

# Einsteins Relativitätstheorie kontra klassische Mechanik

Paul Marmet

übersetzt von Mathias Hüfner

Letzte Durchsicht:03.09.12

## Kapitel sechs Geometrische Illustration der Periheldrehung von Merkur.

### 6,1 - Bedingungen die die geometrischen Form der Bahn steuern.

Die Periheldrehung von Merkur gegeben in Gleichung 5,46 wurde unter Verwendung der Störungen von einzelnen Parametern berechnet. Diese Drehung kann auch unter Verwendung von geometrischen Überlegungen veranschaulicht werden. Newton erklärte das universelle Gravitationsgesetz, welches ein genaues quadratisches Gravitationsfeld um eine Masse voraussagt. Newton hat gezeigt, dass in einem Gravitationsfeld um einen zentralen Körper sich alle Massen in elliptische Bahnen unabhängig von der Masse des umkreisenden Körpers bewegen. Entsprechend der klassischen Mechanik ist eine notwendige Bedingung, um für eine Masse in einem Gravitationsfeld eine genaue elliptischen Bahn zu erhalten, dass dessen Intensität sich genau umgekehrt proportional dem Quadrats des Abstandes R von der zentralen Masse verringert:

$$\text{Feld} \propto \frac{1}{R^2} \quad 6,1$$

Es gibt verschiedene Messungen, die zeigen, dass diese quadratische Abnahme des Gravitationsfeldes ziemlich genau von der Natur befolgt wird. In einem Abstand  $R_M$  (o.s.) von M (o.s.), wird das Feld gegeben:

$$\text{Feld} = \frac{G(o.s.)M(S)(o.s.)}{R_M^2(o.s.)} \quad 6,2$$

wo  $G(o.s.)$  die Anzahl von Weltraumeinheiten der Fallbeschleunigung ist und  $M(o.s.)$  die Anzahl von Weltraumeinheiten der solaren Masse ist. Gleichung 6,2 bedeutet, dass die Sonne ein genaues quadratisches Gravitationsfeld (in Weltraumeinheiten) erzeugt, in das Merkur versenkt ist.

Obwohl das inverse quadratische Gesetz allgemein anerkannt ist, wurde eine sehr geringfügige Abweichung von diesem Gesetzes zuerst von Aseph Hall im Jahre 1894 vermutet [1]. Seit wir gesehen haben, dass die Masse eines Körpers sich ändert, wenn sie sich in einem Gravitationspotential bewegt, können wir zeigen, dass solch eine geringfügige Änderung der Masse zu einem Effekt führt, der mit der geringfügigen Änderung der quadratischen Funktion gleichwertig ist, die von Hall vorgeschlagen wurde.

Die Klassische Mechanik zeigt, dass ein massiver Körper in einer elliptischen Bahn reist, wenn sich die Kraft F eher als das Feld zwischen der zentralen Masse und der umkreisenden Masse mit dem Quadrat des Abstandes verringert. Wir wollen Newtons Gleichung betrachten (geschrieben auf eine korrekte Art, im Gegensatz zu Gleichung 5,1):

$$F_M(o.s.) = \frac{G(o.s.)M(S)(o.s.)M(M)_M(o.s.)}{R_M^2(o.s.)} \quad 6,3$$

Da sich die Masse von Merkur mit seinem Abstand von der Sonne ändert, ist es falsch, zu glauben, dass die Kraft zwischen der Sonne und Merkur noch einer umgekehrten quadratischen Funktion dieses Abstandes folgt. Selbst wenn sich das Gravitationsfeld um eine zentrale Masse genau mit dem Quadrat des Abstandes verringert, verringert sich die Gesamtkraft zwischen Merkur und der Sonne nicht mit der gleichen Rate wie das Feld. Die Flugbahn eines Planeten, dessen Masse sich verringert, wenn sie in ein tieferes Gravitationsgebiet gerät, entspricht genau dem Problem einer nicht quadratischen Kraft um eine zentrale Masse. Unter Verwendung der klassischen Mechanik können wir die neue geometrische Form der Bahn berechnen, wenn die Kraft (nicht das Feld) zwischen der Sonne und Merkur nicht quadratisch ist.

