Vereinheitlichte Physik
und
Eigenschaften der Elementarteilchen

Ulrich E. Bruchholz[1] und Horst Eckardt[2]

Zusammenfassung

Es wird gezeigt, wie sich alle Physik auf Basis der allgemeinen Relativität vereinigen lässt. Elektrodynamik wird als Teil der allgemeinen Relativität offenbart, was schon Rainich erkannt hatte. Die Eigenschaften der Elementarteilchen folgen aus den Gleichungen der vereinigten Theorie. Der Weg ihrer Berechnung wird aufgezeigt, und es wird auf den Erfolg der Methode verwiesen. Diese Einsichten und Ergebnisse sind zwangsläufig verknüpft mit einer Kritik der gegenwärtigen Physik.

Einführung: Probleme in der gegenwärtigen Physik

Die gegenwärtige Physik wird eingeteilt in viele Spezialrichtungen wie Mechanik, Thermodynamik, Astrophysik, Quantenphysik, Festkörperphysik oder Elementarteilchenphysik. Diese Spezialisierung ist der Verschiedenheit der Phänomene geschuldet, die in genannten Disziplinen der Physik untersucht werden. Es wäre jedoch wünschenswert, dass sich alle physikalischen Disziplinen auf einer gemeinsamen Basis-Theorie gründen. Es gibt nur eine allumfassende Natur, und es sollte ein Konzept für die eine grundsätzliche Beschreibung geben. Das war der Fall bis zum Ende des neunzehnten Jahrhundert, wo klassische Mechanik zum Beispiel die Basis von Thermodynamik und Astronomie war. Mit Erscheinen von Einstein's spezieller and allgemeiner Relativität und der Quantenmechanik im zwanzigsten Jahrhundert drifteten die Disziplinen auseinander. Die Teilchenphysik ging ihren eigenen Weg mit ihrem „Standardmodell“, das eine phänomenologische Theorie benutzt mit Parametern, die sich anpassen lassen. Es wäre sehr wünschenswert, wenn der Mikrokosmos auf einer Grundlage erklärt werden könnte, die auch in anderen Disziplinen

[1] unabhängig, Email: Ulrich.Bruchholz@t-online.de
[2] unabhängig, Email: mail@horst-eckardt.de

genutzt wird, denn wir sehen, dass das Standardmodell immer mehr an seine Grenzen stößt.

Es gab einige Versuche, die Quantenmechanik mit EINSTEIN's Relativität zu vereinigen, dies wurde jedoch nur mit der speziellen Relativität erreicht, woraus die DIRAC-Gleichung folgt [1, 2]. Es gab keinen erfolgreichen Weg, die allgemeine Relativität in die Quantenphysik einzubeziehen, denn die Konzepte von beiden sind zu unterschiedlich. Der übliche Weg der Quantisierung physikalischer Größen funktioniert nicht für RIEMANNsche Geometrie [3] (als Basis der allgemeinen Relativität), d. h. in gekrümmten Räumen. Einige Theoretiker halten Ausschau nach Lösungen in höheren Dimensionen, beispielsweise mit projektiver Theorie [4], oder Stringtheorie [5]. Die Stringtheorie braucht jedoch mindestens 11 Dimensionen um zu mathematisch handhabbaren Ergebnissen zu kommen, welche aus mathematischen Gründen beliebig und deshalb irrelevant sind. Folgerichtig haben die Stringtheoretiker selbst zuzugeben dass keine Chance besteht, jemals einen Bezug ihrer Theorie zu irgendwelchen messbaren physikalischen Parametern herzustellen. Das ist ein Zustand der Naturwissenschaft, wie wir ihn zuletzt im Mittelalter hatten! *(Privater Kommentar: Wir haben jetzt ein Zeitalter der Gegenaufklärung.)* Die Physiker haben es sich bequem gemacht in ihren Spezialdisziplinen, und nur wenige von ihnen denken über Wege zu einer einheitlichen Sicht der Wissenschaft nach, wie sie bis etwa 1900 existierte.

