

Einsteins Relativitätstheorie kontra klassische Mechanik

Paul Marmet

übersetzt von Mathias Hüfner

Letzte Durchsicht: 05.09.12

Kapitel zehn

Das Äquivalenzprinzip.

10,1 - Einleitung.

Unter zahlreichen Postulaten schlug Einstein das Äquivalenzprinzip vor, das angibt, dass kein Experiment wegen der Geschwindigkeitsänderung die Fallbeschleunigung von der Trägheitsbeschleunigung unterscheiden kann. Um dieses Prinzip zu veranschaulichen, verwendete Einstein Gedankenexperimente mit Aufzügen. Er verglich die verschiedenen Phänomene, die innerhalb eines Aufzugs beobachtet wurden, bezüglich der Beschleunigungen. Er begrenzte vorsätzlich den Beobachtungsbereich auf den Raum des Aufzugs, ausschließlich anderer vorhersagbarer Konsequenzen, die innerhalb anderer Bezugssysteme logischerweise stattfinden sollten. Das Äquivalenzprinzip ist ein Postulat, für das die Gründe, warum Einstein nicht die Bewegung seines eigenen Koordinatensystems berücksichtigte, nicht erklärt wurden.

In der Physik wie in der Logik ist ein Prinzip nur gültig, wenn es mit allen Fakten übereinstimmt. Eine Ausnahme widerlegt immer die Regel. Es ist überraschend, zu lesen, wie das Äquivalenzprinzip allgemein anerkannt wurde, während es so einfach ist, zu beweisen, dass es nicht mit dem Verhalten von Körpern übereinstimmt, die sich in anderen Koordinatensystemen befinden, wie wir unten sehen werden.

10,2 - Ablenkung des Lichtes in einem Aufzug, der sich mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt.

Die Experimente, die eine konstante relative Quergeschwindigkeit zwischen einer Quelle und einem Aufzug beschreiben, werden im Allgemeinen ignoriert. Wir wollen einen horizontalen parallelen Lichtstrahl (oder ein Partikel betrachten, wie auf Abbildung 10,1) projiziert auf einen Aufzug (mit vernachlässigbarer Masse), der sich mit einer konstanten Geschwindigkeit v in Bezug auf die Quelle aufwärts bewegt. Das Experiment findet im Weltraum weit weg von jedem Gravitationsfeld statt.

Weil der Impuls erhalten bleiben muss, muss sich der Lichtstrahl entlang einer Gerade bewegen. Auf Abbildung 10,1 zeigt die punktierte Linie innerhalb des Aufzugs, wo die Photonen in Bezug auf den bewegten Aufzug zu den verschiedenen Zeiten ermittelt werden können. Der relative Standort der Photonen in Bezug auf den Aufzug, der sich mit einer konstanten Geschwindigkeit v bewegt, ist:

$$\tan \theta = \frac{v}{c} \quad 10,1$$

Dieses Problem der konstanten Geschwindigkeit ist einfach aber selten betrachtet. Offensichtlich scheint sich der Strahl für den Beobachter innerhalb des Aufzugs nicht horizontal zu bewegen. Jedoch, wie auf dem externen Koordinatensystem gesehen, reist der Strahl von Partikeln horizontal. Dieses zeigt, dass die relative Quergeschwindigkeit zwischen der Quelle und dem Aufzug messbar ist.

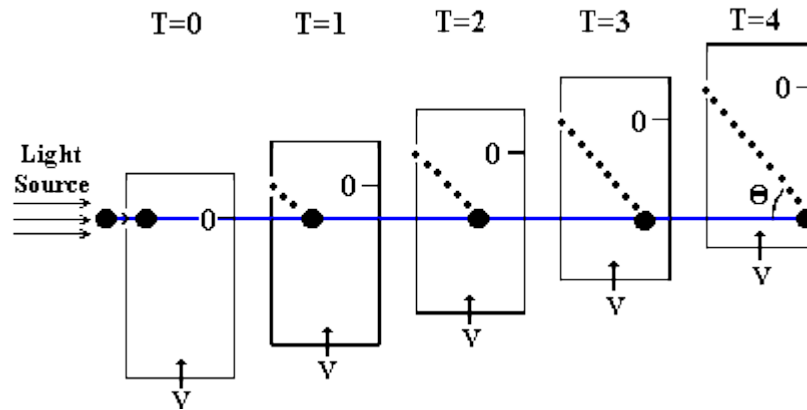


Abbildung 10.1

10,3 - Trägheitsbeschleunigung kontra Gravitationsbeschleunigung von Massen.

