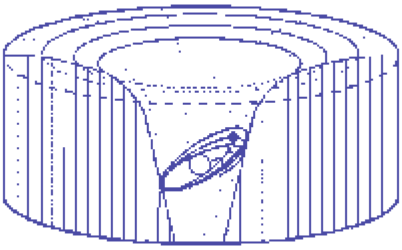

Einsteins Relativitätstheorie kontra klassische Mechanik

Paul Marmet

übersetzt von Mathias Hüfner

letzte Durchsicht 01.08.12

Kapitel Zwei

Transformation der Anregungsenergie zwischen Bezugssystemen.

2.1 - Einführung.

Wir betrachten jetzt die kinetische Energie als zu den Massen gehörend, wenn kein Gravitationspotential vorhanden ist. Das Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung erfordert, dass die Masse zunimmt, wenn kinetische Energie hinzu gegeben wird. Das ist bereits demonstriert worden (siehe Kapitel 1). Dieses wird durch das Verhältnis ausgedrückt:

$$m_v[rest] = \gamma\, m_s[rest] \qquad 2.1$$

wo:

$$\frac{1}{\gamma^2} = 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \qquad 2.2$$

Der Index [rest] bedeutet, dass die Messung unter Verwendung von Einheiten des ruhenden Bezugssystems gemacht wird. Die Tiefzeichen v und s beziehen sich auf Massen, die entweder eine Geschwindigkeit v beziehungsweise keine Geschwindigkeit (s für stationär) haben. Diese Indizes werden im Detail in Abschnitt 2,6 erklärt.

Da Massen angeregte Teilchen sein können, die interne potentielle Energie enthalten, müssen wir untersuchen, wie man diese potentielle Energie zwischen Bezugssystemen transformiert. Das Masse-Äquivalent dieser internen potentiellen Energie ist in der Relativitätstheorie immer ignoriert worden. Um widerspruchsfrei zu sein, muss es berücksichtigt werden. Wir wollen zeigen, wie diese Korrektur die physikalische Wirklichkeit in der Relativität wiederherstellt. Um das Verhältnis zwischen Massen in den verschiedenen Bezugssystemen zu berechnen, verwenden wir das Prinzip der Erhaltung von Masse und Energie (Gleichung 2,1). Wir wollen eine gleichwertige Relation für den Fall von freigegebener Energie durch ein angeregtes Atom finden.

2.2 – Der Unterschied zwischen Zeit und was Uhren anzeigen.

Es ist vorgeschlagen worden, dass Zeit sei, was Uhren messen[1]. Diese Definition ist unvollständig und irreführend. Wir haben in Kapitel 1 gesehen, dass wegen der Masse-Energie-Erhaltung Uhren in verschiedenen Gravitationspotentialen mit unterschiedlicher Taktrate laufen. Wir müssen feststellen, dass „Zeit" nicht langsamer abgelaufen wird, weil eine Uhr mit einem langsameren Takt arbeitet, oder weil

1 Dieser Vorschlag stammt aus Einsteins grundlegender Arbeit „ Zur Elektrodynamik bewegter Körper" aus dem Jahre 1905 *Es könnte scheinen, daß alle die Definiton der „Zeit" betreffenden Schwierigkeiten überwunden werden könnten, daß ich anstelle der „Zeit" die „ Stellung des kleinen Zeiger meiner Uhr" setze.* Der Übersetzer

die Atome und die Moleküle in unserem Körper mit einem langsameren Takt arbeiten.

Wir haben in Gleichung (1,22) gesehen, dass im Falle einer Änderung des Gravitationspotentials der Bohr-Radius größer wird, wenn die Elektronenmasse kleiner wird. Wir wissen auch, dass entsprechend der Quantenmechanik, Atomuhren langsam laufen, wenn die Elektronenmasse kleiner ist. Wenn wir sagen, dass eine Atomuhr langsam läuft, meinen wir, dass es für diese Atomuhr länger dauert, einen vollen Takt zu beenden als für eine Atomuhr im Ausgangs-Bezugssystem, in dem das Elektron eine größere Masse besitzt. Dieses langsamere Tempo kann nur gemessen werden, indem man die Dauer eines Taktes im Ausgangs-Bezugssystem mit der Dauer eines Takts im neuen Bezugssystem vergleicht. Es ist der Zeittakt, der im Ruhezustand im Ausgangs-Bezugssystem gemessen wird, der als der „Bezugszeittakt" gilt. Wir sehen, dass alle Beobachtungen mit diesem unveränderlichen „Bezugszeittakt" vereinbar sind.

Die Änderung der Taktfrequenz ist für Atomuhren nicht spezifisch. Wir erinnern uns, dass die Quantenmechanik zeigt, dass die internen Abstände zwischen den Molekülen und in den Kristallen zum Bohr-Radius proportional sind (siehe Anhang I). Infolgedessen ändert sich wegen der Geschwindigkeit die Länge eines mechanischen Pendels. Deshalb kann gezeigt werden, dass die Schwingungsdauer aller Uhren (elektronisch oder mechanisch) sich ebenfalls mit der Geschwindigkeit ändert.