Ein Weg, die Fehler in Einstein's Allgemeiner Relativitätstheorie zu umgehen

Um einen Pfad zu einer neuen vereinigten Physik zu entwickeln, berücksichtigen wir zuerst die allgemeine Relativität von Albert EINSTEIN und ihren Bezug zur Elektrodynamik. In seinen berühmten Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie zitierte EINSTEIN die kovarianten („relativistischen“) MAXWELL-Gleichungen, und bemerkte über die Verknüpfung dieser Gleichungen mit seiner Gravitationsgleichung [6] (sinngemäß):

Die Gravitationsgleichung wird mit dem elektromagnetischen Energietensor[3] *genau dann erfüllt, wenn wir die Quellen (verteilte Ströme und Ladungen) gleich Null setzen.*

[3] Der Energietensor enthält neben der Energie 3 Impuls- und 6 Stress-Komponenten.

Diese Feststellung geht zurück auf eine Arbeit von Rainich, auf die wir unten eingehen wollen. Das bedeutet, wir haben Kräftegleichgewicht respective Erhaltung von Energie und Impuls nur wenn die Quellen Null sind. Das ist eine Bedingung, die mathematisch notwendig ist wegen der Bianchi-Identitäten [3]. Diese Identitäten sind der mathematische Ausdruck des Kräftegleichgewichts in der allgemeinen Relativität, denn Einstein und Grossmann fanden die Gravitationsgleichung genau unter vorgenannter Prämisse [6]. Dabei müssen die Divergenzen von jedem Energietensor (wie auch immer geartet) verschwinden [6, 7], was mit allen Naturgesetzen konsistent ist. Die Bianchi-Identitäten in der Gravitationsgleichung bzw. die stets verschwindenden Divergenzen des Energietensors enthalten die einfachen Erhaltungssätze von Mechanik und Elektromagnetismus.

Unter Berücksichtigung der von Einstein erwähnten Bedingung erhalten wir einen Satz Tensorgleichungen für 14 Komponenten, wobei nur 10 Gleichungen voneinander unabhängig sind. Sie werden in [7, 8, 9] zitiert. Von Null verschiedene Felder folgen nur mit von Null verschiedenen Integrationskonstanten. Sie gehen in die Initialbedingungen dieser Tensorgleichungen ein. Initial- und Randbedingungen müssen für die Lösungen der kombinierten Feldgleichungen spezifiziert werden. Die wichtigsten Integrationskonstanten sind Masse, Spin, elektrische Ladung und magnetisches Moment [7, 9].

Sobald wir Einstein's Vorschlag akzeptieren, den elektromagnetischen Energietensor in den Feldgleichungen zu verwenden (niemals realisiert von ihm), haben wir eine einheitliche Theorie von Gravitation und Elektromagnetismus. Es ist die „bereits vereinigte Theorie" nach Rainich [10, 11], obwohl Einstein niemals Rainich direkt zitiert hatte. Die Konsequenzen sind:

1. Die Lösungen der Gleichungen sind a priori nicht vollständig determiniert.

2. Nach einem Theorem von Einstein and Pauli [12] führen stationäre Lösungen o. g. Feldgleichungen immer zu Singularitäten, wo die Feldgrößen (wie Kraftfelder) alle Grenzen überschreiten.

3. Das Mach'sche Prinzip muss reinterpretiert werden, um Konsistenz mit dem einheitlichen Gebrauch zu erreichen.

(*Privater Kommentar:* Ich bin da direkter und meine: Mach machte einen Fehler, und das Prinzip beschreibt Natur nicht korrekt.)

Das im ersten Punkt beschriebene Problem kann auf dieselbe Weise umgangen werden wie für rein gravitative Lösungen der Feldgleichungen. Zusatzbedingungen z. B. für die Metrik können definiert werden, wie in nahezu allen bekannten gravitativen Lösungen getan. Aber man sollte nicht die Zusatzbedingungen mit den Relationen der Kovarianz verwechseln. Die grundsätzliche Eigenschaft der Kovarianz besteht darin, dass die Feldgleichungen ihre Form für jede Wahl der Koordinaten beibehalten, was nichts mit zusätzlichen Relationen zu tun hat.