Vor der Berücksichtigung des Problems der Photonen, die sich in Bezug auf ein beschleunigtes Koordinatensystem bewegen, wollen wir eine Masse μ studieren, die sich horizontal bewegt. Die Masse kommt in einen Aufzug, der eine Aufwärts-Beschleunigung α im Weltraum hat, in dem Augenblick, wo seine vertikale Geschwindigkeit in Bezug auf die Quelle der Masse null ist. Der Aufzug wird durch eine Rakete beschleunigt, die unter ihm gesetzt wird, um eine Kraft F zu produzieren (gezeigt durch die Pfeile aufwärts auf Zahl 10.2A). Wegen dieser Kraft F beschleunigt der Aufzug (und der Beobachter) Newtons Gesetz folgend:

$$F = MA \quad 10,2$$

wo M die Masse des Aufzugs ist (einschließlich der Masse des Beobachters) und α seine Beschleunigung ist, die gegeben wird:

$$\alpha = \frac{dv}{dt} \quad 10,3$$

Nach einem Zeitintervall $\Delta\tau$ schlägt die Masse an die gegenüberliegende Wand. Sie hat einen vertikalen Abstand $\Delta\eta_A$ relativ zum bewegten Aufzug zurückgelegt. Offensichtlich hat die Masse einen absoluten vertikalen Abstand von null zurückgelegt, da es kein Gravitationsfeld gibt.

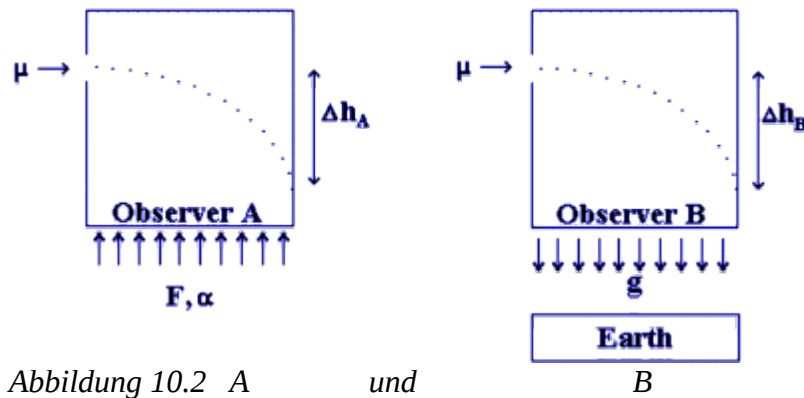


Abbildung 10.2 A und B

Wir wollen einen ähnlichen Aufzug im Ruhezustand betrachten, der von auf der Erde gehalten wird, wie auf Abbildung 10.2B veranschaulicht. Das Gravitationsfeld der Erde beschleunigt die Masse μ zur Mitte der Erde. Nach einem Zeitintervall $\Delta\tau$, wenn die Masse auf die gegenüberliegende Wand des Aufzugs schlägt, hat sie einen absoluten vertikalen Abstand Δh_B zurückgelegt.