Wenn wir jedoch die richtigen Parameter des Beobachters betrachten, der auf verschiedene Abstände von der Sonne umzieht, ist das Gravitations**feld** (definiert wie die Kraft geteilt durch die richtige Masse) berechnet von Gleichung 5,9 für den Beobachter, der zwischen verschiedene Entfernungen von der Sonne reist nicht mehr quadratisch. Folglich führt das unter Verwendung der Parameter, wo Merkur auf das Gravitationsfeld einwirkt, zu einem offensichtlich nicht quadratischen Feld (da die **richtige** Masse von Merkur für einen Beobachter auf Merkur konstant ist).

Unter Verwendung irgendeiner nicht quadratische Kraft, wie von einem Weltraumbeobachter gesehen, der die Änderung der Masse von Merkur berücksichtigt, oder die offensichtlich nicht quadratische Kraft gegeben durch Gleichung 5,9 (mit konstanter richtiger Masse) führt zu einer ähnlichen Periheldrehung von Merkur. Jedoch sind diese Berechnungen unvollständig, weil andere grundlegende Phänomene, wie die Massenänderung als Funktion der Geschwindigkeit von Merkur auf seiner Bahn nicht berücksichtigt werden. Längenänderungen und die Änderung der Taktfrequenz wegen Merkurs Geschwindigkeit und Gravitationspotential sollten auch berücksichtigt werden.

Da wir bereits die Gesamtpräzession in Gleichung 5,46 berechnet haben, beschränken wir unsere Demonstration hier auf die Änderung von einem Parameter unter Verwendung nur der Änderung der Masse von Merkur als Funktion seines Abstandes von der Sonne. Wir verwenden nur die Störung dieses Parameters und zeigen, dass sie einer der Beiträge zur geometrischen Präzession der Ellipse ist, was in einem klassischen Experiment veranschaulicht werden kann, das in einem Labor unter Verwendung eines einfachen Apparates erfolgen kann.

## 6,2 - Die Änderung der Masse des Merkurs.

Wir wollen die Änderung der Kraft auf Merkur wegen seiner Massenänderung als Funktion seines Abstandes von der Sonne betrachten. Gleichung 4,25 zeigt, wie sich die absolute Masse eines Kilogramms bei Annäherung an die Sonne verringert. Folglich verringert sich die Gesamtmasse von Merkur um das gleiche Verhältnis. Von Gleichungen 4,39; 4,40 und 4,41, folgt die Masse von Merkur (in den Weltraumeinheiten) dem Verhältnis:

$$\frac{\mu(M)_M[o.s.]}{\mu(M)_{o.s.}[o.s.]} = \frac{kg_M}{kg_{o.s.}} \quad 6,4$$

Gleichungen 6,4 und 4,25 ergeben:

$$\mu(M)_M[o.s.] = \mu(M)_{o.s.}[o.s.] \times \left( 1 - \frac{G(o.s.)M(S)(o.s.)}{c^2 R_M(o.s.)} \right) \quad 6,5$$

oder:

$$M(\underline{M})_M(o.s.) = M(\underline{M})_{o.s.}(o.s.) \times \left( 1 - \frac{G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)}{c^2 R_M(o.s.)} \right) \quad 6,6$$

Unter Verwendung der Gleichung gibt 6,6 in 6,3 eine Kraft, die gleich ist:

$$F_M(o.s.) = \left[ \frac{G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)M(\underline{M})_{o.s.}(o.s.)}{R_M^2(o.s.)} \right] \times \left[ \frac{\left( 1 - \frac{G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)}{c^2 R_M(o.s.)} \right)}{R_M^2(o.s.)} \right] \quad 6,7$$

was gleich ist:

$$F_M(o.s.) = G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)M(\underline{M})_{o.s.}(o.s.) \times \left( \frac{1}{R_M^2(o.s.)} - \frac{G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)}{c^2 R_M^3(o.s.)} \right) \quad 6,8$$

Wir wollen definieren:

$$k_1 = \frac{G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)}{c^2} \quad 6,9$$

Gleichung 6,8 wird:

$$F_M(o.s.) = G(o.s.)M(\underline{S})(o.s.)M(\underline{M})_{o.s.}(o.s.) \times \left( \frac{1}{R_M^2(o.s.)} - \frac{k_1}{R_M^3(o.s.)} \right) \quad 6,10$$

Gleichung 6,10 zeigt, dass die Gravitationskraft die Differenz zwischen einer quadratischen Gleichung und einer kubischen Funktion ist.