Der zweite Punkt bedeutet dass wir mit Singularitäten umgehen müssen, wenn wir stationäre Lösungen haben wollen, was hier der Fall ist. Deshalb haben wir Singularitäten einzuführen, z. B. Punktmassen oder Punktladungen zu definieren. Diese singulären Punkte jedoch sind mathematisch und physikalisch problematisch. Folgerichtig haben wir solche Punkte vom Geltungsbereich der Feldgleichungen auszuschließen. In der allgemeinen Relativität wird der Symmetrie-Typ, der solche Punkte erzeugen kann, verwendet, um geeignete Lösungen überall im Raum außer an den Singularitäten zu konstruieren. So werden Inkonsistenzen vermieden. Andererseits ist der Energietensor nur an den singulären Punkten von Null verschieden. So wird der Energietensor des Gravitationsfeldes de facto von der allgemeinen Relativitätstheorie ausgeschlossen. Die Frage ist, ob es Sinn macht, solch einen Term in die Feldgleichungen zu schreiben, wenn dieser nirgendwo effektiv ist. Diese Überlegung gilt für den Fall reiner Gravitation. Dagegen ist der elektromagnetische Energietensor im elektromagnetischen Feld von Null verschieden, so dass er in EINSTEIN's Gravitationsgleichung anwendbar ist.

Physiker sind nicht bereit, die zweite Konsequenz zu akzeptieren, denn unendliche physikalische Größen sind außerhalb der Vorstellung. Singularitäten werden nur als unvollständige mathematische Modelle gesehen. Es ist jedoch mit ruhiger Überlegung möglich, eine Lösung für dieses Problem zu finden. Wir werden die Singularitäten in physikalisch irrelevanten Regionen *gemäß den Koordinaten des Beobachters* finden. – Der Beobachter verwendet Koordinaten in einem (asymptotischen) Tangentialraum rund um das Teilchen (mit der Singularität). Die Koordinaten des Beobachters werden in die Raumzeit um das Teilchen projiziert. Wir haben eine physikalisch irrelevante Region, wo diese Projektion nicht möglich ist. Die physikalisch irrelevanten Regionen sind

„hinter" einer geometrischen Grenze, welche die Grenze für diese Projektion darstellt.

Das größte Hindernis für eine geometrische Theorie ist der dritte Punkt oben, das MACHsche Prinzip. Nach diesem Prinzip wird die geometrische Struktur der vierdimensionalen Raumzeit von der Verteilung der Massen bestimmt. MACH's Prinzip war heuristisch hilfreich, das Feldgesetz der Gravitation zu finden [6]; hier wird jedoch Geometrie, d. h. das Feld, mit einer Größe (die Masse) vermischt, von der wir nicht wissen, was diese eigentlich ist. Das ist unlogisch. Außerdem ist Erhaltung von Energie und Impuls nicht gegeben (wie im elektromagnetischen Feld mit verteilten Ladungen und Strömen), denn die Divergenzen des Energietensors der verteilten Massen verschwinden nicht.

Es gibt einen weiteren Grund für die Notwendigkeit, mit den Integrationskonstanten zu arbeiten, und warum die Annahme von Quellen wie verteilte Ladungen und Massen auf einem Trugschluss beruht. Wir wollen es an einem stark vereinfachten Beispiel erklären:
Aus der Elektrotechnik kennen wir KIRCHHOFF's Stromgesetz. Dabei verschwindet der Gesamtstrom in jedem Knoten einer Stromschleife (Masche). Mit dem Übergang zu sehr kleinen Maschen (die das Feld darstellen) genügt Physikern die Aussage, dass die Divergenz der Stromdichte verschwindet. Diese Bedingung ist nicht hinreichend. Die Strom*dichte* selbst muss überall verschwinden! Das ist eine Analogie zum Kräftegleichgewicht und eine Voraussetzung dafür, dass dieses überhaupt gegeben ist, s. a. obige Diskussion der BIANCHI-Identitäten.