Im Experiment, das auf Abbildung 10.2A beschrieben wird, ist die Masse μ von jedem möglichem Feld und jeder Kraft vollständig frei und kann deshalb keine absolute Energie gewinnen, wenn der Boden des Aufzugs ihm sich nähert. Eine Atomuhr, die an dieser freien Masse μ befestigt wird, behält eine konstante Rate bei, da keine Beschleunigung (deshalb keine Energie) zu den Elektronen oder zu den Partikeln der Atomuhr gegeben wird. Jedoch gewinnt der Aufzug mit dem Beobachter die kinetische Energie (und deshalb Masse) wegen des Impulses, der durch die Rakete übertragen wird. Die Uhr des Beobachters, die auf dem Boden des Aufzugs liegt, verlangsamt (absolute Zeit) sich wegen der Zunahme der Geschwindigkeit im freien Raumes, wie in Gleichung 3,9 gegeben. Infolgedessen beobachtet der Beobachter, der die bewegte Uhr verwendet, eine relative Blauverschiebung des Lichtes, das von der Masse M ausgestrahlt wird. Wir wollen anmerken, dass der Doppler-Effekt separat betrachtet wird und nicht berücksichtigt worden ist.

Im Experiment, das auf Abbildung 10.2B beschrieben wird, können der Aufzug und der Beobachter keine Energie als Funktion der Zeit gewinnen, da keine Arbeit auf ihnen produziert wird. Weder das Potential des Beobachters noch seine Geschwindigkeit ändert sich. Deshalb wird die Atomuhr des stationären Beobachters eine konstante Taktrate als Funktion der Zeit einhalten. Jedoch verlangsamt sich die Uhr auf der fallenden Masse aus zwei Gründen (unabhängig vom Doppler-Effekt): Zuerst wegen ihrer Geschwindigkeitszunahme (Gleichung 3,10) und an zweiter Stelle, wegen ihrer Abnahme der potentiellen Energie (Gleichung 1,22). Infolgedessen beobachtet der Beobachter, der im Aufzug steht, eine Rotverschiebung des Lichtes, das durch die fallende Masse M ausgestrahlt wird.

Der Doppler-Beitrag zur Verschiebung der Frequenz ist in den Abbildungen 10.2A und 10.2B identisch (wenn $\alpha = g$ ist). Sein Beitrag ist viel wichtiger als der wegen der Änderung von der internen Masse. Jedoch kann er heraus subtrahiert werden, um den Unterschied zu zeigen, der oben erklärt wurde.

Wir sehen, dass das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung bedeutet, dass es einen grundlegenden Unterschied zwischen einer Trägheitsbeschleunigung und einer Fallbeschleunigung gibt, da die Konsequenzen dieser Beschleunigungen gerade entgegengesetzt sind.

Im Falle der Trägheitsbeschleunigung (Abbildung 10.2A) läuft die Uhr, die sich auf der **anscheinend** fallenden Masse befindet, schneller als die Uhr des Beobachters wegen der Verlangsamung der Uhr des Beobachters. Im Gegensatz dazu, im Falle der Gravitationsbeschleunigung (Abbildung 10.2B) läuft die fallende Uhr langsamer als die Uhr des

Beobachters. Man muss feststellen, dass die physikalischen Eigenschaften der Gravitationsbeschleunigung zu der der Trägheitsbeschleunigung verschieden sind, was bedeutet, dass die Gravitationsbeschleunigung nicht mit der Trägheitsbeschleunigung gleichwertig ist.

10,4 – Die Bremsstrahlung wegen Trägheitsbeschleunigung und Gravitationsbeschleunigungen.

Um den Unterschied zwischen der Trägheitsbeschleunigung und Gravitationsbeschleunigung zu veranschaulichen, wollen wir ein anderes Gedankenexperiment betrachten, in dem elektrische Ladungen in ein Gravitationsfeld gelegt werden. Eine oder mehrere Elektronen werden auf einem stationären Isolator in das normale Gravitationsfeld der Erde niedergelegt. Das ist statische Elektrizität. Es ist allgemein bekannt, dass Maxwells Gleichungen voraussagen, dass jede beliebige beschleunigte elektrische Ladung Strahlung als Bremsstrahlung ausstrahlen muss. Entsprechend Einsteins Äquivalenzprinzip sollten Ladungen im Ruhezustand im Gravitationsfeld der Erde Bremsstrahlung wegen der Gravitationsbeschleunigung ausstrahlen. Jedoch hat überhaupt kein Experiment die Emission von Bremsstrahlung wegen der Gravitationsbeschleunigung der statischen Elektrizität ermittelt. Die Emission der Strahlung wegen der Gravitationsbeschleunigung ist wohl übersehen worden.