Es ist bekannt, dass in einem quadratischen Feld, eine elliptische Bahn mit einer kleinen Exzentrizität (Expansion erste Ordnung) der Gleichung  $r = a(1 + \epsilon \cos\theta)$  folgt ( $a$  ist die große Halbachse und  $e$  ist die Exzentrizität). Diese Gleichung beinhaltet zwei Komponenten: eine tangentielle Komponente mit konstantem Radius  $a$  und eine radiale Komponente mit dem Umfang  $a \epsilon \cos\theta$ . Seit Keplers drittes Gesetz den gleichen Zeitraum (in erster Ordnung) für Bahnen mit dem gleichen durchschnittlichen Radius mit oder ohne Exzentrizität voraussagt, führen beide, die tangentielle und die radiale Komponente zu der gleichen Periode in einem quadratischen Feld.

Jedoch im Falle eines nicht quadratischen Feldes (kubischer Ausdruck in Gleichung 6,10), wird die Schwingungsdauer der Radialkomponente länger als die Periode der kreisförmigen tangentialen Komponente. Selbstverständlich „fühlt“ eine Kreiskomponente nicht den Feldgradienten. Weil die kubische Radialkomponente der Oszillation eine längere Periode hat, gibt es eine kontinuierliche Phasenverschiebung zwischen den Perioden der tangentialen und der radialen Komponente.

Infolgedessen ist der kubische Term in Gleichung 6,10, der nicht Keplers quadratischem Kraftgradienten folgt, für den Präzession der Ellipse verantwortlich, weil die radiale Komponente, die eine längere Periode hat, aus der Phase mit der Kreiskomponente kommt. Es ist die Phasendifferenz zwischen der tangentialen und der radialen Komponente der Bewegung, die die Präzession der Ellipse bewirkt. Wir bemerken auch, dass es die radiale Komponente der Oszillation ist, die durch die Änderung von Parametern am stärksten betroffen ist, resultierend aus der Masse-Energie-Erhaltung.

Wir wollen die Klammer auf der rechten Seite von Gleichung 6,10 überprüfen. Unter Verwendung einer Reihenentwicklung können wir zeigen, dass sie mathematisch mit einer einfachen exponentialen Form gleichwertig ist, die gegeben ist durch:

$$\frac{1}{R^2} - \frac{k_1}{R^3} = \frac{1}{R^{2+\epsilon}} \quad 6,11$$

in welchem der genaue Wert von  $\epsilon$  ist:

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_1^n}{nR^n \ln R} \quad 6,12$$

Einen sehr guten Näherungswert zur ersten Ordnung (mit  $n = 1$ ) gibt:

$$\varepsilon = \frac{k_1}{R \ln R} \quad 6,13$$

Die Kombination von Gleichungen 6,10 und 6,11 ergibt:

$$F_M(\text{o.s.}) = G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.}) \times M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.}) R_M^{-(2+\varepsilon)}(\text{o.s.}) \quad 6,14$$

wo  $\varepsilon$  immer positiv ist. Gleichung 6,14 zeigt, dass, wegen der Abnahme der Masse wegen der Masse-Energie Erhaltung, die **Kraft**  $F$  zwischen Merkur und der Sonne sich nicht mehr genau mit dem Quadrat des Abstandes verringert. Die Änderung der Masse von Merkur als Funktion seines Abstandes von der Sonne ist für die Änderung der Energie von  $R_M$  von 2 auf  $2+\varepsilon$  verantwortlich. Deshalb ist die Gravitations**kraft** nicht Newtonsch, wie in Gleichung 6,14 gezeigt, selbst wenn sich das Gravitations**feld**, das Merkur beeinflusst, genau als das Inverse des Quadrats des Abstandes verringert, wie in Gleichung 6,2 geschrieben (wie in einem perfekten newtonschen Feld). Wir wollen jetzt die Flugbahn von den Körpern nachprüfen, die durch eine Kraft verursacht wird, die sich mit einer Funktion verringert, die von  $1/R^2$  etwas abweicht.

