

Einsteins Relativitätstheorie kontra klassische Mechanik

Paul Marmet

übersetzt von Mathias Hüfner

Letzte Durchsicht: 06.09.12

Kapitel elf

Interne Phänomene innerhalb der Atome.

11,1 – Einleitung.

In diesem Kapitel geben wir eine physikalische Beschreibung der absoluten Änderungen, die innerhalb eines Wasserstoffatoms geschehen, wenn es auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt wird. Wir haben gesehen, dass diese Beschleunigung eine Zunahme der Elektronenmasse und des Bohr-Radius bewirkt. Wir bemerken auch entsprechend Kapitel drei, dass das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung innerhalb des Wasserstoffatoms respektiert wird, ohne irgendeine Änderung der elektrischen Ladung mit einzubeziehen zu müssen, wenn das Wasserstoffatom auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt wird. Wir zeigen jetzt, wie sich die absoluten Parameter des Wasserstoffatoms ändern, wenn es kinetische Energie aufnimmt. Wir präsentieren einige Gesichtspunkte zum Problem der internen Potentiale innerhalb des Kerns von Atomen. Schließlich sehen wir, wie die Art der Interaktionen, die innerhalb der Kerne stattfinden, unter Verwendung dieser Erwägungen vorausgesagt werden kann.

11,2 - Transformationen innerhalb sich schnell bewegender Atome.

Wir haben in Gleichung 3,4 gesehen, dass, wenn die Geschwindigkeit des Wasserstoffatoms sich erhöht, der absolute Wert des Bohr-Radius zunimmt entsprechend:

$$a_v [\text{rest}] = \gamma \alpha_0 [\text{rest}] \quad 11,1$$

wo $a_0 [\text{rest}]$ der Bohr-Radius im Ruhezustand in den Ruheeinheiten und $a_v [\text{rest}]$ der Bohr-Radius bei der Geschwindigkeit v ist, auch in Ruheeinheiten. Die Einheiten in diesem Kapitel sind immer Ruheeinheiten, damit können wir den Index [rest] fallen lassen. Wir wollen ein Zahlenbeispiel verwenden, um einige der absoluten Änderungen zu veranschaulichen, die innerhalb der auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigten Atome stattfinden. Wenn ein Wasserstoffatom sich mit $v = 0.866c$ bewegt, dann ist $\gamma = 2$. Wir betrachten das Wasserstoffatom in seinem Grundzustand, aber man kann sehen, dass die Transformationen auf eine ähnliche Art für jeden beliebigen angeregten Zustand angewandt werden können. Von Gleichung 11,1 haben wir, wenn v

= 0.866c ist:

$$a_v = 2a_0 \quad 11,2$$

Wir wissen von der Gleichung 2,23, dass die Elektronenmasse zunimmt, wenn sich das Atom schneller bewegt:

$$m_v = \gamma m_0 \quad 11,3$$

Deshalb wird die absolute Elektronenmasse eines Wasserstoffatoms, das sich mit der Geschwindigkeit $v = 0.866c$ bewegt:

$$m_v = 2m_0 \quad 11,4$$

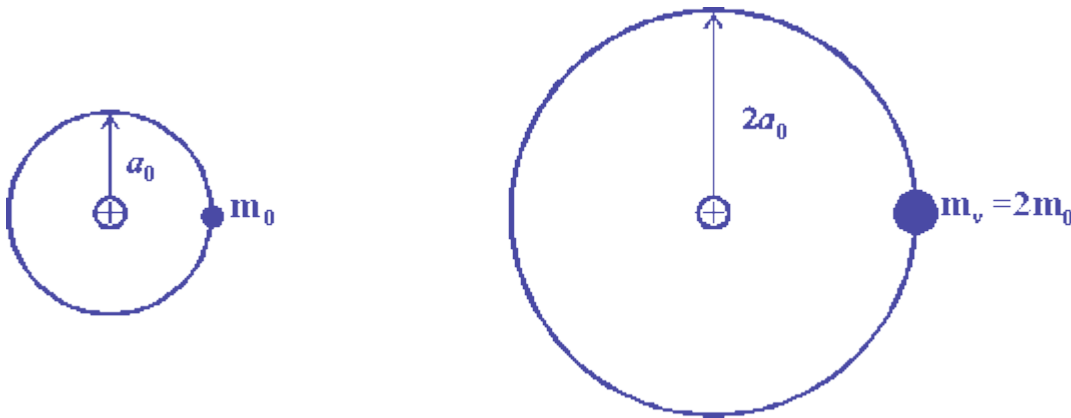


Abbildung 11,1

Abbildung 11,1, veranschaulicht die simultane Zunahme des Bohr-Radius und der Elektronenmasse wenn $\gamma = 2$ ist. Wir wollen überprüfen, ob diese Ergebnisse mit dem Bohr-Modell, der De-Broglie-Wellenlänge von Partikeln und der Quantenmechanik kompatibel sind.