Es gibt einen Weg zu beweisen, dass Ladungen, die einer Gravitationsbeschleunigung unterliegen, keine Bremsstrahlung ausstrahlen. Das Prinzip von der Masse-Energie-Erhaltung erfordert, dass Energie zu einer elektrischen Ladung gegeben werden muss, um die elektromagnetische Energie zu kompensieren, die während seiner Beschleunigung ausgestrahlt wird. Wir wollen versuchen, den Ursprung der Energie zu identifizieren, der für die Bremsstrahlung verantwortlich ist, der durch Maxwells Gleichungen und Einsteins Äquivalenzprinzip vorausgesagt wird.

Wenn Bremsstrahlung ausgestrahlt wird, sobald elektrische Ladung einer Schwerkraft unterliegt, muss es einen Energiemechanismus geben, der die durch Strahlung verloren gegangene Energie kompensieren kann. Diese ununterbrochene Strahlungsemission wegen der Gravitationsbeschleunigung muss notwendigerweise Energie aus einer Quelle extrahieren. Deshalb ist nach einer langen Zeitspanne der Bilanzverlust von Energie in der Quelle leichter nachweisbar als die ausgestrahlte schwache Bremsstrahlung. Im Falle der einzelnen Elektronen, die in einem Gravitationsfeld stationär sind, ist die einzige verfügbare Energiequelle ihre Masse. Folglich sollte sich die Elektronenmasse als Funktion der Zeit verringern, um die gebundene elektromagnetischen Energie, die emittiert wird, zu kompensieren. Wenn die Elektronenmasse sich verringert, wenn sie in einem Gravitationsfeld stehen, sollte man schließlich Elektronen mit verschiedenen Massen abhängig von der Zeit finden, wie sie der Gravitationsbeschleunigung der Erde ausgesetzt waren.

Es ist jedoch beobachtet worden, dass Elektronen ihre volle Integrität beibehalten und keine Masse verlieren, während sie in einem Gravitationsfeld stehen. Alle Elektronen haben die gleiche Masse. Wegen des Prinzips der Masse-Energie-Erhaltung zeigt das Fehlen jeglicher Energiequelle, dass keine Bremsstrahlung von durch Gravitation beschleunigten elektrisch geladenen Teilchen ausgestrahlt werden kann. Jedoch im Falle der Trägheitsbeschleunigung wird die mechanische Energie, die erforderlich ist, gut identifiziert und die elektromagnetische Energie kompensiert, die als Bremsstrahlung ausgestrahlt wird.

Diese Erwägungen zeigen wieder, dass Gravitationsbeschleunigung von Trägheitsbeschleunigung verschieden ist. Bremsstrahlung wird nur ausgestrahlt, wenn sie der Trägheitsbeschleunigung unterliegt. Da Einsteins allgemeine Relativitätstheorie auf Maxwells

Gleichungen und dem Äquivalenzprinzip basiert, müssen wir Einsteins Vorhersagen nochmals prüfen.

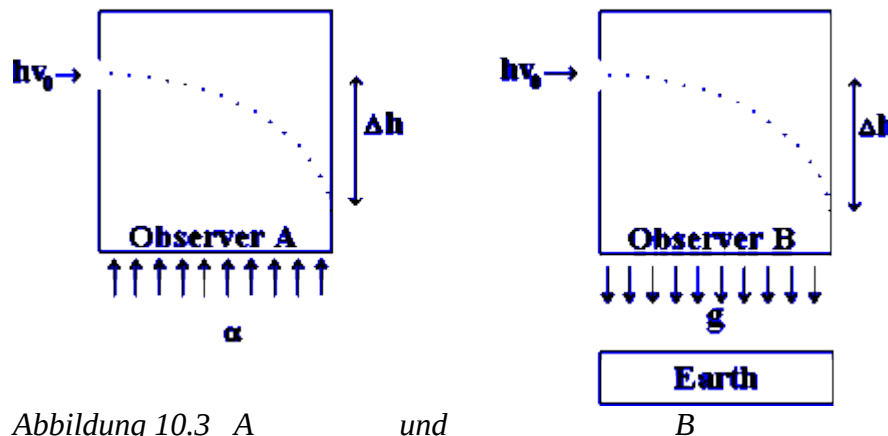
10,5 – Das Verhalten des Lichtes.