Wir können nicht sagen, dass „Zeit" mit dem Tempo fließt, mit dem *alle* Uhren laufen, weil nicht alle Uhren mit der gleichen Taktrate laufen. Eine einheitliche Maßeinheit „Zeit" muss sich jedoch immer auf den Referenztakt beziehen. Dieser Referenztakt ist das, was von einen Referenztaktgeber gegeben wird, für den alle Bedingungen vollständig beschrieben sind. Er ändert sich nie. Jedoch werden alle Körper um uns (einschließlich unseres eigenen Körpers) durch eine Änderung der Elektronenmasse beeinflusst (siehe Anhang ***Die Abhängigkeit der Körpergröße vom Elektronenradius***), so dass wir fest an den Takt *der* Uhren gebunden sind, die in unserem Bezugssystem laufen. Da unser Körper und alle Experimente in unserem Bezugssystem eng mit dem Systemtakt synchronisiert werden, ist es viel bequemer, die Ergebnisse der Experimente als Funktion der Taktfrequenz in unserem eigenen Bezugssystem zu beschreiben. Das ist, was wir die „Sonnenzeit" nennen.

Wir beziehen uns im Allgemeinen auf die Taktfrequenz unseres Organismus und meinen, dass wir uns auf die „Echtzeit" beziehen. Was uns als ein „Zeitintervall" erscheint, ist tatsächlich der Unterschied zwischen zwei „Uhranzeigen" auf einer Uhr, die sich in unserem eigenen Bezugssystem befindet. „ Die Differenz der Uhranzeige" (ΔCD) ist eine schwierigere Phrase als der „Zeitabstand" aber sie ist für eine genaue Beschreibung der Natur notwendig. Selbstverständlich sind Uhren Instrumente der Zeitmessung, aber gleichzeitig besteht zwischen verschiedenen Bezugssystemen ein Unterschied infolge eines Proportionalitätsfaktors zwischen den „Differenzen der Uhranzeige". Um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden, müssen wir das Wort „Zeit" mit großer Vorsicht verwenden, wenn wir die Beschreibung verkürzen möchten. In diesem Fall ist „Zeit" ein *Sonnenzeitintervall* entsprechend der Differenz der Uhranzeigen im gegebenen Bezugssystem, da keine Korrektur gemacht worden ist, um sie mit der Bezugszeit zu vergleichen. Da alle unseren Uhren und biologischen Mechanismen von der Elektronenmasse und ihrer Energie abhängen, fühlen Menschen nichts ungewöhnliches beim Übergang zu einem neuen Bezugssystem. Jedoch ist die Zeit, die vom Beobachter in diesem neuen Bezugssystem gemessen wird, eine *Sonnenzeit* und sie muss korrigiert werden, um mit dem Zeitintervall im Basis-Bezugssystem verglichen werden zu können.

2.3 – Die Beschreibung des Referenzzeit-Taktes.

Wir können keine Uhr herstellen, deren Taktrate sich nicht verändert, wenn sie in ein anderes Gravitationspotential gebracht wird oder eine andere Geschwindigkeit erhält. Jedoch unter Verwendung des Erhaltungsprinzips von Masse und Energie haben wir in Gleichung (1,22) gesehen, wie man den Unterschied der Taktfrequenzen zwischen den Uhren berechnet, die sich auf verschiedenen Gravitationspotentialen ohne relative Geschwindigkeiten befinden. Das heißt, dass wir die Taktfrequenz in einem Bezugssystem als Funktion der Taktfrequenz in einem anderen Bezugssystem berechnen können, solange das Gravitationspotential und die kinetische Energie in beiden Bezugssystemen vollständig bekannt sind.

Eine absolute „Referenztaktrate" kann unter Verwendung einer Uhr definiert werden, die sich in einem Bezugssystem befindet, in dem die Geschwindigkeit und das Gravitationspotential gut bekannt sind. Zum Beispiel könnte dies eine Uhr sein, die in Bezug auf die Sonne ruht und weit genug von ihr entfernt ist, um das restliche Gravitationspotential vernachlässigen zu können. Wir könnten dann willkürlich die „Referenztaktrate“ als die Rate definieren, bei der diese Uhr unter diesen speziellen Bedingungen funktioniert. Überall im Universum würden wir uns auf diese Rate als die „Referenzzeitrate“ beziehen können. Wenn solch ein Referenztaktgeber aus dem Weltraum zu einem Standort nahe der Sonne geholt würde, haben wir in Kapitel 1 herausgefunden, dass wegen der Masse-Energie-Erhaltung, er langsamer laufen würde, weil die Elektronen Masse in Energie verlieren würden, die von seinem Ausgangs-Bezugssystem verschwinden würde.