Eine Lösung des Problems

Die Lösung des Problems aus den Quellen wurde bereits 1924 von RAINICH gefunden [10, 11], s. a. [8]. Er verwendete die homogenen (quellenfreien) MAXWELL-Gleichungen und den elektromagnetischen Energietensor (mit den Komponenten von LORENTZ [6]), welcher ausschließlich die Feldterme enthält. Dann setzte er diesen Tensor in EINSTEIN's Gravitationsgleichungen ein. Dieses Vorgehen impliziert pure RIEMANNsche Geometrie [8]. Leider verfolgte EINSTEIN diese Idee nicht weiter, obwohl er die Energieerhaltung sah (s. o.), so dass er die vereinigte Theorie nicht finden konnte.

Mit erwähnten Vorbehalten reduzierten die Physiker allgemeine Relativität auf Astrophysik und führten virtuelle „Kräfte“ oder „Wirkungen“ ein, um die Energieerhaltung in ihren Modellen zu retten und die Quantenphänomene zu beschreiben. Regeln für die Quantenphänomene werden als Postulate eingeführt, und Teilchengrößen wie Massen als anpassbare Parameter. Diese Methoden wurden eingeführt von Bohr, Heisenberg und anderen [13]. Richard P. Feynman postulierte, dass jedes Phänomen seine eigene mathematische Methode braucht [14]. Alle diese willkürlichen Methoden bilden die heutzutage akzeptierte „physikalische Methode“. Diese Methode hatte Erfolg in vielen Bereichen der Physik, besonders der Quantenphysik. Sie kommt jedoch immer mehr an ihre Grenzen. Die schlimmste Grenze besteht darin, dass die Teilchenmassen nicht vorhersagbar sind. Die Physiker können nur einen „Teilchenzoo“ zur Kenntnis nehmen, der aus extrem teuren Experimenten erhalten wird. – Wir sehen schwerwiegende Gründe für einen Paradigmenwechsel.

Die Alternative besteht in der Geometrie, dem Weg folgend, den Einstein nicht vollendet hat. Dabei haben wir zu sehen, wie mit den oben erwähnten geometrischen Gleichungen umzugehen ist. Die mathematische Methode muss Natur korrekt beschreiben. Da die „relativistischen“ Modelle (meistens) in der Astrophysik funktionieren, wollen wir uns auf die Berechnung von Teilchen beschränken.

Die geometrischen Gleichungen [7, 8, 9] bestehen aus einem Satz komplizierter Tensorgleichungen. Im allgemeinen können diese nicht mit einer analytischen Methode gelöst werden. Dagegen treten die zweiten Ableitungen in den Tensorgleichungen immer linear auf. Das eröffnet uns eine hervorragende Möglichkeit, Tensorgleichungen numerisch zu lösen. Für diesen Zweck ersetzen wir die Differentialquotienten durch entsprechende Differenzenquotienten [7, 9]. Wenn wir ein Rechengitter (mit diskreten Koordinatenwerten) einführen, können wir zuerst die zweiten Ableitungen separieren, und danach die gerade zu bestimmenden Größen. So erhalten wir Rekursionsformeln für alle Feldgrößen. Für Teilchen nehmen wir ein zentrales Gitter, beginnen die Rechnung außen im Elektrovakuum um das Teilchen und setzen die Rechnung in Richtung Zentrum fort, s. Abb. 1. – Diese Methode wird detailliert beschrieben in [9].

