Erich Wanek

Paradoxe Relativität

Aus „Was von moderner Physik bleibt und fällt“
Band I : Relativitätstheorie ,
Verlag Kritische Wissenschaft, D-51556 Windeck/Sieg

2005

Anschrift des Verfassers:
Dr. Erich W a n e k
Paracelsusstraße 25 B
A – 5020 S a l z b u r g

E-Mail : erich.wanek@aon.at

Erich Wanek
Paradoxe Relativität *)

1.) Unterschiedliche Deutungen des „Michelson-Experiments“

Das „Michelson-Experiment“ hat bewiesen, daß sich das Licht für den zur Apparatur ruhenden irdischen, also mit der Erde mitbewegten Beobachter, nach allen Richtungen gleichmäßig, d.h. kugelförmig ausbreitet. Die von einer auf der Erde befindlichen Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlen haben demnach für den Beobachter auf der Erde nach allen Richtungen die gleiche Geschwindigkeit.

Was gilt nun für einen im Verhältnis zur Bewegung der Erde ruhenden Beobachter? Er wird eine mit der Erde mitbewegte sich ausbreitende Kugelfläche sehen, die samt ihrem Mittelpunkt mit der Lichtquelle, bzw. dem zugehörigen System der Erde mitwandert. Vorstellbar etwa so, wie wenn ein Kind in einem fahrenden Auto einen Luftballon aufbläst und der auf der Straße stehende Beobachter die größer werdende Luftballonkugel mit dem Auto mitfahren sieht.

Diese „Mitnahme“ des Lichtes auf der Erde kann leicht erklärt werden, wenn man davon ausgeht, daß die Lichtgeschwindigkeit von dem an dem betreffenden Ort überwiegenden Kraftfeld beeinflußt wird, das Licht also vom Gravitationsfeld oder Magnetfeld der Erde quasi mitgenommen wird. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit ist die sogenannte „ballistische Lichtemission“, wie

---

*) Vgl. frühere Beiträge des Verfassers, u.a. Zeitschrift „Wissen im Werden“, Heft 4/1959: Erich Wanek: “Lichtgeschwindigkeit und Bezugssystem“ Sammelband: KRITIK UND FORTBILDUNG DER RELATIVITÄTS-THEORIE; Herausg.v.Karl Sapper, Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Zweiter Band, Graz 1962, Seite 179 ff.: Erich Wanek: „Paradoxien der Relativitätstheorie und deren Überwindung durch das Modell einer Teilchenwelle“

sie der Aussendung der Lichtquanten, also „Teilchen", wieder bezogen auf das jeweils überwiegende Feld, entspricht.

Ergänzende Anmerkung zum Teilchenwelle-Modell: (Siehe dazu „Physics Essays",Vol.21/4 Wanek:„The particlewave")

Damit ist die Lichtgeschwindigkeit nur innerhalb eines gleichförmig bewegten Feldes für den mitbewegten Beobachter konstant. Nun fordert das sogenannte Prinzip der Relativität, daß alle Experimente und Beobachtungen unter gleichen Umständen in jedem Bezugssystem gleich ausfallen und man keinen Hinweis auf die Bewegung jenes Systems erhält, von dem aus man den Vorgang beobachtet, demnach auch keine absolute Geschwindigkeit meßbar ist, sondern nur relative Bewegungen von Bezugssystemen zueinander feststellbar sind.

Dieses abstrakte Prinzip wird aber dadurch eingeschränkt, weil man jedenfalls auch die Feldbedingungen (die überwiegende Feldstärke) im jeweiligen Bezugssystem berücksichtigen muß (allenfalls bis hin zu einem übergeordneten Feld des Universums).

Das tut die spezielle Relativitätstheorie aber nicht und ignoriert auch die vorhin beschriebenen Erklärungsmöglichkeiten einer Mitführung des Lichts durch die an dem betreffenden Ort überwiegende Feldwirkung und postuliert die „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit", d.h. daß jeder beliebig bewegte Beobachter immer und in jeder Richtung die Lichtgeschwindigkeit mit c_0 mißt.