Wir wollen annehmen, dass ein Beobachter nahe der Sonne den Zeitraum der Veränderung des Lichtes messen möchte, das von einem entfernten veränderlichen Stern kommt. Er benutzt seine Uhr und notiert die Uhranzeige jedes Mal, wenn der Stern sein Helligkeitsmaximum erreicht hat. Der Unterschied zwischen zwei Maxima gibt ihm den Zeitraum der Veränderung des Sterns unter Verwendung seiner Taktfrequenz. Wir wollen durch ΔCD_s (wo s für Sonne steht), die Differenz der Uhranzeigen für die Uhr nahe der Sonne darstellen. Weil in Einsteins Relativitätstheorie Zeit ist, was Uhren messen, wird ΔCD_s als Zeitabstand interpretiert. Wir wissen jedoch, dass eine Differenz von Uhranzeigen einfach eine reine Zahl liefert ohne irgendwelche Informationen darüber, was die absolute Zeit ist. Das Tiefzeichen von ΔCD_s verweist nur auf den Standort der Uhr und nicht auf eine absolute Zeiteinheit. Wir wissen auch, dass eine andere Uhr weit weg von der Sonne (in einem höheren Gravitationspotential) eine andere Differenz der Uhranzeigen angibt, die mit $\Delta CD_{o.s}$ (wo o.s für Weltraum steht) bezeichnet wird, zwischen allen Maxima, weil sie mit einer anderen Taktrate läuft (die der „Bezugstaktfrequenz“ im Weltraum gleich ist). Infolgedessen ist die aufgezeichnete ΔCD_s nahe der Sonne nicht die gleiche wie die $DCD_{o.s}$, die im Weltraum aufgezeichnet wurde. Der Beobachter nahe der Sonne hat die Illusion einer „Zeitdifferenz“ (die er Δt nennen möge), die sich von der unterscheidet, welche von einem Beobachter gemessen wird, der sich im Weltraum befindet, einfach weil die Taktfrequenz an seinem Standort anders ist, wegen einer anderen Elektronenmasse. Man muss verstehen, dass das Echtzeitintervall eines Sternzyklus nicht variiert, nur weil sich der Beobachter wo anders hin bewegt hat, oder weil seine Uhr mit einer anderen Taktrate läuft. Folglich wenn wir uns auf ΔCD beziehen, müssen wir immer mit einem Tiefzeichen angeben, in welchem Bezugssystem sich die Uhr befindet. Dann muss eine Korrektur zu dieser Zahl gemacht werden, wenn wir die entsprechende ΔCD berechnen möchten, die durch einen Bezugstaktgeber im Weltraum gegeben wird. Wir müssen uns daran erinnern, dass die ΔCD, die durch einen Systemtakt gegeben wird, eine reine Zahl ist, die mit einer Zeiteinheit multipliziert werden muss, um eine „Echtzeit“- Differenz zu erhalten. Deshalb muss eine absolute Referenz „der Zeiteinheit“ definiert werden. Außerdem sieht der absolute Standard der Zeiteinheit in den verschiedenen Bezugssystemen unterschiedlich aus, da wir gesehen haben, dass Systemtakte mit unterschiedlicher Taktrate in verschiedenen Gravitationspotentialen laufen.

Wir sehen, dass es keine Zeitausdehnung noch Zeitkontraktion gibt. Es gibt keine Magie. Um zwischen Systemen vergleichen zu können, ist es absolut notwendig, die Unterschiede von Uhranzeigen (die nicht Zeit sondern Zahlen von Zeiteinheiten sind) anstelle von Zeitabstände zu vergleichen.

Dieses Problem kann mit dem Parameter „Zeit“ *direkt* nicht richtig ausgedrückt werden, wegen des psychologischen Eindruckes auf Menschen, dass Zeit die Taktrate sei, mit der unser eigener Organismus läuft. Letztere Taktrate hängt von der Elektronenmasse im Bezugssystem ab, in dem wir uns befinden. Folglich müssen wir mit dem Ausdruck „Unterschied der Uhranzeige“(ΔCD_{frame}) vertraut werden, der daran erinnert, dass er dem „Zeitintervall“ entspricht, von dem man meint, dass es von einem Beobachter in diesem bestimmten Bezugssystem empfunden würde.

Wir haben oben gesehen, dass zwei Uhren, die sich in verschiedenen Gravitationspotentialen befinden, nicht die gleiche Differenz von Uhranzeigen während des gleichen Echtzeitintervalls zeigen. Wir sehen nun, dass auch die Quantenmechanik voraussagt, dass Taktfrequenzen unterschiedlich sind, wenn diese Uhren in Bezugssysteme getragenen werden, die unterschiedliche kinetische Energien haben. Wir könnten annehmen, dass diese relativistische Korrektur einfach gemacht werden könnte, indem man die Zunahme der Elektronenmasse wegen der Einführung der kinetischen Energie berücksichtigte, aber diese Korrektur ist zu einfach und unvollständig (wie wir in den Abschnitten 2,8 und 2,9 sehen werden) und missachtet die Notwendigkeit, die Übertragung der internen Anregungsenergie zwischen Systemen zu betrachten. Um relative Taktfrequenzen berechnen zu können, müssen wir zuerst das Verhältnis zwischen der Anregungsenergien von Atomen in den Bezugssystemen finden, die unterschiedliche Geschwindigkeiten haben.

2.4 – Die Beschreibung des Referenzmeters.

Die Standarddefinition der Länge benutzt eine Einheit, die das „Meter“ genannt wird. Um widerspruchsfrei zu sein, müssen wir das Meter auf eine Art und Weise definieren, die in jedem beliebigen Bezugssystem reproduziert werden kann. Es wird im Allgemeinen in der Physik angenommen, dass man, ohne irgendeine Änderung der Länge, ein Standardmeter vom ruhenden Bezugssystem zu einem bewegten Bezugssystem übertragen könne. Das ist falsch, weil das mit dem Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung und mit der Quantenmechanik nicht übereinstimmt. Wenn kinetische Energie (oder potentielle Energie) zu einer Stange hinzugefügt oder von ihr entfernt wird, wird sich die Elektronenmasse und der Bohr-Radius ändern, wie es vom Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung gefordert wird. Folglich ist die Länge einer Stange in Bezugssystemen, die unterschiedliche Geschwindigkeiten haben, nicht die selbe. Die Längenänderung einer Standardstange, die im ursprünglichen Bezugssystem einen Meter lang ist, kann berechnet werden, wenn man ihre kinetische und potentielle Energie betrachtet.

Sogar die Standarddefinition des Meters (das 1/299 792 458 des Abstandes ist, den Licht in einer Sekunde zurücklegt), leidet unter dem gleichen Fehler, da sie den Gebrauch einer Zeiteinheit erfordert und da die „offensichtliche Sekunde“ im bewegten Bezugssystem (ΔCD[mov]), zu der „offensichtlichen Sekunde“ im ruhenden Bezugssystem verschieden ist (ΔCD[rest]) wegen der Änderung der Elektronenmasse in der Atomuhr, die das bewegte System trägt. Folglich müssen wir, um Längen in verschiedenen Bezugssystemen vergleichen zu können, die internationale Definition des Referenzmeters vervollständigen und seine potentielle sowie kinetische Energie angeben.