Die relevanten Teilchenparameter (Masse, Spin, elektrische Ladung und magnetisches Moment) sind Integrationskonstanten in der zugrunde liegenden geometrischen Theorie. Wir haben Werte der Integrationskonstanten in

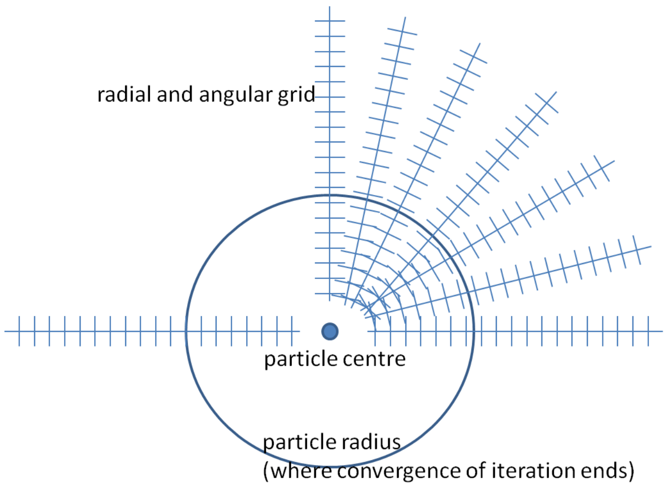

Abbildung 1: Iterative Methode zur Untersuchung des Konvergenzverhaltens der Feldgleichungen auf einem Gitter. Das Teilchenzentrum liegt außerhalb des Berechnungsbereichs.

die Initialbedingungen einzusetzen. Wenn wir nach relevanten Werten suchen, haben wir Mengen an Tests durchzuführen. Wie finden wir diese Werte?

Die Rekursionsformeln verhalten sich chaotisch [9]. Dabei divergieren die Feldgrößen während der Berechnung unterschiedlich, abhängig von den Parametern. Die Berechnung wird abgebrochen, sobald die erste Feldgröße eine geometrische Grenze erreicht. Die Schrittzahl bis dahin ist ein Maß der Stabilität, und die Schritt-Maxima korrelieren hoch signifikant mit den physikalischen Teilchenwerten. Eindeutige Ergebnisse wurden mit Kernmassen [15] und dem Magnetmoment des Elektrons [7] erzielt. Die Kernmassen wurden bis zum Sauerstoff-Kern getestet. Es sollte mit angemessenem Aufwand möglich sein, das ganze Periodensystem der Elemente zu testen, einschließlich Vorhersagen über sein Ende. Außerdem wurden Massen mutmaßlicher Neutrinos vorhergesagt [9].

Abb. 2 (zitiert aus [9]) illustriert an einem Beispiel, wie man diskrete Teilchenparameter sehen kann, hier Massen mutmaßlicher Neutrinos. Die Visualisierung der Ergebnisse der Berechnung wird in [9] beschrieben. Im wesentlichen steht die Dicke der „Punkte“ für die Qualität der Konvergenz. Die „dicksten Punkte“ repräsentieren physikalisch relevante Werte.

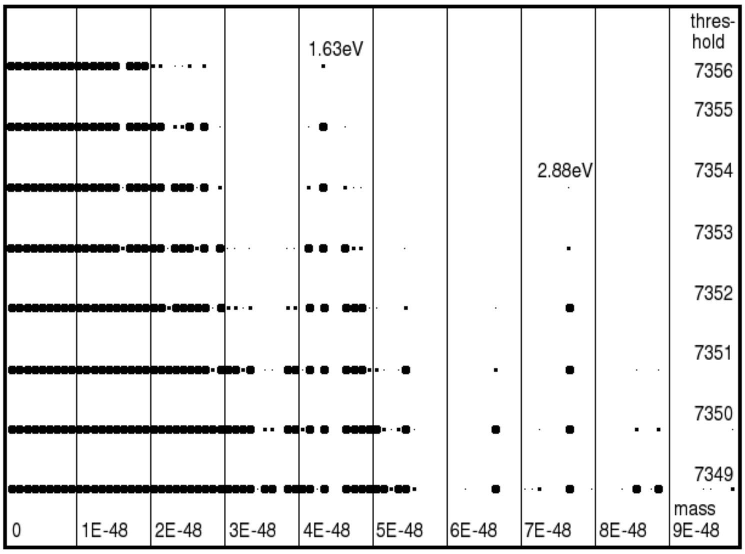

Abbildung 2: Tests für das Elektron-Neutrino, Massen $< 4\,\mathrm{eV}$. Anfangsradius 5, 99 Werte, 9-fach gestapelt (891 Tests).