10.5.1 – Der Lichtweg in einem beschleunigten Aufzug.

Wir wollen jetzt das im Abschnitt 10,3 beschriebene Experiment betrachten, aber anstelle der Massen (Abbildung 10.3A) benutzen wir Licht. Wegen des Impulserhaltungssatzes bewegt sich Licht in einer Geraden (wie auf Abbildung 10,1) und benötigt eine Zeitdifferenz $\Delta\tau$, um durch den Aufzug zu gehen. Wegen der zunehmenden aufwärtigen Geschwindigkeit des Aufzugs während des Zeitdifferenz $\Delta\tau$ scheint das Licht eine vertikale Wegstrecke Δh zurück zulegen:

$$\Delta h = \frac{1}{2} \alpha \Delta t^2 \quad 10,4$$

Deshalb *scheint der Lichtstrahl*, wie auf Abbildung 10.3A veranschaulicht, für den beschleunigten Beobachter einer Kurve zu folgen und trifft die gegenüberliegende Wand in einem Abstand Δh unterhalb der Eingangshöhe.



Wir wollen annehmen, dass die Beschleunigung wegen der Rakete eine Geschwindigkeitsänderung dv/dt erzeugt, die $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ist, was die Gravitationsbeschleunigung auf der Erde ist. Der Beobachter A *glaubt*, dass die vom Boden aufwärts gerichtete Kraft den gleichen abwärts gerichteten Weg für das Photon wie für ein großes Partikel erzeugt, das im Gravitationsfeld der Erde beschleunigt wird (Abbildung 10.2A und 10.2B).

Der beschleunigte Beobachter A gewinnt jedoch die Geschwindigkeit und Energie wegen seiner Geschwindigkeitszunahme. Deshalb verlangsamt sich seine Uhr zwischen dem Zeitpunkt an dem das Licht in den Aufzug eintritt und dem Zeitpunkt an dem es die gegenüberliegende Wand des Aufzugs erreicht. Folglich, selbst wenn wir die Doppler-Blauverschiebung wegen der Zunahme der relativen Geschwindigkeit des Beobachters in Bezug auf das Licht nicht berücksichtigen, misst der Beobachter, der das anscheinend abgelenkte Licht ermittelt, eine offensichtliche Zunahme der Frequenz (Blauverschiebung) wegen der absoluten Verlangsamung seiner Uhr.

10.5.2 – Der Lichtweg in einem Gravitationsfeld.

Wir wollen kurzzeitig annehmen, dass das Äquivalenzprinzip gültig sei. Deshalb würde das Licht, das in den Raum horizontal eintritt, in Bezug auf Beobachter B abgelenkt, wie in Abbildung 10.3B veranschaulicht. Diese Hypothese bedeutet, dass Licht durch Schwerkraft angezogen würde.

Damit sie jedoch gültig wird, müssen wir überprüfen, ob eine solche Hypothese mit der Masse-Energie-Erhaltung kompatibel ist. Wenn Licht abgelenkt wird, wollen wir die Energie-Beziehung berechnen, die durch diese Ablenkung verursacht wird.