Wir ***definieren*** hier, dass die Länge des Referenzmeters ein 1/299 792 458 des Abstandes entspricht, den das Licht während einer Sekunde zurücklegt, gemessen mit ***einer Uhr, die sich im Ruhezustand im Weltraum, weit weg von der Sonne befindet.***

2.5 – Die Definition der Lichtgeschwindigkeit

Wir möchten unterstreichen, dass keine der oben genannten Definitionen von der experimentellen Messung der Lichtgeschwindigkeit abhängt. Der Wert des Parameters c wird in Gleichung (1,3) aus der fundamentalen Idee definiert, dass eine absolute Proportionalitätskonstante K zwischen Masse und Energie benötigt wird:

$$E = Km \qquad 2.3$$

Jedoch ist experimentell beobachtet worden, dass der Wert von K dem Quadrat von dem gleich ist, was als Lichtgeschwindigkeit interpretiert wird. Was auch immer c sein mag, aus praktischen Gründen definieren wir sie wie:

$$c = \sqrt{K} \qquad 2.4$$

Überall in diesem Buch wird die Bedeutung von c grundlegend mit Gleichung (2,4) verbunden. Wir glauben, dass die Tatsache, dass die Lichtgeschwindigkeit der Quadratwurzel der Konstanten K im Masse-Energie-Verhältnis gleich ist, nicht nur eine Übereinstimmung ist, sondern das Ergebnisse von einem grundlegenden Mechanismus ist. Jedoch ist es sehr wahrscheinlich, dass die beste Methode zur Bestimmung der Masse-Energie-Konstante K die Messung von c ist.

2.6 – Der Bedarf an Parametern mit einem doppelten Index.

Bei der oben genannten Beschreibung stellen wir fest, dass das Bezugssystem des Beobachters von einigen spezifischen Bedingungen wie seinem Gravitationspotential und seiner kinetischen Energie abhängig ist. Jedoch kann ein Beobachter, der sich zusammen mit seiner Uhr bewegt, die Änderung der Taktfrequenz nicht messen, weil alle Phänomene im bewegten Bezugssystem, einschließlich der Taktfrequenz sich im gleichen Maße ändern.

Das gleiche kann über die Massen gesagt werden. Wenn ein Beobachter und einige Massen sich mit einer identischen Geschwindigkeit bewegen, sind die Beträge der Massen (vom Beobachter innerhalb des bewegten Systems gemessen) von ihren Werten, die sie vor der allgemeinen Geschwindigkeitsänderung besaßen, nicht zu unterscheiden. Nach der Behauptung, dass Massen mit der Geschwindigkeit in Bezug auf einen Beobachter im Ruhezustand zunehmen, wäre es unpassend, zu behaupten, dass die gleiche Masse sich nicht vergrößern würde, wenn der Beobachter sich mit ihr bewegt.

Um eine klare und widerspruchsfreie Beschreibung zu erhalten, muss man eine geeignete Anmerkung machen, die eine komplette Beschreibung der benutzten Einheiten gibt. Um dieses zu tun, sind zwei unabhängige Indizes notwendig. Der erste Index zeigt die Einheiten an, die für die Messung benutzt werden. Zum Beispiel können wir die Länge eines Gegenstandes entweder in Bezug auf ein Bezugsmeter im Ruhezustand oder in Bezug auf ein bewegtes Meter messen. Es muss verstanden werden, dass das Bezugsmeter im Ruhezustand eine Einheit ist, die eine andere Länge als das gleiche Bezugsmeter in Bewegung hat. Es ist fast wie die Anwendung von Zoll anstelle von Zentimetern. Wenn wir eine Länge *l* und eine Masse *m* unter Verwendung der Längen- und Masseneinheiten, die im Ruhezustand vom System herrühren, messen, wird die Länge durch *l* [rest] dargestellt und die Masse wird durch $m_{[rest]}$ dargestellt. Wenn wir Längen und Massen unter Verwendung der Einheiten des bewegten Systems messen, stellen wir die Länge durch *l* [mov] und die Masse durch *m*[mov] dar . Die Indizes [rest] und [mov] sagen uns nicht, ob sich die Masse bewegt oder nicht. Sie sagen uns nur, welche Einheiten benutzt werden.

Der zweite Index zeigt den Bewegungszustand des Systems an, in dem die Parameter (wie Länge oder Masse) gemessen werden. Wir beschreiben das Bezugssystem, in dem das Partikel unter Verwendung des Tiefzeichens „v“ ist, wenn das Partikel sich bewegt und „s“ das Tiefzeichen, wenn das Partikel stationär ist. Zum Beispiel wird die Masse eines stationären Partikels (unter Verwendung der Einheiten des ruhenden Systems) durch m_s[rest] und die Masse eines bewegten Partikels (unter Verwendung der Einheiten des ruhenden Systems), durch m_v[rest] dargestellt. Entsprechend der Relativität müssen wir schreiben:

$$m_v[rest] = \gamma\, m_s[rest] \qquad 2.5$$

Ähnlich wird die Masse eines bewegten Partikels, das unter Verwendung der bewegten Einheiten gemessen wird, durch m_v[mov] dargestellt und die Masse eines stationären Partikels, das unter Verwendung der bewegten Einheiten gemessen wird, wird durch m_s[mov] dargestellt. Folglich ist die Anzahl von Kilogramm in m_s[mov] zur Zahl in m_v[mov] identisch, weil sie beide unter Verwendung der richtigen Parameter gemessen werden. Jedoch ist die Masse m_s[rest] von m_v[rest] wie in Gleichung 2,5 gesehen unterschiedlich.