Wenn nun der im Verhältnis zur mit der Geschwindigkeit v bewegten Erde außerhalb der Erde ruhende Beobachter auf der Erde eine Lichtquelle sieht, deren Lichtblitz sich auf der Erde gleichmäßig kugelförmig ausbreitet, so würde er in der einen Richtung c+v, in der anderen Richtung c-v messen. Das darf aber nach der Relativitätstheorie nicht sein. Die Relativitätstheorie verlangt, daß auch der außerhalb der Erde ruhende Beobachter den gleichen

Lichtblitz auch in seinem ruhenden System gleichförmig kugelförmig ausbreiten sieht, womit die gleiche Kugel im jeweils anderen System verschoben wäre.

Da das auch nicht sein kann, folgert die Relativitätstheorie, daß die beiden Beobachter den Abstand der Kugelfläche von der Lichtquelle und damit die Lichtgeschwindigkeit in der Bewegungsrichtung jeweils mit verschiedenen Maßstäben („Längenkontraktion") und verschiedenen Uhren („Zeitdilatation") messen, um die gleiche Lichtgeschwindigkeit ($c=x/t$) und die gleiche Kugelfläche (bzw. dann ein Ellipsoid) feststellen zu können.

Grundsätzlich wäre eine solche Transformation auch möglich, wenn sich bei gleichbleibenden Uhren nur die Längenmaßstäbe verändern oder umgekehrt bei gleichbleibenden Maßstäben nur die Uhren anders gehen.

2.) <u>Die Lorentz-Transformation</u>

Erinnern wir uns zunächst an die klassische Geschwindigkeitstransformation:

$$x' = x + vt \qquad \text{bzw.} \quad x = x' - vt \qquad \text{und } t' = t$$

Das ergibt, wenn $x = ct$ dann $c' = x' / t = c+v$, bzw. umgekehrt wenn $x' = c't$, dann $c = x/t = c' - v$

Damit in der Relativitätstheorie $c' = c$ wird, postuliert die Relativitätstheorie die bekannte „Lorentz-Transformation" :

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \qquad \text{bzw.} \quad x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

und $t' = \dfrac{t + vx / c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$ bzw. $t = \dfrac{t' - vx' / c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$

wenn $x = ct$
und $x' = ct'$ erhalten wir $t' = t. \dfrac{1 + v / c}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$

bzw. $t = t'. \dfrac{1 - v / c}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$

Damit ergibt sich für die Geschwindigkeit

$$c' = \frac{x'}{t'} \quad \frac{x. (1 + v / c)}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad \frac{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}{t. (1 + v / c)} = c$$

Die relativistische Längenkontraktion ($l/\sqrt{1 - v^2 / c^2}$) und die Zeitdilatation ($l/\sqrt{1 - v^2 / c^2}$) heben sich also hier gegenseitig auf.

Bemerkenswert ist aber, daß der Wert der klassischen Geschwindigkeitstransformation, nämlich x.(1+v/c) durch den Faktor der Zeitdilatation t.(1+v/c), (in der Gegenrichtung jeweils 1–v/c), aufgehoben werden muß, um die gleiche Lichtgeschwindigkeit feststellen zu können, d.h. aber nichts anderes, als daß die Uhren je nach der Bewegungsrichtung zur Lichtquelle anders synchronisiert sein müssen.

Bemerkenswert ist ferner, daß man die Formel für t' auch anders schreiben kann, da

$$t' = t.\frac{1 + v / c}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = t. \sqrt{\frac{(1 + v/c)^2}{1 - v^2 / c^2}} = t. \sqrt{\frac{1 + v / c}{1 - v / c}}$$

$$= t. \sqrt{\frac{c + v}{c - v}}$$

oder in der umgekehrten Richtung:

$$t' = t.\frac{1 - v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = t.\sqrt{\frac{(1 - v/c)^2}{1 - v^2/c^2}} = t.\sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

$$= t.\sqrt{\frac{c - v}{c + v}}$$

Es scheinen also auch in der Lorentz-Transformation wieder die Werte (c+ v) und (c-v) auf.