### 6,3 - Bahnformen und Gravitationskraft-Gradienten.

Wir haben in Gleichung 6,10 die Kraft auf Merkur als Funktion des Abstandes  $R_M$  berechnet. Das entsprechende Gravitationspotential  $V_M(\text{o.s.})$  wird durch das Integral von Gleichung 6,10 erhalten. Dieses ergibt:

$$V_M(\text{o.s.}) = G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.})M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.}) \times \left( \frac{-1}{R_M(\text{o.s.})} + \frac{k_1}{2R_M^2(\text{o.s.})} \right) \quad 6,15$$

Die Bahn, der eine Masse folgt, die einem Potential unterworfen ist, wie in Gleichung 6,15 beschrieben, ist bereits in [2, 3] berechnet worden. Mit Goldsteins temporärer Notation[2], ist die Lösung von Gleichung 6,15 eine präzessierende Ellipse mit einer Präzessionsgeschwindigkeit von:

$$\Omega(\text{sec}) = \frac{2\pi mh}{l^2 \tau} \quad 6,16$$

wo  $\Omega$  (sec) in Radianten pro Sekunde gemessen wird. Wenn wir Goldsteins Notation in unsere transformieren, haben wir  $m = M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.})$  und  $h = (G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.})M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.})k_1)/2$ .  $\tau$  ist die Umlaufperiode von Merkur um die Sonne. Der Drehimpuls  $l$  in Gleichung 6,16 ist:

$$l = M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.})R_M^2(\text{o.s.}) \frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.})R_M^2(\text{o.s.})}{\tau} \quad 6,17$$

wo  $d\theta/dt$  die Winkelgeschwindigkeit ist. Deshalb erhalten wir von Gleichung 6,9 und von den Definitionen oben:

$$h = \frac{G^2(\text{o.s.})M(\underline{S})^2(\text{o.s.})M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.})}{2c^2} \quad 6,18$$

Von Gleichungen 6,16, 6,17 und 6,18, haben wir:

$$\Omega(\text{sec}) = \frac{G^2(\text{o.s.})M(\underline{S})^2(\text{o.s.})\tau}{c^2 R_M^4(\text{o.s.})4\pi} \quad 6,19$$

Wir wollen die Präzession  $\Omega$  (sec) gegeben in Radianten pro Sekunde umwandeln in

Radianen pro Umfang  $\Omega$  (circ). Wir erreichen:

$$\Omega(\text{sec}) = \frac{G^2(\text{o.s.})M(\underline{S})^2(\text{o.s.})\tau^2}{c^2 R_M^4(\text{o.s.})4\pi} \quad 6,20$$

Per Definition ist der Zeitraum  $\tau$  gleichgestellt:

$$\tau = \frac{2\pi R_M(\text{o.s.})}{v} \quad 6,21$$

Gleichung 6,21 in 6,20 ergibt:

$$\Omega(\text{circ}) = \frac{\pi G^2(\text{o.s.})M(\underline{S})^2(\text{o.s.})}{c^2 R_M^2(\text{o.s.})v^2} \quad 6,22$$

Newtons Gesetz zeigt, dass die Schwerkraft  $F_G$  der Zentrifugalkraft  $F_C$  in einer Kreisbahn gleich ist (die Exzentrizität ist noch nicht berücksichtigt worden). Wir haben die grundlegenden Gleichungen:

$$F_C = \frac{M(\underline{M})_M(\text{o.s.})v^2}{R_M(\text{o.s.})} = F_G = \frac{G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.})M(\underline{M})_M(\text{o.s.})}{R_M^2(\text{o.s.})} \quad 6,23$$

Gleichung 6,23 ergibt:

$$v^2 = \frac{G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.})}{R_M(\text{o.s.})} \quad 6,24$$

Gleichungen 6,24 und 6,22 ergeben:

$$\Omega(\text{circ}) = \frac{\pi G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.})}{c^2 R_M(\text{o.s.})} \quad 6,25$$

Gleichung 6,25 gibt die Geschwindigkeit der Präzession einer Ellipse für den Fall eines perfekten quadratischen Feldes, in dem die umkreisende Masse sich mit ihrer Position im Gravitationspotential wegen der Masse-Energie-Erhaltung ändert.