Die Anzahl „n“ von Metern einer Stange ändert sich nicht, wenn die Stange auf einen anderes Bezugssystem verschoben wird, solange wir die richtige Werte messen (Anzahl der richtigen Metern). Dann ist n_s gleich n_v. Es ändert sich jedoch der Abstand zwischen den Atomen. Der interatomare Abstand *a* ändert sich, wenn ein Körper in ein anderes Bezugssystem verschoben wird. Folglich ist die Anzahl von Atomen n_s entlang einer Länge von einem Meter [Rest] in einer stationären Stange zu der Anzahl von Atomen n_v entlang der gleichen Länge unterschiedlich (ein Meter [Rest]), wenn die Stange mit der Geschwindigkeit v in Bewegung ist. Deshalb finden wir, wenn wir die gleiche absolute konstante Länge in zwei Bezugssystemen messen:

$$\frac{N_s}{\mathbf{meter[rest]}} \neq \frac{N_v}{\mathbf{meter[rest]}} \qquad 2.6$$

Selbstverständlich sind die Indizes [rest] und [mov] mit den Zahlen n_s, n_v, N_s und N_v irrelevant, weil sie reine Zahlen sind.

Die grundlegende Bedeutung der Notwendigkeit der Anwendung eines doppelten Index darf nicht unterschätzt werden, weil die Relativität ohne sie nicht richtig erklärt werden kann. Dieses ist eine Konsequenz des Vorhandenseins von verschiedenen Einheiten der Masse und der Länge in den verschiedenen Bezugssystemen. Diese doppelten Indizes sind in der newtonschen Mechanik irrelevant. Prinzipiell könnte ein dritter Index hinzugefügt werden, der die Information über die mögliche Gravitationsenergie gibt. Dieser dritte Parameter wird separat betrachtet.

2.7 – Der offensichtlicher Mangel an Übereinstimmung für sich schnell bewegende Teilchen.

Wenn ein Körper beschleunigt wird, nimmt seine Masse entsprechend dem Verhältnis gegeben durch Gleichung (2,5) zu. Deshalb besitzen sich schnell bewegende Atome größere Elektronen. Unter Verwendung der Bohr-Gleichung wollen wir die Konsequenzen eines schwereren Elektrons im Falle des Wasserstoffatoms berechnen.

Wenn die Elektronenmasse größer ist und ***kein anderer Parameter berücksichtigt wird***, dann sollten alle Atomenergieniveaus entsprechend der Bohr-Gleichung (Gleichung 1,12), mehr Energie (Gleichung 1,13) haben. Infolgedessen sollten die Atome, da $E = h\nu$ ist, die mit jenen schwereren Elektronen gebildet werden, elektromagnetische Strahlung bei einer höheren Frequenz ν ausstrahlen. Das bedeutet, dass eine Atomuhr, die sich im bewegten Bezugssystem befindet, mit einer höheren Taktrate laufen sollte. Jedoch wissen wir von Experimenten, dass sich schnell bewegende Partikel mit einer langsameren Taktrate zerfallen und Atome eine niedrigere Frequenz ausstrahlen. Dieses ist deutlich an Myonen und in spektroskopischen Experimenten beobachtet worden. Wir stellen fest, dass die Zunahme der Elektronenmasse, die Atome veranlasst, mit einer höheren Taktrate in einem Gravitationspotential zu zerfallen, nicht überein zu stimmen scheint, mit der langsameren Zerfallsrate der sich schnell bewegenden Myonen. Dieser offensichtliche Widerspruch ist ein sehr ernstes Problem, das eine gründliche Untersuchung erfordert. Unter Verwendung des Prinzips von der Masse-Energie-Erhaltung lösen wir dieses Problem, indem wir zeigen, dass ein wichtiger Parameter ignoriert worden ist.

Im nächsten Abschnitt betrachten wir nur Experimente, in denen die potentielle Gravitationsenergie immer konstant ist. Dieses entspricht der Studie der speziellen Relativität. Nur die Geschwindigkeit (und deshalb die kinetische Energie) wird geändert. Das Problem der Kombination der potentiellen Gravitationsenergie mit der kinetischen Energie wird in den Kapiteln 5 und 6 studiert.

2.8 - Demonstration des Energie-Verhältnisses zwischen Systemen.

Wir wollen ein stationäres Partikel M_{so} betrachten, in dem der Index s für stationär steht und der Index o bedeutet, dass sich das Teilchen im Grundzustand seiner internen Anregung befindet. Dieses Teilchen kann ein einzelnes Wasserstoffatom sein. Wenn es auf eine Geschwindigkeit v beschleunigt wird, wird seine Masse:

$$M_{vo}[rest] = \gamma\, M_{so}[rest] \qquad 2.7$$

wo der Index v bedeutet, dass das Teilchen eine Geschwindigkeit v hat.