11,3 - Elektrische Potentiale.

Wir wollen zuerst die Kompatibilität zwischen der oben gegebenen Beschreibung und den Gesetzen überprüfen, die das Elektron und das Proton im Wasserstoffatom regulieren. Wir erinnern daran, dass sich, wenn ein Atom auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt wird, die elektrische Ladung und das absolute elektrische Feld um solche Ladungen nicht ändern müssen, um mit dem Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung kompatibel zu bleiben. Die elektrische Energie E_0 des Elektrons im elektrischen Feld des Protons ist:

$$E_0 = \frac{k e^+ e^-}{a_0} \quad 11,5$$

wo k die Coulombkonstante ist, e^+ und e^- die elektrische Ladung des Protons und des Elektrons sind und das a_0 der durchschnittliche Abstand zwischen dem Elektron und dem Proton ist, der dem Bohr-Radius entspricht. Wenn wir Gleichung 11,2 in 11,5 einsetzen, finden wir, dass die interne elektrische Energie E_v innerhalb des bewegten Wasserstoffatoms ist:

$$E_v = \frac{k e^+ e^-}{a_v} = \frac{k e^+ e^-}{2a_0} \quad 11,6$$

Da die Kompatibilität zwischen Beobachtung und der Masse-Energie-Erhaltung erreicht

worden ist, ohne die elektrische Ladung zu ändern, **wenn ein Partikel beschleunigt wird**, können wir schreiben:

$$e^-_o[\text{rest}] = e^-_v[\text{rest}] \quad 11,7$$

Das Problem einer elektrischen Ladung, die sich in einem variablen Gravitationspotential der Sonne bewegt, ist bereits (im Falle der Merkur-Problems) in Kapitel eins betrachtet worden und wird später im Detail in einem anderen Aufsatz besprochen werden. Das wird hier nicht besprochen.

Um im Falle der kinetischen Energie in der Lage zu sein, Vergleiche anzustellen, werden alle Parameter unter Verwendung der Ruhe-Einheiten berechnet. Wenn sich das Elektron des Wasserstoffatoms entsprechend dem Bohrschen Atommodell, in einem elektrischen Feld (d.h. dem Feld des Protons) bewegt, muss man ein Gleichgewicht zwischen der anziehenden elektrischen Kraft und der Zentrifugalkraft haben. Die elektrischen und zentrifugalen Kräfte werden wie folgt definiert:

$$F(\text{electric}) = \frac{ke^+e^-}{a^2} \quad 11,8$$

$$F(\text{centrifugal}) = \frac{m_e v_e^2}{a}$$

Um mit der Newton-Physik übereinzustimmen, müssen diese Kräfte gleich sein. Wir haben:

$$F(\text{electric}) = F(\text{centrifugal}) \quad 11,9$$

Gleichungen 11,8 und 11,9 geben:

$$m_e v_e^2 = \frac{ke^+e^-}{a} \quad 11,10$$

Für das Wasserstoffatom im Ruhezustand ist der Abstand a_o dem Bohr-Radius a gleich. Wir haben:

$$m_{e_o} v_{e_o}^2 = \frac{ke^+e^-}{a_o} \quad 11,11$$

Für das Wasserstoffatom mit der Geschwindigkeit v und $a = a_v$ haben wir :

$$m_{e_v} v_{e_v}^2 = \frac{ke^+e^-}{a_v} \quad 11,12$$

Wir erinnern daran, dass die Parameter V_{e_o} und V_{e_v} hier die Elektronengeschwindigkeiten in Bezug auf das Proton sind. Die Geschwindigkeit des Wasserstoffatoms wird unter Verwendung von γ (und v ohne ein Tiefzeichen) ausgedrückt. Unter Verwendung der Gleichungen 11,2 und 11,4 in Gleichungen 11,11 und 11,12 gibt (für $\gamma = 2$) das:

$$v_{e_v} = \frac{v_{e_o}}{2} \quad 11,13$$

wo V_{e_o} die Elektronengeschwindigkeit in Bezug auf das Proton ist, wenn das Wasserstoffatom im Ruhezustand ist und V_{e_v} die Elektronengeschwindigkeit in Bezug auf das Proton ist, wenn das Wasserstoffatom die Geschwindigkeit $v = 0.866c$ hat. Aus Gleichung 11,13 sehen wir, dass die Elektronengeschwindigkeit (in Bezug auf den Kern) um die Hälfte verringert wird, wenn das Wasserstoffatom auf eine Geschwindigkeit $V = 0.866c$ beschleunigt wird.

Um mit der Bohr-Gleichung und der Quantenmechanik übereinzustimmen, muss die Länge des Bahnumfanges eines Elektrons um ein Proton einer ganzen Zahl von Wellenlängen des Elektrons gleich sein. Im Falle des Wasserstoffgrundzustandes muss die Elektronwellenlänge der Länge einer Kreisbahn gleich sein. Die De-Broglie-Wellenlänge λ wird gegeben:

$$\lambda_{e_0} = \frac{h_0}{m_0 v_{e_0}} \quad 11,14$$

Gleichungen 2,22, 2,23 und 11,13 in 11,14 eingesetzt, ist die λ_{e_v} Wellenlänge im bewegten Koordinatensystem:

$$\lambda_{e_v} = \frac{h_v}{m_{e_v} v_{e_v}} = \frac{2h_0}{2m_{e_0} \left(\frac{v_{e_0}}{2} \right)} = 2\lambda_{e_0} \quad 11,15$$

Gleichung 11,15 zeigt, dass die Elektronenwellenlänge, die das bewegte Atom in Umlauf bringt, zweimal so lang wie die Elektronenwellenlänge des Atoms im Ruhezustand ist. Infolgedessen ist der Radius der Elektronenbahn zweimal so groß, wenn das Atom sich mit der Geschwindigkeit $v=0.866c$ bewegt. Das erfüllt tadellos die Bedingungen, die oben in Gleichung 11,2 gefordert werden, wo die Anforderungen der Quantenmechanik angewandt sind.

Dieses erfüllt die Wellenbedingung der konstruktiven Interferenz der Elektronenwelle nach jeder Translation, da der Bahnradius des bewegten Atoms (und deshalb sein Umfang) zweimal so groß wie der Radius für das Atom im Ruhezustand ist, wie auf Abbildung 11,1 veranschaulicht.

Außerdem wenn alle diese Grundbedingungen tadellos erfüllt sind, wird die Emissionsfrequenz des Lichtes zwischen den elektronischen Übergängen um zwei verringert, da die Energie zwischen den Zuständen um zwei verringert ist, wenn sich das Atom bewegt, genau wie die Rotverschiebung der Spektrallinien und die Verlangsamung der Bewegung von Atomuhren experimentell beobachtet wird. Es ist diese absolute Frequenzreduzierung einer bewegten Uhr in einem bewegten Koordinatensystem, die irrtümlich von Einstein als Zeitausdehnung interpretiert worden ist.

Wir müssen dann feststellen, dass die vorausgesagte absolute Änderung von Parametern innerhalb eines bewegten Koordinatensystems, resultierend aus der Masse-Energie Erhaltung kohärent innerhalb bewegte Atome ist. Wir müssen auch merken, dass alle Transformationen, die oben gegeben werden, perfekt mit einer konstanten absoluten elektrischen Ladung in allen Koordinatensystemen übereinstimmen, wenn **kinetische Energie** den Atomen hinzugefügt wird. (siehe Gleichungen 11,7 und 11,8). Wir erinnern daran, dass dieses absolute elektrische Feld dem absoluten Gravitationsfeld ähnlich ist, das in den Kapiteln vier und fünf gezeigt wird. Diese Übereinstimmung beweist die Konstanz der elektrischen Kräfte sowie die quadratische Abnahme des elektrischen Feldes um Ladungen in allen Koordinatensystemen. Dieses Ergebnis stimmt tadellos mit dem gut beobachteten Experiment überein, dass die elektrische Ladung, die sich mit einer hohen Geschwindigkeit in einem Magnetfeld bewegt, entlang eines größeren Krümmungsradius entsprechend einem anderen Wert von e/m fliegt. Dieser kleinere Betrag der elektrischer Ladung auf der Elektronenmasse liegt an einer Zunahme der Masse (wegen der **kinetischen Energie**) während es keine Änderung der elektrischer Ladung gibt. Deshalb zeigen Versuchsergebnisse, dass das Verhältnis der elektrischen Ladung über der Masse von Elektronen (e/m) in sich schnell bewegenden Partikeln verschieden ist.