## 6,4 – Die Identität von mathematischen Formen.

Wir finden, dass die Periheldrehung von Merkur mit der Störungsmethode erhalten, die von Einstein und von uns in Gleichung 5,46 angewendet wurde, die gleiche mathematische Form wie Gleichung 6,25 haben, die offenbar der Präzession einer elliptischen Bahn entspricht. Es gibt aber zwei offensichtliche Unterschiede. Da wir die Exzentrizität der Bahn nicht berücksichtigt haben, fehlt natürlich der Ausdruck  $1-\epsilon^2$  in Gleichung 6,25, wie in Abschnitt 5,10 erklärt. Andere ähnliche Parameter werden hier ignoriert, da wir nicht die Störungen berücksichtigen, die in Abschnitt 6,1 erklärt wurden. Wenn wir diese Störungen berücksichtigen, werden andere ähnliche Ausdrücke addiert und die vollständige Präzession wird gefunden, wie in Kapitel fünf erreicht. Das Ziel der vorliegenden Demonstration ist nur, die Wirklichkeit des klassischen Präzession der Ellipse im Falle einer nicht quadratischen Kraft zu veranschaulichen.

## 6,5 – Die Illustration von Flugbahnen in Potentialtöpfen.

Wenn sich die Kraft auf einen Planeten, der sich um die Sonne bewegt, mit dem Quadrat seines Abstandes von der Sonne verringert, reist er auf einer perfekten Ellipse. Jedoch wegen der Masse-Energie-Erhaltung verringert sich die Intensität der Kraft nicht exakt mit dem Quadrat des Abstandes. Wie in Gleichung 6,14 gesehen, folgt die Kraft der Beziehung:

$$F_M(\text{o.s.}) = G(\text{o.s.})M(\underline{S})(\text{o.s.}) \times M(\underline{M})_{\text{o.s.}}(\text{o.s.}) R_M^{-(2+\epsilon)}(\text{o.s.}) \quad 6,26$$

Die Flugbahn eines Körpers, der der Gleichung 6,26 unterworfen wird, ist eine Ellipse, wie in

den Abbildungen 6,1 und 6,2 veranschaulicht. In Abbildung 6,1 wird eine glatte konische Oberfläche derart errichtet (auf dem Erdgravitationsfeld) sodass sich die Höhe über dem Boden als das Negativ des Inversen des Quadrats vom Abstand von den Mittelachsen erhöht. Dieses entspricht  $\epsilon = 0$  in Gleichung 6,26. In diesem Fall erhöht sich die potentielle Energie eines gleitenden Balls (ohne Reibung) auf der Oberfläche entsprechend einer inversen quadratischen Funktion von der Mitte. Wenn wir den Ball auf die Oberfläche werfen, können wir eine Kreisbahn in verschiedenen Abständen von der Mitte erhalten. Unter Verwendung eines anderen Anfangsdrehimpulses kann man eine **stationäre** elliptische Bahn beobachten, wie in Abbildung 6,1 gezeichnet.

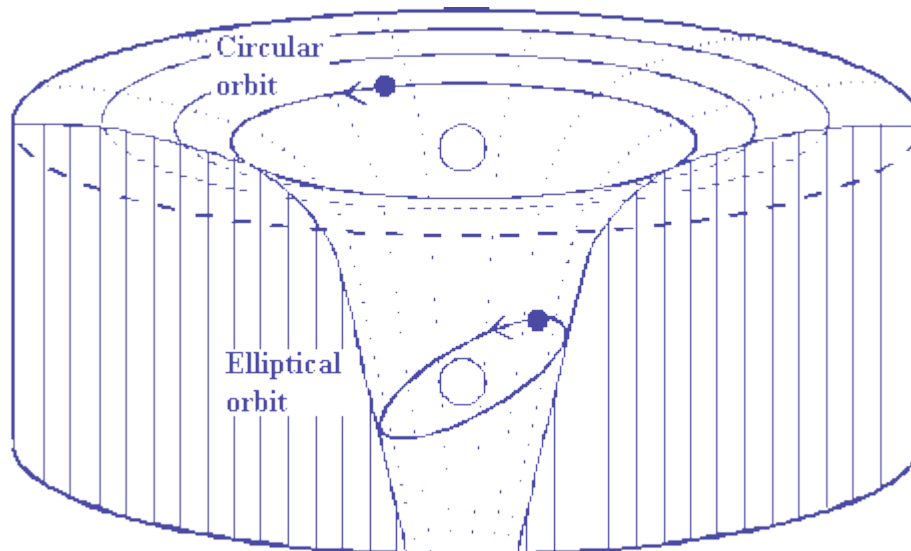


Abbildung 6.1: Demonstration einer Masse, die sich in einer elliptische Bahn in einem quadratischen Potenzialtopf bewegt, der sich mit  $1/r^2$  ändert.