3.) <u>Die Abhängigkeit der Zeittransformation von der Bewegungsrichtung.</u>

Die Abhängigkeit der Zeittransformation von der Bewegungsrichtung ergibt sich, wie gezeigt, schon allein aus der Formel der Lorentz -Transformation. Einige Beispiele sollen dies deutlicher zeigen:

Denken wir uns einen an einer ruhenden Lichtquelle vorbeifahrenden Zug. Bei Stillstand des Zuges seien die Uhren der darin befindlichen Beobachter synchron gestellt worden. Beim Anfahren kann sich mit den Uhren mancherlei ändern, aber doch nur für alle Uhren gleichmäßig, so daß sie auch im fahrenden Zug wieder synchron gehen werden. Wenn sich nun der Zug der Lichtquelle nähert, können unter Umständen als Folge der Bewegung, die Maßstäbe und Uhren in diesem Zug so verändert sein, daß die Beobachter im Zug statt c + v nur c messen. Wenn der Zug mit gleichbleibender Geschwindigkeit die Lichtquelle passiert hat, kann sich grundsätzlich an den Maßstäben und Uhren im Zug nichts geändert haben. Mit den gleichen Maßstäben und Uhren können die Beobachter im Zug aber nicht jetzt plötzlich statt c-v wieder c messen, also zuerst eine kleinere und dann eine größere Geschwindigkeit, es sei denn, daß die Uhren im Zug nach Passieren der Lichtquelle anders synchron gestellt werden.

Tatsächlich müßten die Uhren bei Passieren der Lichtquelle um den

Faktor$\left(\frac{1\text{-}v / c}{\sqrt{1\text{-}v^2 / c^2}}\right)^2$, also $t'^{\,2}$, korrigiert werden, dann ist:

$$t'' = t.\ \frac{1 + v / c}{\sqrt{1\text{-}v^2 / c^2}} \cdot \left(\frac{1 - v / c}{\sqrt{1\text{-}v^2/c^2}}\right)^2 = t.\ \frac{1\text{-}v/c}{\sqrt{1\text{-}v^2/c^2}}$$

Noch deutlicher wird das, wenn wir uns einen Beobachter vorstellen, der sich zwischen zwei im gleichen System ruhenden Lichtquellen bewegt und gleichzeitig das Licht jener Lichtquelle, der er sich nähert, und das Licht jener Lichtquelle, von der er sich entfernt, mißt. Er müßte seine Uhr gleichzeitig sowohl um den Faktor $(1+v/c) / \sqrt{1\text{-}v^2 / c^2}$ als auch um den Faktor $(1\text{-}v/c) / \sqrt{1\text{-}v^2/c^2}$ ändern, um für beide Lichtquellen die gleiche Lichtgeschwindigkeit zu messen.

Die spezielle Relativitätstheorie versucht, diese Dilemma mit dem „Paradoxon der Gleichzeitigkeit“ zu begründen, wonach etwas, das in einem Bezugssystem gleichzeitig ist, im relativ dazu bewegten Bezugssystem nicht gleichzeitig stattfindet (Ausnahme nur ein „Punktereignis“), dies deshalb, weil man die Gleichzeitigkeit wiederum nur durch Lichtsignale feststellen könne. Es ist aber ein Trugschluß, aus einer verschiedenen Signalgeschwindigkeit auf verschiedene Zeiten zu schließen, während gerade bei Kenntnis der verschiedenen Signalgeschwindigkeit die Uhren auf gleiche Zeiten synchronisiert werden können.

Außerdem sind im vorhergehenden Beispiel die Uhren ja zunächst im stillstehenden Zug synchronisiert worden (man denke auch nur an Atomuhren, die für den Vergleich keine Signale brauchen) und diese Uhren könnten sich bei Bewegung, wenn sie sich ändern sollten, nur gleichmäßig synchron ändern. Man kann auch jede Geschwindigkeit in jedem System nur mit innerhalb des Systems gleichgehenden Uhren messen, egal wie diese Uhren von einem anderen Bezugssystem aus gesehen werden.

Denken wir uns als zweites Beispiel einen Beobachter am Äquator, der die Aufgabe hätte, die Geschwindigkeit des auf der Erde eintreffenden Sonnenlichtes im Zeitpunkt des Sonnenaufganges und des Sonnenunterganges zu messen. Wenn wir die Geschwindigkeit der Erddrehung am Äquator mit v bezeichnen, würde der Beobachter bei Sonnenaufgang; wenn er sich dem Lichtstrahl entgegen bewegt, c + v, bei Sonnenuntergang c - v messen, nach der speziellen Relativitätstheorie aber in beiden Fällen c, und zwar mit der Begründung, daß sich die bewegten Uhren und Maßstäbe verändern. Dies setzt also voraus, daß unsere Uhren bei Sonnenaufgang langsamer gehen müßten als bei Sonnenuntergang.

