; starre Muster und Verschiedenartigkeit gewannen die Oberhand. Es bildeten sich keine neuen Teilchen mehr. Niedergang beherrschte die subatomare Welt, und die Folge davon ist das mannigfaltige Universum einer gebrochenen Symmetrie, das uns heute umgibt.”

Die stufenweise Ausfaltung der Welt aus der Einheit, ihre wachsende Komplexität (negativ ausgedrückt: ihre zunehmende Abkehr, ihr “Abfall” von der ursprünglichen Einheit), – entspricht sie nicht der ins Zeitliche umgedeuteten Seinshierarchie der Neuplatoniker? In moderner, physikalischer Sicht vollzieht sich dabei eine Kette von Symmetriebrechungen: Aus der (noch unbekannten) “Urkraft” entfalten sich die vier heutigen, oben genannten Grundkräfte, aus der Gleichwertigkeit aller Teilchensorten (und ihrer Antiteilchen) wird die Dominanz der “gewöhnlichen” Materie, aus der alles besteht, was uns umgibt: Protonen, Neutronen, Elektronen, Photonen. ‘Materie als geronnener Geist’ (Einstein) – diese neuplatonische Metapher wird nicht zufällig von Physikern gerne benutzt.

Aber parallel zu diesem steten Abstieg vom Einen gibt es auch einen fortschreitenden *Aufstieg zum Einen zurück*. Aus komplexer Materie wird “Leben”, aus komplexem Leben “Geist”. Man kann sich darüber streiten, worin denn die Geistigkeit des Menschen besteht, aber sicher wird man das höchste Ziel der Physik, eine umfassende, vereinheitlichte Theorie der physischen Welt aufzufinden, zu den höchsten geistigen Bestrebungen des Menschen zählen dürfen. Und wenn wir diese Sicht zulassen, so wird *bildlich* klar, wohin sich dieses Geistige entwickelt: zurück zum Ursprung, zum “verlorenen Paradies” höchster Einheit und Symmetrie – nicht physisch zu erreichen, aber virtuell, auch mit Hilfe der grossen CERN-Maschine, die im Journalisten-Jargon den “Urknall nachsimulieren” soll (hoffentlich nicht!). Alles, was wir oben über die Entwicklung der modernen Physik gesagt haben: dass sie nach immer grösserer Symmetrie und Einheit strebt, entspricht dies nicht wiederum dem höchsten Bestreben des Neuplatonikers –freilich nicht mit derselben, eher weltverneinenden Hal-

tung? Und auch die Astronomen streben diesem Ursprungspunkt zu. Mit immer besseren Instrumenten stossen sie, inAnalogie zum alten Sphärenkosmos, in immer höhere Sphären vor, dorthin, wo wir die lichthafte Frühzeit des Kosmos, zuletzt den Urknall abgebildet sehen (könnten). Ihr Vorstoss zum Big Bang ist morphologisch ein Flug durch die Sphären (antike Vorbilder brauchen hier kaum erwähnt zu werden)! Die Umkehr oder Rückkehr zur ursprünglichen Einheit: dieses neuplatonische Ethos gilt eigentlich auch für die Astronomen und Teilchenphysiker. Abstieg (Schöpfungsprozess) und Aufstieg (Erkenntnisprozess) gehören zusammen, sie sind dasselbe, bloss gespiegelt. Der Urknall ist der Anfang der Welt und zugleich das Ziel unserer Forschung. Der Neuplatoniker sucht die Ekstase, um zum Einen zurückzukehren. Der Forscher geht diesen Weg in nüchterner Rationalität, wird aber wohl, unbewusst, vom selben Eros getrieben.

5. (Quintessenz) Anthropos

Schon immer mochte sich der Mensch darüber wundern, dass alles so “gut passt”. Die ganze Welt scheint auf ihn und seine Bedürfnisse zugeschnitten zu sein. Wie kommt das? Die Götter haben es so eingerichtet, lautet die früheste (und für manche noch immer gültige) Antwort. Diese Sichtweise hat Aristoteles rationalisiert mit seinem Konzept der *Zweckursache* (*causa finalis*). Sein teleologisches Denken: dass das Ziel in den Dingen selbst steckt, war bekanntlich der Entwicklung der Wissenschaft nicht gerade förderlich. Seit Darwin wissen wir, dass nicht die Welt auf den Menschen passt, sondern der Mensch in die Welt. Er hat sich an die Umwelt angepasst in einem langen Prozess der biologischen Evolution.