11,4 - Sommerfeld-Feinstruktur.

Die Vorhersage der Periheldrehung von Merkur wie in Kapitel fünf gesehen, ist nicht das einzige Beispiel des Erfolgs des Prinzips von der Masse-Energie-Erhaltung und von klassischer Mechanik. Es gibt auch ein gut dokumentiertes Beispiel in der Atom- und Molekülphysik, in dem offenbar beobachtet wird, dass das Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung die elektronische Struktur innerhalb der Atome beeinflusst. Es gibt viele Ähnlichkeiten zwischen Merkur, der sich innerhalb des Gravitationsfeldes der Sonne bewegt und den Elektronen von den Atomen, die innerhalb des elektrischen Potentials des Protons im Umlauf sind. Jedoch ist ein wichtiger Unterschied, dass die Elektronenmasse nicht in einem verhältnismäßig kleinen Bereich in Bezug auf die Größe des Atoms konzentriert ist, was zum Fall von Merkur und der Sonne konträr ist.

Da Elektronen als Wellen existieren, kann das elektrische Potential zwischen der Elektronenwolke und dem Proton unter Verwendung der Wellenverteilung berechnet werden, die in der Quantenmechanik gegeben wird. Dieses führt zu der gleichen durchschnittliche Energie und dem Abstand a_0 , den wir finden würden, wenn das gesamte Elektron in einem Abstand konzentriert wäre, der dem Bohr-Radius vom Proton gleich wäre. Infolgedessen kann man das Potential dieser Elektronenwolke unter Verwendung der Quantenmechanik berechnen, als ob es sich in einem Abstand gleich dem Bohr-Radius vom Proton befände. Diese Elektronenwolke kann entweder durch das Proton oszillieren, wenn der Drehimpuls null ist, oder um es herum, wenn der Drehimpuls nicht null ist.

Wenn die Elektronenwolke in dem elektrischen Feld eines Protons eingeschlossen wird, wird ein Wasserstoffatom gebildet. Während seiner Bildung wird Energie als emittierte Strahlung heraus gegeben. Das ist ähnlich der Energie, die Merkur freigeben muss, wenn er in das Gravitationspotential der Sonne eingeschlossen wird. Die Elektronenwolke kann vielen Konfigurationen entsprechend verteilt werden, die unterschiedliche Energie entsprechend verschiedenen Quantenzuständen haben. Infolgedessen während der Bildung von jedem dieser Zustände, verliert das Elektron Masse, auf die gleiche Weise wie das Merkur tut, wenn er in Gravitationspotential der Sonne eingeschlossen wird.

Wir wollen das Bohr-Modell benutzen, in dem sich ein Elektron auf einer Bahn um den Kern bewegt. Wir wissen, dass die Rydberg-Zustände des Wasserstoffs den Elektronen entsprechen, die auf einer Bahn kreisen, deren Umfang genau einer ganzen Zahl der Wellenlänge des Elektrons gleich ist. Dann gibt es eine konstruktive Interferenz der Elektronenwelle beim Übergang auf die folgende Bahn um den Kern. Die Anzahl der Wellenlängen, welche die Bahn bilden, ist der Hauptquantenzahl gleich. Dieses Modell ist mit der Energie kompatibel, die von der Quantenmechanik berechnet wird.

Experimentell wurde festgestellt, nachdem die Rydberg-Zustände gemessen wurden, dass die Übergänge zwischen diesen Zuständen nicht so einfach sind, wie ursprünglich erwartet. Es wurde entdeckt, dass die Übergänge zwischen jedem Paar von Zuständen im Allgemeinen von mehreren sehr nahe liegenden Spektrallinien gemacht werden. Sommerfeld führte Berechnungen unter Verwendung der allgemeinen Relativitätstheorie durch und er entdeckte, dass anstelle der einfachen Übergänge zwischen Quantenzuständen, es mehrfache Übergänge wegen der Feinstruktur geben sollte.