Schließlich sei noch ein Beispiel zum Paradoxon der Gleichzeitigkeit beschrieben: Stellen wir uns eine lange Walze vor, welche drehbar gelagert ist und sich hinter einem Schlitz befindet. Diese Walze habe auf ihrer Außenfläche eine Zeiteinteilung, so daß beim Schlitz die genaue Zeit ablesbar ist. Diese Walze entspricht also einer Serie gleichgehender Uhren, die längs des Schlitzes aufgestellt sind. Nun ergibt sich aber aus der Lorentz-Transformation, daß die Uhren in jedem System anders synchron gestellt werden, d. h. die in einem System gleichzeitig schlagenden Uhren, vom anderen System beobachtet, nicht gleichzeitig schlagen. Auf den Fall der Walze angewendet heißt das, daß sich diese für den bewegten Beobachter verdrehen, also deformieren müßte, wenn der bewegte Beobachter entlang des Schlitzes gleichzeitig verschiedene Zeiten ablesen soll.

4.) Das Uhren-Paradoxon und die relative Bewegung

Gemäß der Zeitdilatation müßte jede bewegte Uhr langsamer gehen. Da man aber nach der Relativitätstheorie zwei relativ zueinander bewegte Systeme jeweils vertauschen und sowohl das eine als auch das andere als relativ ruhend betrachten kann, ergibt sich daraus das bekannte Uhren - Paradoxon, daß, je nachdem welche von zwei bewegten Uhren man als ruhend betrachtet, diese nach ihrer Rückkehr zum Ausgangspunkt eine verschiedene Zeit anzeigen, was mit dem Prinzip der Relativität unvereinbar ist.

Dieser Widerspruch verstärkt sich noch dadurch, daß nach der speziellen Relativitätstheorie alle Naturvorgänge relativ zu einem mitbewegten System schneller verlaufen als relativ zu jedem anders bewegten System. Jeder Beobachter würde also behaupten, daß die Uhren in seinem System am schnellsten gehen und in allen anderen Systemen langsamer. Betrachten wir nun zwei Systeme S_1 und S_2, welche mit den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 gegenüber dem System S_3 bewegt sind. Es sei v_2 größer als v_1. Ein Beobachter in S_2, der sein System als ruhend betrachtet, müßte feststellen, daß die Uhren in S_1 langsamer gehen als seine in S_2. Ein Beobachter in S_3 aber würde feststellen, daß die Uhren in S_2 langsamer gehen als in S_1, da v_2 größer ist als v_1. Die beiden Beobachter würden also zu einander vollkommen widersprechenden Feststellungen kommen und wenn sie sich gegenseitig verständigen könnten, müßte ein heftiger Streit darüber entbrennen, welche Uhren nun wirklich schneller gehen.

In Wirklichkeit wird jeder Beobachter sein Bezugssystem als ruhend betrachten und es werden daher beide die gleiche Zeit messen.

Das ergibt sich auch schon daraus, daß dann, wenn die gegenseitige relative Bewegung der Bezugssysteme aufhört und sie gegenseitig ruhen, wieder alle die gleiche Zeit messen, also können in der Zwischenzeit der Bewegung die Uhren auch nicht ihren Gang verändert haben.

Trotzdem wird allen Ernstes behauptet, daß, wenn von zwei Zwillingsbrüdern einer mit einer Photonenrakete unterwegs ist, dieser nach seiner Rückkehr seinen Bruder gealtert sieht, während er selbst jung geblieben ist (Zwillings-Paradoxon). Auch hier kann man natürlich umgekehrt den Bruder in der Rakete als ruhend und den auf der Erde als bewegt ansehen, so daß der auf der Erde lebende Bruder jünger geblieben wäre. In Wirklichkeit werden nach der Rückkehr, wenn beide gegeneinander ruhen, auch beide gleich alt sein.