Wir wollen annehmen, dass diesem Teilchen eine innere Anregungsenergie E_{xs} [rest] vor seiner Beschleunigung gegeben wurde. Der Index x bezieht sich auf die interne Anregungsenergie. Die Gesamtmasse M_{sxt} [rest] des stationär angeregten Atoms ist dann:

$$M_{sxt}[rest] = M_{so}[rest] + \frac{E_{xs}}{c^2}[rest] \qquad 2.8$$

wo der Index t sich auf die gesamte Masse-Energie bezieht, die Ruhemasse, die interne und kinetische Energie umfasst, falls relevant. Aus Gleichung (2,8) berechnen wir, dass die interne Anregungsenergie E_{xs} [rest] allein ein Masse-Äquivalent M_{xs} [rest] besitzt, dass sich ergibt zu:

$$M_{xs}[rest] = \frac{E_{xs}}{c^2}[rest] = \frac{h\nu_s}{c^2}[rest] \qquad 2.9$$

wo $h\nu_s$[rest] die Energie E_{xs} ist, die unter Verwendung der Zeiteinheiten und der Länge des ruhenden Bezugssystems gemessen wird. Gleichungen (2,8) und (2,9) geben:

$$M_{sxt} = M_{so}[rest]+M_{xs}[rest] \qquad 2.10$$

Das Teilchen mit der Masse M_{sxt} kann seine Anregungsenergie entsprechend Gleichung (2,9) ausstrahlen. Wenn dieses Teilchen (M_{sxt}) auf eine Geschwindigkeit v beschleunigt wird, wird seine Masse M_{vxt}, die γ-mal seine Masse im Ruhezustand ist, durch Gleichung (2,5) gegeben. Das ergibt:

$$M_{vxt}[rest] = \gamma\, M_{sxt}[rest] \qquad 2.11$$

(2.10) in (2.11) eingesetzt ergibt:

$$M_{vxt}[rest] = \gamma\, M_{so}[rest]+\gamma\, M_{xs}[rest] \qquad 2.12$$

Wenn das Teilchen keine innere Energie besitzt, dann verschwindet der zweite Ausdruck von Gleichung (2,12) und wir erhalten Gleichung (2,7). Gleichung (2,7) in (2,12) eingesetzt, erhalten wir:

$$M_{vxt}[rest] = M_{vo}[rest]+\gamma\, M_{xs}[rest] \qquad 2.13$$

Gleichungen (2.13) und (2.9) ergeben:

$$M_{vxt}[rest] = M_{vo}[rest] + \frac{\gamma h\nu_s}{c^2}[rest] \qquad 2.14$$

Gleichung (2,13) zeigt, dass die Geschwindigkeit des angeregten Teilchens zu der Masse-Anteil M_{vo}[rest] führt. Der zweite Ausdruck $\gamma\, M_{xs}$[rest] gibt das Masse-Energie Äquivalent der Anregungsenergie des beweglichen Partikels wider. Dieser Ausdruck ist aus dem Massen-Äquivalent der Anregungsenergie des Teilchens (das $h\nu_s/c^2$[rest] ist) und der Energie zusammengesetzt, die erforderlich ist, um es zu beschleunigen (gegeben durch γ). Von Gleichungen (2,13) und (2,14) sehen wir, dass das Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung verlangt, dass die Gesamtenergie der Anregung kombiniert mit der Energie, die zur Beschleunigung der Anregungsenergie (oder ihrem Massenäquivalent) notwendig ist:

$$E_n(\text{Excit.+acceleration of excit.}) = \gamma\, M_{xs}c^2[rest] = \gamma h\nu_s[rest] \qquad 2.15$$

Gleichung (2,15) gibt die Gesamtenergie[rest] die das angeregte bewegte Atom (durch Emission eines Photons) verlieren muss, um in seinem Grundzustand zu gehen.

Wenn sich der Beobachter jedoch mit dem angeregten Atom bewegt und Ruhe-Einheiten benutzt, leitet er von seinen Messungen eine Frequenz ν_v[rest]ab, von der er natürlich die Energie der internen Erregung $h\nu_v$[rest] ableitet. Deshalb ist:

$$E_n[rest](\text{emitted}) = h\nu_v[rest] \qquad 2.16$$

Die Energie, die benötigt wird, um das Masse-Äquivalent dieser Anregungsenergie zu beschleunigen, scheint bezüglich des bewegten Beobachters möglicherweise irrelevant. Jedoch wegen der Masse-Energie-Erhaltung darf diese Energie nicht verschwinden und ignoriert werden. Entsprechend dem Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung, da kein anderes Photon während des Überganges ausgestrahlt wird, muss das ausgestrahlte Photon die ganze verfügbare Energie besitzen, die die Anregungsenergie plus die kinetische Energie des Massenäquivalents dieser Anregungsenergie umfasst.

Unter Verwendung der gleichen Einheiten ist es klar, dass die Gesamtenergie von Gleichung (2,15) (Anregung plus die erforderliche Energie für die Beschleunigung des Masse-Äquivalent der Anregungsenergie) der Photonenenergie gleich ist, die im Ruhezustand während der Emission vom Beobachter empfangen wird (Gleichung 2,16). Dieses gibt:

$$\gamma M_{xs}c^2[rest] = \gamma h\nu_s[rest] = h\nu_v[rest] \qquad 2.17$$

In Gleichung (2,17) haben wir den Planck-Parameter h, der von der Messung von $h\nu_s$ in einem stationären Bezugssystem kommt. Wir haben auch den Planck-Parameter h, der von einer Messung von $h\nu_v$ im beweglichen Bezugssystem kommt (immer unter Verwendung der gleichen allgemeinen Ruheeinheiten). Um widerspruchsfrei zu sein und da der Planck-Parameter von Messungen aus verschiedenen Bezugssystemen kommt, müssen wir jeden Planck-Parameter einzeln kennzeichnen. Gleichung (2,17) wird:

$$\gamma h_s\nu_s[rest] = h_v\nu_v[rest] \qquad 2.18$$

Gleichung 2,18 ist eine wichtige Beziehung, die angewandt werden muss, wenn die Anregungsenergie eine neue Geschwindigkeit erhält.