Zusätzliche Bemerkungen

Die Leistung der geometrischen Feldtheorie wird nicht ausgeschöpft mit der Berechnung von Teilchen. Wir verweisen z. B. auf die geometrische Interpretation der elektrischen Leitfähigkeit inklusive Supraleitung [7]. Ein Argument gegen jede geometrische Theorie, der bekannte Welle-Teilchen-Dualismus, ist mit klassischen Methoden widerlegbar. Afshar [16] zeigte, dass Licht eindeutig eine Welle ist, und Al Rabeh schlug eine numerische Simulation des Doppel-Schlitz-Experiments vor, die enthüllt, dass Elektronen sich wie klassische Partikel verhalten [17]. Eine Beschreibung als Welle mit de Broglie–Frequenz ist überhaupt nicht erforderlich.

Viele aus dem Standardmodell entwickelte Theorien (String-Theorie etc.) sagen Abweichungen von Newton's Gravitationsgesetz im Submillimeter-Bereich vorher. Alle experimentellen Tests dieser Abweichungen führten bis jetzt zu negativen Ergenissen [18]. Die geometrische Theorie sagt keine messbaren Abweichungen in diesem Bereich voraus.

Schlussfolgerung

Es konnte gezeigt werden, dass, im Gegensatz zu allgemein akzeptierten Behauptungen, die Vereinigung aller Physik möglich ist. Diese Vereinigung ist auf Allgemeiner Relativität gegründet und schließt nicht nur Elektromagnetismus sondern auch alle Quantenphänomene ein. Die materielle Welt wird als reine Geometrie offenbart.

Anhang: Basis-Formeln der Allgemeinen Relativitätstheorie

Im Tensorkalkül, der viel übersichtlicher als herkömmliche Vektoranalysis ist, wird der Formalismus der Allgemeinen Relativitätstheorie auf wenige Formeln komprimiert:
Die Bianchi-Identitäten

$$(R_i^k - \frac{1}{2}R\delta_i^k)_{;k} = 0$$

werden von

$$R_{ik} = 0$$

immer erfüllt. Deshalb bestehen für 10 Komponenten g_{ik} nur 6 unabhängige Gleichungen. Wenn wir nun setzen (Einstein & Grossmann)

$$R_{ik} - \frac{1}{2}Rg_{ik} = -\kappa T_{ik} \quad ,$$

müssen die Divergenzen des Energietensors verschwinden

$$T_{i\ ;k}^{k} = 0 \quad ,$$

wie von der Natur diktiert. Für die Variablen im Energietensor ergibt das extra Bedingungen, welche aber nicht für die fehlenden Bedingungen in der Metrik einspringen.

Beim Energietensor der verteilten Masse

$$T^{ik} = \sigma \frac{\mathsf{d}x^i}{\mathsf{d}s}\frac{\mathsf{d}x^k}{\mathsf{d}s}$$

mit der Massendichte σ werden die Divergenzen

$$T^{ik}_{;k} = \sigma k^i$$

mit dem (raumartigen) Krümmungsvektor **k**. Da der Krümmungsvektor irgendeiner zeitartigen Kurve in der Raumzeit allgemein von Null verschieden ist, muss σ überall Null sein. D. h. es gibt keine verteilte Masse.

Eine Ausnahme gibt es, wenn wir von diskreten Massen (welche nur Integrationskonstanten sein können) ausgehen. Die Kraft auf einen Körper mit der Masse m wäre dann

$$K^i = mk^i \quad .$$

Für's Kräftegleichgewicht muss dann $k^i = 0$ sein. Das ergibt 4 Bewegungsgleichungen. Die Kurve, die der Körper in der Raumzeit beschreibt, ist eine Geodäte.