Wenn jedoch die Form des Kegels abweicht (siehe Abbildung 6,2) so dass sich das Potenzial schneller erhöht, als das inverse Quadrat des Abstandes (entsprechend Gleichung 6,26 mit  $\epsilon \neq 0$ ), sehen wir, nachdem wir einen Ball geworfen haben, dass die Achse der elliptischen Bahn gerade so präzisiert, wie bei Merkur in seiner Bahn um den Sonne beobachtet. Die Ursache dieser klassischen Präzession auf dem Apparat ist (zum Teil) die selbe wie die Ursache der Präzession von 43 Arcsec pro Jahrhundert von Merkur. Selbstverständlich nimmt diese Demonstration an, dass die Reibung und die Rotation des Balls geringfügig sind.

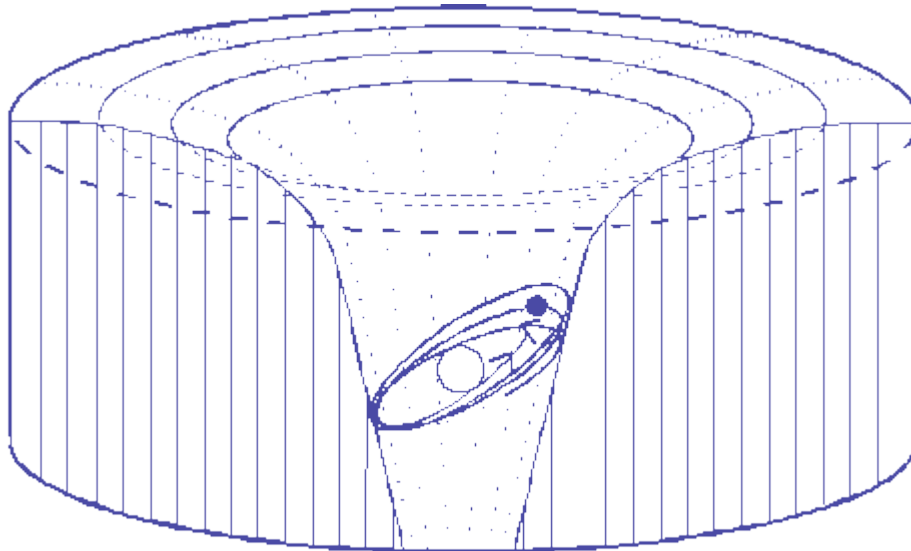


Abbildung 6.2: Demonstration einer Masse, die sich in einer elliptischen Bahn in einem quadratischen Potenzialtopf bewegt, der sich mit  $1/r^{2+\epsilon}$  ändert.

Das zeigt, dass die Periheldrehung von Merkur nicht durch Raum- oder Zeitverzerrung verursacht wird. Es ist einfach eine schöne Demonstration von klassischer Mechanik, die die präzessierenden Bahnen voraussagt, welche die Form einer Rosette ergeben.

## 6,6 – Die Gültigkeit des klassischen Modells.

Wir haben oben gefunden, dass es eine perfekte mathematische Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis gibt, das in Gleichung 5,46 berechnet wurde und dem Ergebnis, welches unter Verwendung Einsteins Mathematik vorausgesagt wird. Außerdem stimmen jene Ergebnisse perfekt mit den Beobachtungen der Periheldrehung von Merkur überein.