2.9 - Relative Frequenzen zwischen Systemen.

Um die Gleichung 2,18 zu lösen, müssen wir das Verhältnis zwischen ν_s[rest] und ν_v[rest] finden. Wir wollen eine elektromagnetische Welle der Frequenz ν_v[rest] als ausgestrahlt von einem Atom betrachten, das eine Geschwindigkeit v hat. Diese elektromagnetische Welle wird von einem Beobachter im ruhenden Bezugssystem gemessen. Wenn die Frequenzmessung gemacht wird, muss er zwei verschiedene Phänomene betrachten, die möglicherweise die Frequenz wegen der Geschwindigkeit des ausstrahlenden Atoms änderten. Das erste ist die Änderung der Taktfrequenz des Emitters und das zweite ist der klassische Dopplereffekt wegen der Radialgeschwindigkeit zwischen der stationären Strahlenquelle und dem bewegten Beobachter.

Wir wollen jene zwei Effekte studieren und zuerst mit dem klassischen Dopplereffekt beginnen. Um ein Problem zu vermeiden, wollen wir annehmen, dass der bewegte Emitter der Strahlung mit einer Geschwindigkeit v unterwegs ist, die senkrechten zur Emissionsrichtung ist. Der Beobachter im Ruhezustand, empfängt die Strahlung mit einer Frequenz ν_s[rest], die identisch zur ausgestrahlten Frequenz ν_v[rest] ist, wenn die gleichen Einheiten verwendet werden. Infolgedessen kann der Dopplereffekt eliminiert werden, und es gibt dann keine Frequenzänderung wegen des Lichtes, das von einem bewegten Bezugssystem ausgestrahlt wird. Da wir konstante Einheiten [rest] benutzen und es keine Doppler-Korrektur gibt, ist die empfangene Frequenz ν_s[rest] im ruhenden Bezugssystem zur ausgestrahlten Frequenz ν_v[rest] im bewegten Bezugssystem identisch. Wir haben:

$$\nu_v[rest] = \nu_s[rest] \qquad 2.19$$

Das zweite Phänomen liegt an der langsameren Taktrate der Ausstrahlung in dem bewegten Bezugssystem wegen der Zunahme der Elektronenmasse mit der kinetischer Energie. Wir erklären jetzt dieses physikalische Phänomen ausführlicher.

Erklärung des physikalischen Phänomens.

Das betroffene physische Phänomen kann gesehen werden, wenn wir Gleichungen (2,8) und (2,14) vergleichen. Gleichung (2,8) gibt die Gesamtmenge von Masse und Energie des stationären angeregten Teilchens M_{sxt}[rest] als Funktion seiner Masse „im Grundzustand“ plus seiner „Anregungsenergie“. Die

Anregungsenergie im stationären Bezugssystems ist

$$\frac{E_{xs}[rest]}{c^2} = \frac{h_s \nu_s[rest]}{c^2} \qquad 2.20$$

Nach der Beschleunigung des innerlich angeregten Teilchens finden wir Gleichung (2,14). Wir sehen in Gleichung (2,14), dass sich der Massen-Term M_{vo}[rest] γ-mal erhöht hat (siehe Gleichung 2,7) und auch der neue Energie-Term $\gamma\,(h_s\nu_s/c^2)$[rest] ist γ-mal größer. Das wird zweifellos vom Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung erwartet. Der γ-Term erscheint ebenfalls im Energie-Term, ***weil wir die Energie berücksichtigt haben, die benötigt wird, um die Energie des angeregten Zustandes zu beschleunigen.*** Dieser letzte Energie-Term sagt die Extraenergie eines eventuell wieder-emittierten Photons voraus. Außerdem wissen wir, dass im bewegten Bezugssystem Teilchen immer mit einer langsameren Taktrate ausgestrahlt werden, gerade weil alle Uhren im bewegten Bezugssystem mit einer langsameren Taktrate laufen, wegen der Zunahme der Elektronenmasse der Atome. Folglich wird die Anregungsenergie $(\gamma\,E_{xs}/c^2)$[rest] des Atoms, die jetzt in das bewegte Bezugssystem getragen worden ist, mit einer Taktrate ausgestrahlt, die γ-mal langsamer ist, als die im ruhenden Bezugssystem.

Wir wollen eine Beziehung finden, um die Frequenz eines Photons zu berechnen, das von einem angeregten Atom in einem bewegten Bezugssystem emittiert wird, bezüglich der Frequenz des gleichen Atoms, wenn es sich in einem ruhenden Bezugssystem befindet. Wir haben gesehen, dass, nachdem das Atom zum bewegten Bezugssystem beschleunigt wurde, seine Anregungsenergie $\gamma\,h_s\nu_s/c^2$[rest] wird (Gl. 2,14). Wenn diese gleiche Anregungsenergie in ein Photon umgewandelt wird, wird die Frequenz des ausgestrahlten Photons durch das Verhältnis $(h_v\nu_v/c^2$ [rest]) gegeben (Gl. 2,21), wegen der langsameren Taktfrequenz in diesem bewegten Bezugssystem. Deshalb abhängig von seinem Bezugssystem erscheint die Anregungsenergie des gleichen Atoms als:

$$\gamma\frac{h_s \nu_s[rest]}{c^2} = \frac{h_v \nu_v[rest]}{c^2} \qquad 2.21$$

Wenn wir die Gleichungen (2.21) und (2.19) kombinieren, erhalten wir

$$h_v[rest] = \gamma\, h_s[rest] \qquad 2.22$$

Gleichung (2,22) bedeutet, dass, wenn wir den Planck-Parameter h verwenden, um die Energie in einem bewegten System zu bestimmen, wir eine Korrektur (γ) wegen der kinetischen Energie der gleichwertigen Masse des Anregungsenergie $h_v\nu_v$[rest] machen müssen. Dieses ist das Verhältnis, das notwendig ist, die Anregungsenergien zwischen den Bezugssystemen zu transformieren.