Wir wollen die hypothetische Gravitationskraft auf ein Photon in Richtung der Gravitationsbeschleunigung F nennen. Während seines Durchganges durch den Aufzug, nehmen wir an, dass das Photon um einen Abstand Δh in Richtung der Kraft F abgelenkt wird, wie auf Abbildung 10.3B gezeigt. Die Masse-Energie-Erhaltung erfordert, dass eine Verschiebung Δh in der gleichen Richtung wie die Kraft F eine Energiezunahme ΔW ergibt:

$$\Delta W = F\Delta h \quad 10,5$$

Das Photon, das durch die Gravitationskraft F beeinflusst würde, erreicht dann die gegenüberliegende Wand mit einer Energiezunahme ΔW in einem Abstand Δh unterhalb seiner Anfangshöhe. Wir haben gesehen, dass die absolute Photonenenergie zu seiner absoluten Frequenz proportional ist. Deshalb sollte das Photon absolute Energie und Frequenz gewinnen (Blauverschiebung) und diese sollten vom Beobachter B gesehen werden.

Wir haben in Kapitel eins jedoch gesehen, dass sich die absolute Energie eines sich abwärts bewegenden Photons nicht erhöht. Das Mössbauer-Experiment zeigt, dass es lokale Änderungen der Taktfrequenz bei den verschiedenen Höhen gibt, aber die absolute Energie des Photons sich nicht ändert. Eine absolute Änderung der Photonenenergie in einem Gravitationsfeld ist zur Masse-Energie-Erhaltung konträr. Infolgedessen ist:

$$\Delta W = 0 \quad 10,6$$

Von der Gleichung 10,5, da F und Δh die gleiche Richtung haben, ist die einzige Möglichkeit, eine Ablenkung ($\Delta h \neq 0$) mit $\Delta W = 0$ zu produzieren, ein Δh zu haben, das von null verschieden ist, wenn $F = 0$ ist. Das würde eine Ablenkung von Photonen bedeuten, auch wenn es keine Kraft gibt, die auf sie wirkt. Das ist aber zu Newtons zweitem Gesetz der Trägheit konträr.

Folglich gibt es dort, um mit der Masse-Energie-Erhaltung kompatibel zu sein, entweder keine Ablenkung oder keine Kraft (die sowieso zu keiner Ablenkung führt). Die gebogene Flugbahn auf Abbildung 10.3B ist falsch, Licht muss sich auf einer Geraden in einem Gravitationsfeld bewegen. Wir haben dann:

$$\Delta W = 0, F = 0 \text{ und } \Delta h = 0 \quad 10,7$$

Ein Beobachter, der sich gerade vor der Eingangsöffnung auf Abbildung 10.3B befindet, wird den Strahl beobachten, wie er ihn an diesem Standort ohne irgendeine Frequenzänderung erreicht. Wir stellen fest, dass Licht **anscheinend** in Bezug auf einen beschleunigten Beobachter mit einer Trägheitsbeschleunigung abgelenkt wird, wie in der Abbildung 10.3A veranschaulicht. Jedoch, wie in Gleichung 10,7 gegeben, kann Licht durch die Schwerkraft wegen der Masse-Energie und Impulserhaltung nicht abgelenkt werden. Wir müssen wieder feststellen, dass Einsteins Äquivalenzprinzip falsch ist, was bedeutet, dass das Verhalten des Lichtes anders ist, als es von den Beobachtern empfunden wird, die der Gravitationsbeschleunigung und der Trägheitsbeschleunigung unterworfen sind.

Es ist in der Vergangenheit behauptet worden, dass solch eine Ablenkung (durch ein Gravitationsfeld) experimentell während der Sonnenfinsternisse gemessen worden sei. Die Zuverlässigkeit solcher Ergebnisse werden im Allgemeinen nur durch diejenigen behauptet, die nie ernsthaft die ursprünglichen Artikel gelesen haben, die jene Experimente beschreiben. Der Bericht in [Anhang II](#) gibt einen schockierenden Beweis der Schwäche des Experimentes. Von Einstein ist eine kleine Ablenkung des Sternenlichts durch ein Gravitationsfeld vorausgesagt worden. Jedoch ist diese nie ernsthaft experimentell nachgewiesen worden.

10.5.3 - Das Äquivalenzprinzip und die Licht-Ablenkung.