Um zu seiner Gleichung zu kommen, benötigte Einstein, einige neue Hypothesen, die Einsteins Relativitätsprinzipien genannt wurden. Wir wollen die Hypothesen vergleichen, die von Einstein verwendet wurden, mit denen die in diesem Buch verwendet werden, um die Lorentz-Transformationen und die Gleichung für die Periheldrehung von Merkur zu finden. Dieser Vergleich ist wichtig, wenn wir Occams Rasiermesser<sup>1</sup> anwenden möchten, das eine Präferenz der Theorie gibt, die eine Mindestzahl von Hypothesen erfordert. Einsteins Theorie erfordert jedoch viele neuen Hypothesen, zum Beispiel:

1) das Reziprozitätsprinzip<sup>2</sup>, das nicht mit der Masse-Energie Erhaltung kompatibel ist, wie in Abschnitt 3,9 gezeigt;

2) dass die Beschleunigung, die durch eine Änderung der Geschwindigkeit erzeugt wird, von der Fallbeschleunigung nicht unterscheidbar sei (Kapitel zehn);

3) die Nicht-Erhaltung der Masse-Energie Beziehung in der allgemeinen Relativitätstheorie.

Einstein kam dann zu den Konsequenzen, dass Raum und Vertrag Zeit verzerrt werden, kontrahiert und geweitet werden können. Tatsächlich erfordert Einsteins Modell nicht nur neue physikalische Hypothesen, es erfordert auch eine „neue Logik“, die nicht mit dem natürlichen Verständnis der Natur übereinstimmt. Die klassische Logik kann in der Relativität nicht mehr angewendet werden. In diesem Buch benutzen wir das Bohr-Modell des Atoms, das überall in der

<sup>1</sup> Das ockhamsche Prinzip fordert, dass man in Erklärungen nicht mehr Hypothesen und Variablen einführt, als benötigt werden, um den zu erklärenden Sachverhalt ausreichend herzuleiten und um [empirisch](#) überprüfbare [Vorausagen](#) treffen zu können. Daraus ergeben sich Kriterien für die Theoriefindung. Der praktische Vorteil soll dabei sein, dass Theorien mit wenigen und einfachen Annahmen leichter [falsifiziert](#) werden können als solche mit vielen und komplexen Annahmen. Wikipedia

<sup>2</sup> Das Reziprozitätsprinzip besagt die Gültigkeit einer umgekehrten Betrachtung.

Physik so vertraut ist. Wir finden auch, dass unter Verwendung der richtigen Werte die physikalischen Verhältnisse in allen Bezugssystemen wie in Einsteins Relativitätstheorie gültig sind. Gleichzeitig wird eine rationale Erklärung gegeben. Weder Zeit- noch Raumverzerrung wird notwendig und die neue Interpretation ist mit klassischer Logik kompatibel. Es gibt zweifellos eine extrem starke Präferenz zugunsten dieses neuen Modells, wenn wir Occams Rasiermesser anwenden.

## 6,7 - Literaturhinweise.

- [1] A. Hall, *A Suggestion in the Theory of Mercury*, Astr. J. 14, 49-51, 1894.  
 [2] H. Goldstein, *Classical Physics*, Addison-Wesley, Reading, Mass., second Edition, p. 123, 1980.  
 [3] E. T. Whittaker, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*, Cambridge University Press, Fourth Edition, Chapter 4, 1937. (also Dover, New York, 1944).

## 6,8 - Symbole und Variablen.

$F_M$ (o.s.)	Anzahl von Weltraum-Newton für die Gravitationskraft auf Merkur
$G$ (o.s.)	Anzahl von Weltraumeinheiten für die Fallbeschleunigung
Kilogramm <sub>frame</sub>	Masse des lokalen Kilogramms in absoluten Einheiten
$M$ ( $\underline{M}$ ) <sub>M</sub> (o.s.)	Anzahl von Weltraumkilogramm für Merkur am Merkur-Standort
$M$ ( $\underline{M}$ ) <sub>o.s.</sub> (o.s.)	Anzahl von Weltraumkilogramm für Merkur im Weltraum
$\mu$ ( $\underline{M}$ ) <sub>M</sub> [o.s.]	Masse von Merkur in Weltraumeinheiten am Merkur-Standort
$\mu$ ( $\underline{M}$ ) <sub>o.s.</sub> [o.s.]	Masse von Merkur in Weltraumeinheiten im Weltraum
$M$ (o.s.)	Anzahl von Weltraumeinheiten für die Masse der Sonne
$R_M$ (o.s.)	Anzahl von Weltraumeinheiten für den Abstand von Merkur zur Sonne
$V_M$ (o.s.)	Anzahl von Weltraumeinheiten für das Gravitationspotential auf Merkur