Wir müssen feststellen, dass die Änderung der Planckschen Konstanten durch γ in Gleichung (2,22) von Beobachtern innerhalb des bewegten Bezugssystems oder im Inneren der ruhenden Bezugssysteme nicht wahrnehmbar ist, wenn die Messung interne Werte benutzt. Dieses Phänomen erscheint nur, wenn ein Beobachter die Photonenenergie von Atomen in einem externen Bezugssystem berechnet, in Bezug auf die Anregungsenergie von Atomen, die von einem ruhenden Bezugssystem aus sich in diesem externen Bezugssystem bewegt haben. Der Grund für dieses Phänomen ist, weil die interne Struktur des Atoms, das zu einem bewegten Bezugssystem getragen wird, wegen der Änderung der kinetischen Energie modifiziert wird. Das Atom überträgt seine ganze interne Anregungsenergie auf eine niedrigere Frequenz zurück, aber selbstverständlich unter Verwendung einer längeren Kohärenzzeit für die erneut wieder ausgestrahlte Strahlung Tatsächlich ist das wieder ausgestrahlte Photon verschieden, weil die Taktfrequenz dieses emittierenden Atoms sich unterscheidet von der absorbierten.

Gleichung 2,22 ist das Verhältnis, nach dem wir in Abschnitt 2,1 suchten. Es ist, für die Energie das Verhältnis, das mit dem Masse-Energie-Erhaltungsprinzip gleichwertig ist:

$$m_v[rest] = \gamma\, m_s[rest] \qquad 2.23$$

Gleichung (2,22) ist ein bisher ignoriertes Verhältnis. Gleichwohl diese Gleichung, die durch das Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung verlangt wird, ist absolut notwendig, wenn man die Probleme behandelt, die sich mit der Änderung der kinetischen Energie beschäftigen. Wir sehen in Kapitel 3, wie Gleichung (2,22) uns erlaubt, den offensichtlichen Widerspruch zu lösen, der in Abschnitt 2,7 beschrieben wurde.

2.10 – Fälle von Relevanz der Beziehung $h_v = \gamma\, h_s$.

Wir müssen bemerken, dass dieser Gleichung (2,22) ($h_v[rest] = \gamma\, h_s[rest]$) Ergebnis von der Tatsache ist, dass die interne Anregungsenergie von Teilchen (die ein Massenäquivalent haben), eine Geschwindigkeit v erwirbt, die eine Zunahme des Masse-Energie-Äquivalents produziert. Jedoch im Falle einer Änderung der potentiellen Gravitationsenergie, wie in Kapitel 1 gesehen, hat das Masse-Äquivalent der internen Anregungsenergie keine kinetische Energie, da es keine Geschwindigkeit hat. Deshalb sind die Verhältnisse ($h_v[rest] = \gamma\, h_s[rest]$) und $m_v[rest] = \gamma m_s[rest]$ im Falle der potentiellen Energie dort $\gamma = 1$ wenn $v = 0$ ist irrelevant. Im Falle des Gravitationspotentials werden die Änderungen von Energie und die Länge durch Gleichung (1,22) in Kapitel 1 gegeben. Wir wollen uns schließlich merken, dass das Verhältnis ($h_v[rest] = \gamma\, h_s[rest]$) absolut notwendig ist, um das Prinzip der Invarianz der physikalischen Gesetze in jedem beliebigen Bezugssystems zu erfüllen, wie im Rest dieses Buches gesehen wird.

2.11 - Symbole und Variable.

ΔCD_{frame}	Differenz der Uhranzeige auf einer Uhr im Bezugssystem
$\Delta CD(S)[mov]$	ΔCD für das offensichtliche zweite im bewegten Bezugssystem
$\Delta CD(S)[rest]$	ΔCD für das offensichtliche zweite im ruhenden Bezugssystem
$E_{xs}[rest]$	Anregungsenergie in Ruhe gegeben in Ruhe-Einheiten
$h_s[rest]$	Planck Parameter im ruhenden Bezugssystem in Ruhe-Einheiten
$h_v[rest]$	Planck Parameter im bewegten Bezugssystem in Ruhe-Einheiten
$m_s[rest]$	Masse eines Objektes in Ruhe in Ruhe-Einheiten
$M_{so}[rest]$	Masse eines Teilchens in Ruhe in seinem Grundzustand in Ruhe-Einheiten
$M_{xs}[rest]$	Masse der Anregungsenergie eines Teilchens in Ruhe in Ruhe-Einheiten
$M_{sxt}[rest]$	Gesamtmasse eines Teilchens in Ruhe in seinem angeregten Zustand in Ruhe-Einheiten

m_v[rest]	Masse eines Objektes, das sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, in Ruhe-Einheiten
M_{vo}[rest]	Masse eines Teilchens in Bewegung in seinem Grundzustand in Ruhe-Einheiten
M_{vxt}[rest]	Gesamtmasse eines Teilchens in Bewegung in seinem angeregten Zustand [Ruhe-Einheiten]
n_s[rest]	Frequenz des Lichtes gemessen von einem Beobachter in Ruhe in Ruhe-Einheiten
n_v[rest]	Frequenz des Lichtes gemessen von einem bewegten Beobachter in Ruhe-Einheiten

<><><><><><><><><><><><><><><><>