Aber so einfach ist es doch nicht; die Frage nach der “Menschenfreundlichkeit” der Welt bleibt bestehen. Man muss nämlich über das rein Biologische hinausgehen und, im Rahmen einer *kosmischen* Evolution, nach den *physikalischen* Bedingungen fragen, unter denen die Bildung von Wasser, Kohlenstoff und all dem andern, was es für das Leben braucht, im Universum überhaupt möglich ist. Und da hat es sich herausgestellt, dass kleinste Änderungen in den Naturkonstanten eine völlig anders geartete Welt zur Folge gehabt hätten. Dieses “Finetuning-Problem” wird in der Kosmologie seit längerem als sog. *anthropisches Prinzip* formuliert; in einer verbreiteten Version lautet es wie folgt: ‘Das Universum muss so beschaffen sein, dass es die Entwicklung intelligenten Lebens zulässt – sonst wären wir nicht hier’. Der Schlüssel zur Lösung dieses Problems liegt im Wörtchen “muss”, das ganz verschieden interpretiert werden kann. Die einfachste Lösung ist eigentlich ein Rückfall in das teleologische Denken. Die meisten Theologen scheuen sich nicht, das anthropische Prinzip als

modernen Gottesbeweis zu benutzen. Die Antwort der “offiziellen” Wissenschaft ist eine ganz andere, sie lautet ungefähr so: ‘Es gibt unendlich viele Universen (ein “Multiversum”), so dass es *zufällig irgendwo* so sein wird wie hier; die scheinbar massgeschneiderte Welt ist ein reiner Auswahleffekt’. Das ist ganz im Geiste Darwins: Zufall und Auswahl heissen die Schlüsselwörter (letzteres jedoch in einem andern Sinn). Der theoretische Aufwand, um das Zufallsprinzip zu “retten”, mutet allerdings grotesk an: Man postuliert, mit Hilfe des (halbwegs etablierten) “inflationären Szenarios” und der (sehr umstrittenen) “Stringtheorie” (s.o.) eine unendliche Zahl von Paralleluniversen – das ist nun auch nicht gerade sehr denkökonomisch!

Welche Lösung man auch bevorzugt, das anthropische Prinzip macht klar, dass unsere Suche nach höheren Symmetrien nicht unbedingt erfolgreich verlaufen muss. Möglicherweise jagen wir einem blossen Phantom nach. Die Welt ist vielleicht letztlich nicht so “platonisch schön”, Denken und Sein nicht kongruent, wie wir das gerne hätten. Die Welt muss eigentlich bloss “funktionieren”, und das tut sie gewissermassen “automatisch” – durch die blossen Tatsache unserer Existenz. Dieser Verdacht hat nun auch mögliche Auswirkungen auf die zu erwartenden Befunde des grossen Experiments, das gegenwärtig am CERN läuft.

Es wurde bereits erwähnt, dass man mit dem CERN LHC bzw. dem angeschlossenen ATLAS (!) -Detektor hauptsächlich die SUSY-Teilchen auffinden will.² Tatsächlich stösst man mit der Maschine in einen Energiebereich (bzw. Massenbereich der Teilchen) vor, wo nach den (Super-) Symmetrieüberlegungen der Theoretiker die SUSY-Teilchen auftauchen müssten. Aber nach dem oben Gesagten muss man fragen: Müssen sie es wirklich? Es ist durchaus denkbar, dass sie erst bei viel höheren, noch lange nicht erreichbaren Energien – oder überhaupt nie – hervortreten, einfach weil die Welt (“anthropisch”) ist, wie sie ist. Wie ein führender Theoretiker der Szene, Andrej Linde, einmal maliziös bemerkte: *“Ignoring anthropic principles can be expensive”*.