Es ist gut erkannt worden, dass die Ablenkung von Lichtstrahlen mit dem Äquivalenzprinzip eng verwandt ist, das oben besprochen wurde. Entsprechend dem Aufsatz „The Equivalence Principle with Light Rays“ [1]:

„Das [Äquivalenzprinzip] führte Einstein zu der Voraussage, dass Licht durch ein Gravitationsfeld um die Sonne verbogen wird.“

Da die Gleichwertigkeit zwischen der Trägheitsbeschleunigung und der Gravitationsbeschleunigung, die von Einstein angenommen wird, wie oben gezeigt auf einige unabhängige Arten falsch ist, ist es nicht überraschend, dass seine Konsequenz (die Lichtablenkung) auch falsch ist.

Es ist allgemein bekannt, dass Einstein im Jahre 1911 voraussagte, dass Licht im Gravitationsfeld der Sonne abgelenkt werden sollte. Tatsächlich ist diese Vorhersage fast identisch mit der, die von Soldner im Jahre 1801 unter Verwendung Newtons Gesetzes gegeben wurde. Diese Demonstration kann leicht verstanden werden. In der klassischen Mechanik ist der Betrag der Abweichung jedes massiven Gegenstandes, der die Sonne mit der Geschwindigkeit v nahe genug passiert, von der Masse des Gegenstandes **total** unabhängig. Auch wurde angenommen, dass die Lichtgeschwindigkeit c wie jede beliebige Geschwindigkeit v behandelt werden könne. Das Äquivalenzprinzip bedeutet die Gleichwertigkeit zwischen dem trägheitsbeschleunigten Aufzug (Abbildung 10.3A) und dem gravitationsbeschleunigten Photon auf Abbildung 10.3B. Wegen der Kraft auf den Aufzug und auf den Beobachter A trifft das Photon die gegenüberliegende Wand des Aufzugs nachdem der Aufzug die Strecke Δh hoch geschoben wurde. Diese offensichtliche Abweichung, die 0,87" bis nahe dem Sonnenrand entspricht (siehe Abbildung 10.3A), ist offenbar die, die im Falle der Trägheitsbeschleunigung des Aufzugs erforderlich wird. Nimmt man das Äquivalenzprinzip an, sollte der gleiche Wert in der allgemeinen Relativitätstheorie gefunden werden. Jedoch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie sagt eine Abweichung von 1,74" voraus. Das ist doppelt soviel wie auf Abbildung 10.3A gezeichnet).

Die Zuverlässigkeit der offensichtlichen Abweichung, die auf Abbildung 10.3A veranschaulicht wird, ist so groß, dass man nicht glauben kann, dass dieser Ablenkungsbetrag verdoppelt werden könnte, um Einsteins Vorhersagen der allgemeiner Relativitätstheorie und des Äquivalenzprinzips zufriedenzustellen. Einsteins Behauptung ist erstaunlich. Wenn die gegenüberliegende Wand des Aufzugs auf Abbildung 10.3A offen wäre, würde dieser doppelte Betrag der Ablenkung bedeuten, dass es eine absolute Ablenkung in einem ruhenden Koordinatensystem geben würde, sogar ohne jedes Gravitationsfeld. Es gibt keine logische Erklärung dafür, dass die Abweichung, die das Licht im Aufzug durch die Trägheitsbeschleunigung erleidet, doppelt so groß sein könnte, wie auf Abbildung 10.3A veranschaulicht wurde, da das kreuzende Licht keiner Interaktion in einem feldfreien Raum unterworfen wird und der **Beobachter A sich zweifellos nur um den Abstand Δh bewegt hat**. Man kann nicht behaupten, dass Licht abgelenkt wird, nur weil ein Beobachter existiert. Wenn dieser verdoppelte Abweichungsbetrag im Falle der Trägheitsbeschleunigung nicht existieren kann, kann er auch nicht in einem Gravitationsfeld existieren, ohne dem Äquivalenzprinzip zu widersprechen, auf dem die Theorie basiert, die zu einer Abweichung des Lichtes in einem Gravitationsfeld (1,74") führt.