Schließlich noch ein Beispiel zur Längenkontraktion: Da sich unser Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von 275 km/s in Richtung auf das Sternbild des Schwan bewegt, wäre, wenn der Schwan im Zenit steht, nach der Relativitätstheorie der Erdradius in dieser Richtung im Ausmaß von $\sqrt{1-v^2/C^2}$ verkürzt, d.h. daß bei einem Erdradius von ca. 6.10^3km eine Längenkontraktion von einigen Metern erfolgen müßte, was bedeutet, daß sich jeder Punkt unserer Erde um den 40. bis 45. nördlichen Breitengrad täglich um einige Meter senken und heben müßte,was ungeheure Erdbeben und Flutwellen zur Folge hätte.

Man kann nun aus all dem auch folgern, daß die Zeiten und Längen in Wirklichkeit unverändert bleiben und sich für den relativ bewegten Beobachter nur scheinbar ändern, weil dieser sie anders berechnet. Damit wäre auch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit nur eine scheinbare. Durch eine solche nur fiktive Zeitdilatation und Längenkontraktion kann aber das Ergebnis des Michelson-Versuches nicht erklärt werden, und die Zeit ist absolut und verändert sich nicht.

Was bleibt dann vom „Prinzip der relativen Bewegung"?

Wenn die Lichtausbreitung von der Feldwirkung im jeweiligen Bezugssystem abhängt und es andererseits auch keinen feldfreien Raum gibt, muß die Feldwirkung in jedem Bezugssystem berücksichtigt werden. In zwei gegenseitig bewegten Bezugssystemen wird daher jeder Beobachter eine von einer Lichtquelle im anderen Bezugssystem ausgehende und „mitgeführte" Kugelfläche mit der Lichtquelle als Mittelpunkt mit dem Bezugsystem mitwandern sehen und wird auf Grund der relativen Geschwindigkeit v gegenüber dem anderen Bezugssystem dann jeweils c+v, bzw. c-v messen, und wenn die Bezugssysteme mit ihren Lichtquellen wieder gegenseitig ruhen, wieder c.

Da nun jedes Bezugssystem ein entsprechendes Feld mit sich führt, bleibt die relative Bewegung der Bezugssysteme samt ihren Feldern erhalten.
Zu beantworten ist noch die Frage, ob es ein übergeordnetes absolutes Bezugssystem gibt. Für die Antwort ist entscheidend, ob man das Weltall als endlich oder unendlich betrachtet. Ein endliches Weltall wäre ein solches übergeordnetes Bezugssystem. In einem unendlichen Weltall ergibt die Frage nach einer absoluten Bewegung aber keinen Sinn.

5.) Ist der Raum „gekrümmt" oder das Licht „gebogen"? Universum und Entweichgeschwindigkeit

Die allgemeine Relativitätstheorie setzt Gravitation und Beschleunigung und damit schwere und träge Masse gleich und sagt, daß zwischen der Wirkung eines Gravitationsfeldes und der Wirkung einer Beschleunigung eines Bezugssystems kein Unterschied besteht. Sie folgert weiter daraus eine „Krümmung des Raumes", z.B. die Ablenkung eines von einem Stern kommenden Lichtstrahls durch das Gravitationsfeld der Sonne.

Wenn ein solcher an der Sonne „vorbeifliegender“ Lichtstrahl von der Sonne abgelenkt wird, so wird damit das Licht „gebogen“, aber deshalb nicht der Raum gekrümmt.
Denn wenn der Raum in diesem Ausmaß gekrümmt wäre, würden wir ja das Licht geradlinig auf uns zukommen sehen. Die Tatsache, daß wir die Ablenkung des Lichtstrahls sehen, zeigt doch eigentlich, daß nicht der Raum im Verhältnis der Ablenkung „gekrümmt“ ist, sondern der Lichtstrahl abgebogen wird.

Die Weiterführung dieses Gedankens führt zu folgenden Berechnungen:

Betrachtet man das gesamte Universum, so könnte man die sogenannte „Entweichgeschwindigkeit“ aus diesem Universum analog wie die für einen Erdsatelliten notwendige Entweichgeschwindigkeit berechnen. Die Angaben für den Radius des Universums schwanken zwischen 10^{27} cm und 10^{28} cm, so daß wir hier 5.10^{27} cm (ca. 5 Mrd.Lichtjahre) annehmen. Die Gesamtmasse des Universums wird mit 10^{55} g bis 10^{56} g angegeben, so daß wir für die Masse 5.10^{55} g annehmen.