Wegen der Änderung der Elektronenmasse als Funktion des Abstandes vom Proton, ändert sich die Wellenlänge des Elektrons. Infolgedessen ändert sich der Bahnradius, weil es notwendig ist, eine ganze Zahl von Wellenlängen in einem Umfang zu haben. Wegen dieser Änderung des Abstandes vom Proton, ändert sich das elektrostatische Potential, damit die Elektronenenergie eine andere wird. Infolgedessen folgt die **Kraft** (nicht das Feld) zwischen dem Elektron und dem Proton

nicht genau einer quadratischen Funktion. Deshalb präzessiert die Elektronenbahn um das Proton wie im Falle Merkurs um die Sonne, wie in Gleichung 5,52 gegeben. Wegen dieses Präzession haben die Übergänge zwischen verschiedenen Quantenzuständen etwas unterschiedliche Energie abhängig von der relativen Richtung der Geschwindigkeit des Elektrons um den Kern, die in den Quantenübergang mit einbezogen wird.

Experimentell ist die Feinstruktur allgemein bekannt. Die Sommerfeld-Feinstrukturkonstante ist gleich:

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{ch} = 7.297 \times 10^{-3} \cong \frac{1}{137} \quad 11,16$$

wobei h das Plancksche Wirkungsquantum ist.

Dieser Feinstrukturausdruck wird zwischen allen Quantenzuständen beobachtet, solange Übergänge durch die Auswahlregeln erlaubt werden. Sommerfelds Feinstruktur wird in vielen Lehrbüchern [1] erklärt. Sie wird häufig durch die präzisierenden Ellipsen veranschaulicht, welche eine Rosetten bilden, die zum Weg von Merkur auf Abbildung 6,2 identisch sind.

Die Sommerfeld-Feinstrukturkonstante kann unter Verwendung des Prinzips von der Masse-Energie-Erhaltung genauer erklärt werden, wie es im Falle der Bahn von Merkur getan worden ist. Jedoch ist das außerhalb des Rahmens dieses Buches. Wir begrenzen unsere Erklärungen auf diese qualitative Beschreibung. Wir verstehen nun, dass die Feinstruktur innerhalb der Atome am Prinzip der Masse-Energie-Erhaltung liegt. Selbstverständlich führen Sommerfelds Berechnungen nicht zu einem vollständigen Einvernehmen im Falle eines Elektrons, weil man noch den Elektronenspin betrachten muss. Jedoch ist diese letzte Korrektur im Falle Merkurs irrelevant.

11,5 – Die Atomstruktur innerhalb von frei fallenden Atome.

Wir wollen ein Wasserstoffatom studieren, das frei in einem Gravitationsfeld fällt. Wir können annehmen, dass das Atom zuerst im Weltraum lag, bevor es langsam begann, allmählich in Richtung zur Sonne zu treiben und sich zu beschleunigen. Dann erwirbt das Wasserstoffatom allmählich eine hohe Geschwindigkeit. Ein Beobachter, der die fallende Masse begleitet, würde an keine interne Beschleunigung **glauben**. Wir berechnen jetzt die absolute Taktrate der fallenden Uhr.

Wir wollen dieses Problem überprüfen, mathematisch die zwei Komponenten von Energie trennend, die auf die fallende Masse wirken. In Bezug auf ein im Weltraum ruhendes Koordinatensystem ist das eilende Wasserstoffatom jetzt an einem Ort, an dem ein Gravitationspotential existiert. Wir haben gesehen, dass um die genaue Masse des Partikels zu berechnen, dieses Potential mit berücksichtigt werden muss. Außerdem hat der fallende Wasserstoff eine Geschwindigkeit erhalten, die auch berücksichtigt werden muss.

Wir haben in Gleichung 1,22 gesehen, dass das Gravitationspotential, in dem das Atom sich jetzt befindet, so ist, dass die Masse des Partikels sich verringert hat und jetzt zu seiner Masse im Weltraum verschieden ist. Wir wissen auch, dass die kinetische Energie die Masse des Partikels um einen Betrag erhöht, der der verlorenen Masse wegen der potentiellen Energie gleich sein muss.