Infolgedessen ist Einsteins Vorhersage, die eine Abweichung von 1,74" angibt, selbst widersprüchlich und kann nicht mit dem Äquivalenzprinzip übereinstimmen.

10,6 - Gravitationslinsen.

Es gibt einige Konsequenzen zur Tatsache, dass Licht nicht in einem Gravitationsfeld abgelenkt wird. Die Ablenkung des Lichtes durch ein Gravitationsfeld gab Anlass zur Behauptung, dass Ringe im Raum hervorgerufen würden durch die Fokussierung des Lichtes von fernen Quellen durch die Gravitationsmasse von intervenierenden Galaxien verursacht. Diese Erklärung ist zweifellos falsch, da Licht nicht durch ein Gravitationsfeld abgelenkt wird.

Diese Ringe können durch das Vorhandensein von großen Mengen Ionen, die in das Magnetfeld einer Galaxie eindringen, logischer erklärt werden. Es ist allgemein bekannt, dass Ionen natürlich als Ringe in einem Magnetfeld verbreiten. Das ist eine vernünftige Interpretation eines Phänomens, das irrtümlich als Einsteins Ringe interpretiert worden ist.

10,7 - Anziehende Kraft zwischen parallelen Strahlen von geladenen Teilchen.

Wir haben in Abschnitt 10,4 gesehen, dass elektrische Phänomene verwendet werden können, um zu zeigen, dass die Gravitationsbeschleunigung sich von der Trägheitsbeschleunigung unterscheidet. Um dieses Kapitel zu beenden, geben wir ein Beispiel unter Verwendung der Elektrizität um den Grundsatz der Reziprozität zu widerlegen (für einen anderen Beweis, siehe Abschnitt 3,9).

In der elementaren Physik lehrt das Gesetz von *Ampère*, wie man die Kraft zwischen zwei parallelen geraden Leitern berechnet, die Strom in die gleiche Richtung tragen. Wir erfahren, dass eine Kraft F zwischen den parallelen Leitern entsteht, die durch einen Abstand Δx getrennt sind, weil der Strom i im zweiten Leiter ein Magnetfeld passiert, das durch den Strom i im ersten Leiter erzeugt wird. Die Kraft F pro Längeneinheit (in MKS-Einheiten) ist:

$$F = \frac{\mu_0 i' i}{2\pi \Delta x} \quad 10,8$$

Diese Kraft ist so gut in der Physik bekannt, dass sie „als die Basis der Definition der Stromstärke Ampere im MKS-System“ benutzt wurde [2]. Die Kraft zwischen diesen Leitern ist anziehend, wenn die Ströme in der gleichen Richtung und abstoßend, wenn die Ströme in entgegengesetzten Richtungen fließen.

Mit der modernen Entwicklung von Beschleunigern und von hochenergetischen Strahlen geladener Teilchen ist der elektrische Leiter nicht mehr notwendig, um dieses Phänomen zu beobachten, und die Wechselwirkung von unabhängigen elektrischen Ladung im Magnetfeld, erzeugt durch gleichsinnig bewegte elektrische Ladung wurde direkt beobachtet. Tatsächlich bewirkt das durch gleichsinnig bewegte elektrische Ladungen erzeugte Magnetfeld eine Fokussierung, welche die Streuung des Partikelstrahls verringert. Man kann offenbar Partikel beobachten, die alle in einem parallelen Strahl die gleiche Geschwindigkeit haben, der sich wegen des Magnetfelds einschnürt, was durch die Geschwindigkeit der benachbarten Ladungen ausgelöst wird.¹

Wir wollen jetzt einen Beobachter betrachten, der sich mit diesem Strahl von Partikeln mit bewegt. In seinem Bezugssystem sehen die Partikel in Bezug auf ihn stationär aus. Dann würde kein Magnetfeld entstehen. Unter Verwendung von Einsteins Reziprozitätsprinzip innerhalb dieses bewegten Koordinatensystems sollten sich die geladenen Teilchen gegenseitig abstoßen,

1 Wird als Pinch-Effekt bezeichnet