Dann ergibt sich für die Entweichgeschwindigkeit aus dem Universum (mit f = Gravitationskonstante)

$$\sqrt{2.f.\frac{M}{R}} = \sqrt{2.\ \frac{6{,}67.10^{-8}\ cm^3 g^{-1} s^{-2}\ .\ 5.10^{55} g}{5.10^{27}\ cm}}$$

$$= \sqrt{13{,}34.10^{20}\ cm^2 s^{-2}} = 3{,}65.10^{10}\ cm\ s^{-1}$$

Die Entweichgeschwindigkeit ist also jedenfalls größer als die Lichtgeschwindigkeit (auch wenn die Werte für Masse und Radius nur Annäherungswerte sind). Die Lichtquanten können also das „Universum“ nicht verlassen, sondern kreisen um das „Universum“ so wie ein Satellit die Erde umkreist.

Wenn dem so ist, dann ist auch nicht der Raum gekrümmt, sondern es werden die Lichtstrahlen durch die Gravitationswirkung der Masse des Universums auf eine annähernde Kreisbahn gebogen.

Nehmen wir den Durchmesser des Universums mit 9 bis 10 Mrd. Lichtjahren an, so kommt das Licht von den Galaxien ja nicht gerade zu uns, sondern entlang des Halbkreises π r, demnach auf einer Strecke von 14 bis 15 Mrd. Lichtjahren. (Nach neuesten Meldungen wurde die fernste Galaxie mit 13 Mrd.Lichtjahren entdeckt).

Da aber das Licht von den Galaxien in beiden Richtungen auf dieser „Kreisbahn" um das „Universum" läuft, müßte man, wenn man einmal bis zu den „Antipoden-Galaxien" sehen kann, diese sowohl in der einen Richtung als auch in der entgegengesetzten Richtung quasi wie ein Spiegelbild entdecken. Tatsächlich zeigen die Galaxien in der einen Himmelshälfte bei gleicher Entfernung eine stärkere Rotverschiebung als jene in der anderen Himmelshälfte, was davon abhängen kann, ob das Licht in der Richtung der Rotation des Universums oder in der Richtung gegen die Rotation des Universums zu uns kommt.

Weiters könnte man annehmen, daß sich auf Grund von Masse, Radius und der sogar für das Licht fehlenden Entweichmöglichkeit das Universum wie ein „Schwarzes Loch" verhält, um dessen Zentrum die Spiralnebel kreisen.

Die Rotverschiebung bei den Spiralnebeln könnte man allenfalls statt eines durch die Bewegung verursachten Doppler-Effekts auch mit einer Energie-und damit Frequenzverminderung als Folge einer je nach der Entfernung längerdauernden Wirkung der Beeinflussung durch das Gravitationsfeld oder Magnetfeld des Universums erklären.

Will man noch die „Kreisbahngeschwindigkeit" berechnen (wieder so wie ein Satellit um die Erde, also $v^2 = f \cdot \frac{M}{R}$ so erhält man man dafür:

$$\sqrt{f \cdot \frac{M}{R}} = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{20}\ cm^2\ s^{-2}} = 2{,}58 \cdot 10^{10}\ cm\ s^{-1},$$

also nahezu Lichtgeschwindigkeit.

Berechnet man diese „Kreisbahngeschwindigkeit" so wie die Fluchtgeschwindigkeit der Spiralnebel mit der Hubble-Konstante, nämlich $\alpha = 0{,}5 \cdot 10^{-17} s^{-1}$, so ergibt sich für die Geschwindigkeit $v = \alpha \cdot r$ bei einem Radius von $5 \cdot 10^{27}$ cm der fast gleiche Wert von $2{,}5 \cdot 10^{10}$ cm s^{-1}.

Man kann aber nichts darüber aussagen, ob nun das „Weltall" endlich ist (gleichzusetzen mit dem beschriebenen „Universum") oder aber doch unendlich, weil es außerhalb unseres „Universums" eine Unzahl ähnlicher Gebilde geben kann, die sich wiederum um ein Zentrum bewegen.