Dieses grundsätzliche Gegensatzpaar von möglichen Ergebnissen des CERN-Experiments erscheint mir wie eine (abermalige!) Neuauflage des Wettbewerbs zwischen Platon und Aristoteles, der die gesamte Geistes-

² Auch hier, in den Untergrundexperimenten des CERN, lässt sich eine Parallele zur Antike erblicken: Anscheinend gilt nämlich noch immer, dass man in die Unterwelt steigen muss, um die Wahrheit zu erfahren... Befragt wird dort allerdings keine nachtodliche Seele, auch die Natur wird nicht befragt. Diese wird vielmehr aufs Folterbett gespannt, um eine Antwort aus ihr herauszuquetschen. Das ist das neuzeitliche (und noch moderne) Verständnis des Experimentierens, wie es Francis Bacon formuliert hat. Darin zumindest unterscheiden wir uns gründlich von der Antike.

geschichte des Abendlands durchzieht: mal triumphiert Platon, mal Aristoteles, – und nun sind wir sehr gespannt, wie das Rennen am CERN verlaufen wird. Bis Ende 2012 soll das Experiment praktisch ununterbrochen laufen, und wir werden es vielleicht bald wissen. Sollte man tatsächlich die “erdachten” SUSY-Teilchen finden, so würde das einer eher physikalistischen, idealistischen, kurz “platonischen” Weltsicht Auftrieb verleihen – bzw. sie würde weiterhin bestehen bleiben, denn bisher hat es mit den Vorhersagen sehr oft geklappt. Sollten die SUSY-Teilchen aber ausbleiben, dann käme der aristotelische Biologismus oder Empirismus selbst in der bisher eher idealistischen Physik und Kosmologie vermehrt zum Zuge.

Was auch immer die Forschung, aus dem “Untergrund” und aus der “himmlischen Überwelt”, an den Tag bringen wird, eine Begegnung mit der antiken Philosophie ist unausweichlich. *Die Antike ist lebendiger denn je!*

Die Powerpoint-Bilder zum Vortrag sind unter folgender Adresse abrufbar: www.brunobinggeli.ch/pdf/antike-reminiszenzen.pdf (10.8 MB)

Literatur:

John Barrow, Joseph Silk: *Die linke Hand der Schöpfung*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1995 (Original *The left hand of creation*, New York 1983)

Bruno Binggeli: *Primum Mobile: Dantes Jenseitsreise und die moderne Kosmologie*, Ammann Verlag, Zürich 2007

Fritz Bopp: *Zur Grundvorstellung der Quantenmechanik*, in: *Convivium Cosmologicum*, A. Giannaras (Hg.), Birkhäuser Verlag, Basel 1973

Werner Heisenberg: *Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, Piper Verlag, München 2006

Wolfgang Pauli: *Der Einfluss archetypischer Vorstellungen auf die Bildung naturwissenschaftlicher Theorien bei Kepler*, in: *Naturerklärung und Psyche*, Studien aus dem C.G. Jung Institut IV, Rascher Verlag, Zürich 1952

Lucio Russo: *Die vergessene Revolution – oder die Wiedergeburt des antiken Wissens*, Springer Verlag, Heidelberg 2005

Shmuel Sambursky: *Das Physikalische Weltbild der Antike*, Artemis Verlag, Zürich 1965

Shmuel Sambursky: *Das physikalische Denken der Antike im Licht der modernen Physik*, in: *Naturerkenntnis und Weltbild*, Artemis Verlag, Zürich 1977, p. 9

Shmuel Sambursky: *Von der unendlichen Leere bis zur Allgegenwart Gottes: Die Raumvorstellungen der Antike*, in: *Naturerkenntnis und Weltbild*, Artemis Verlag, Zürich 1977, p. 273

Alfred Stückelberger: *Einführung in die antiken Naturwissenschaften*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1988

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Bruno Binggeli
Departement Physik
Universität Basel
Klingelbergstrasse 82
CH-4056 Basel

Bruno.Binggeli@unibas.ch
www.brunobinggeli.ch