Dieses kann leicht berechnet werden und wir sehen, dass die Abnahme der Masse wegen des Gravitationspotentials genau die Zunahme der Masse wegen der kinetischen Energie kompensiert. Infolgedessen ändert sich die absolute Masse des Partikels (Proton und Elektron) nicht, während sie fällt.

11,6 - Hohe Potentiale und Ausdrücke höherer Ordnung.

Im Gegensatz zu Einstein haben wir in diesem Buch nicht willkürlich gefordert, dass physikalische Quantitäten in allen Koordinatensystemen unveränderlich seien. Wir haben nur das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung verwendet. Jedoch haben wir gefunden, dass die physikalischen Gesetze, wenn wir die nullte und erste Ordnung von v/c (oder des Gravitationspotentials) betrachten, (fast) unveränderlich in allen Koordinatensystemen aussehen, wie von Einstein willkürlich angenommen wurde. In diesem besonderen Fall sind die physikalischen Konsequenzen fast ganz identisch zu dem, was Einstein mit seinem willkürlichen Postulat fand. Jedoch werden unsere Ergebnisse nur unter Verwendung des Prinzips von der Masse-Energie-Erhaltung erzielt. Die physikalischen Gesetze, die vom Gebrauch der ersten Ordnung von v/c abgeleitet werden, sind unveränderlich bis zu dem Punkt, wo wir Ausdrücke höherer Ordnung in $(v/c)^2$ erreichen und andere höhere Ausdrücke (jedoch kleine), die vernachlässigt worden sind.

Man könnte alle oben genannten Berechnungen wiederholen, ohne die Ausdrücke höherer Ordnung zu vernachlässigen. Dann könnte man eine genaue Antwort zum Problem der extremen Energie erhalten. Wir können voraussehen, wenn wir uns mit physikalischen Phänomenen beschäftigen würden, in denen die höheren Terme (die Korrektur wegen der Geschwindigkeit) nicht geringfügig sind, dass diese physikalischen Gesetze möglicherweise etwas anders wären. Innerhalb jener physikalischen Randbedingungen bei hoher Energie, würde das Verhalten der Materie nicht der Beschreibung entsprechen, das wir in einem ruhenden Koordinatensystem und auch in einem Koordinatensystem, in dem das Verhältnis v/c nicht zu hoch ist, gewohnt sind zu sehen.

Wir müssen feststellen, dass die experimentellen Bedingungen, die solchen hohen Energien entsprechen, in der Physik ziemlich häufig sind. Es ist klar, wenn der Kern eines Atoms die Partikel mit Energien von Millionen Elektronenvolt ausstrahlt, dass Glieder zweiter und dritter Ordnung des Potentials nicht mehr vernachlässigbar sind. Folglich erwarten wir, dass die internen Phänomene, die im Kern von Atomen mit einem solch hohen Potential stattfinden, in Ausdrücken höherer Ordnung berücksichtigt, zu einer Physik führen, die zu sehen uns ungewohnt ist. Aus diesem Grund sind uns die atomaren Kräfte nicht so vertraut wie die klassische Mechanik. Wir glauben, dass das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung eins der entscheidenden Prinzipien in der Physik ist, dass die wundervolle Kraft besitzt, uns über die korrekten physikalischen Natur der Kräfte auf eine logische Art zu informieren, die in der Kern- und in der Teilchenphysik wirkt. Die Masse-Energie-Erhaltung ist **überall in der** Physik relevant und kann in der Natur überall angewendet werden, besonders wenn hohe Potentiale wie im Kern von Atomen und in der Mitte der Sterne berücksichtigt werden.

Eine allgemeine Studie der Physik, in der das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung vollständig angewendet wird, ist außerhalb des Rahmens dieses Buches. Wir sind jedoch davon überzeugt, dass eine physikalische und realistische Beschreibung unserer physikalischen Welt logisch erzielt werden kann, ohne die irrealistische Verletzung des Prinzips der Masse-Energie-Erhaltung und die unvereinbaren Hypothesen, die in der modernen Physik [2] verwendet werden, mit einzubeziehen zu müssen.

11,7 - Literaturhinweise.

[1] H. Semat, Einleitung zur Atom- und Kernphysik, Holt, Rinehart und Winston, weitere Ausgabe, P. 245, 1962.

[2] [P. Marmet, Les Éditions du Nordir, c/o R. Yergeau, 165 Waller Straße, Simard Hall, Ottawa, an. Kanada K1N 6N5, 144p. 1993.](#)