Der elektromagnetische Energietensor (LORENTZ)

$$T_{ik} = F_{ia}F_k{}^a - \frac{1}{4}g_{ik}F_{ab}F^{ab}$$

ergäbe eine Kraftdichte

$$T^{ik}_{;k} = F^i{}_a S^a \quad ,$$

d. h. **S** muss Null sein. Das bedeutet, es gibt keine verteilten Ladungen und Ströme. Diskrete Ladungen sind analog zu diskreten Massen. Bewegungsgleichungen ergeben sich zusammen mit der Masse (die Kurven sind dann keine Geodäten mehr).

Damit erkennen wir:

1) Vollständige Determiniertheit ist nicht gegeben.

2) Verteilte Ladungen und Massen (Quellen) gibt es nicht.

3) Einzig der elektromagnetische Energietensor ist in EINSTEIN's Gravitationsgleichung anwendbar.

4) Zur Berechnung von Feldern (Gravitation und Elektromagnetismus) haben wir uns mit Integrationskonstanten (anstelle von Quellen) anzufreunden.

Literatur

[1] P. A. M. Dirac: The Quantum Theory of the Electron, *Proceedings of the Royal Society of London*, Series A. 117, no. 778 (1928), 610-624.

[2] P. A. M. Dirac: The Quantum Theory of the Electron, Part II, *Proceedings of the Royal Society of London*, Series A. 118 (1928), 351-361.

[3] L. P. Eisenhart, *Riemannian Geometry*, Princeton university press (1949).

[4] E. Schmutzer, New field equations in the 5-dimensional projective unified field theory, *Ann. Physik* **4** (1995), 251-261.

[5] K. Becker, M. Becker, J. Schwarz, *String Theory and M-Theory: A Modern Introduction*. Cambridge University Press (2007). ISBN 0-521-86069-5.

[6] A. Einstein, *Grundzüge der Relativitätstheorie*. A back-translation from the Four Lectures on Theory of Relativity. Akademie-Verlag Berlin, Pergamon Press Oxford, Friedrich Vieweg & Sohn Braunschweig (1969).

[7] U. E. Bruchholz, Key Notes on a Geometric Theory of Fields, *Progress in Physics*, **5** (2) (2009), 107-113. http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-17-17.PDF

[8] U. E. Bruchholz, Geometry of Space-Time, *Progress in Physics*, **5** (4) (2009), 65-66. http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-19-06.PDF

[9] U. E. Bruchholz and H. Eckardt, A Numerical Method for Prediction of Masses of Real Particles, e.g. Neutrinos, *Theoretical Mathematics & Applications*, **6**, no. 4 (2016), 53-69. http://www.scienpress.com/

[10] G. Y. Rainich, Electrodynamics in the General Relativity Theory. *Proc. N.A.S.*, **10** (1924), 124-127.

[11] G. Y. Rainich, Second Note Electrodynamics in the General Relativity Theory. *Proc. N.A.S.*, **10** (1924), 294-298.

[12] A. Einstein and W. Pauli, On the non-existence of regular stationary solutions of relativistic field equations, *Ann. of Math.*, **44** (2) (1943), 131.

[13] J. Mehra and H. Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*. Springer Science & Business Media (2000).

[14] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* 1-3. Addison-Wesley (1965).
ISBN 0-7382-0008-5.

[15] U. E. Bruchholz, Masses of Nuclei Constituted from a Geometric Theory of Fields, *Adv. Studies Theor. Phys.*, **7** no.19 (2013), 901-906.
http://dx.doi.org/10.12988/astp.2013.3885

[16] S. S. Afshar et al., Paradox in Wave-Particle Duality (2007), arXiv:quantph/0702188.

[17] H. Eckardt and U. E. Bruchholz, Quantum Particle Diffraction by a Classical Method, *Adv. Studies Theor. Phys.*, **6** no.1 (2012), 9-17.
Online available: http://www.m-hikari.com/astp/

[18] J. C. Long et al., Upper limits to submillimetre-range forces from extra space-time dimensions, *Nature*, **421** (2003), 922-925.