Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 7 (1950)

Artikel: Probleme der Feldphysik
Autor: Scherrer, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319450

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

W. SCHERRER

Probleme der Feldphysik

Ein Feld ist eine im ganzen Raume kontinuierlich ausgebreitete physikalische Größe. Hat diese Größe nur eine Komponente, so spricht man von einem Skalarfeld. Hat sie dagegen so viele Komponenten als Koordinaten vorhanden sind, so liegt ein Vektorfeld vor. Die höheren Fälle schließlich bezeichnet man generell als Tensorfelder.

Auch die Materie kann oder muß gelegentlich als im Raume kontinuierlich ausgebreitet aufgefaßt werden. Doch erstreckt sie sich nie über den ganzen Raum. Aus der Astronomie weiß man ja schon seit langem, daß die Massen der Himmelskörper nur einen winzigen Teil des Raumes erfüllen, während der restliche Raum leer zu sein scheint. Aber auch die Atomphysik hat festgestellt, daß der von einem kompakten Körper eingenommene Raum nur zu einem kleinen Bruchteil mit ponderabler Materie besetzt ist, so daß also auch hier der leere Zwischenraum bei weitem überwiegt, eine Tatsache, die sich unseren Sinnen vollständig entzieht.

Schon diese einfache Gegenüberstellung zeigt, daß das Feld etwas umfassenderes ist als die Materie. Das ideale — vielleicht noch sehr ferne — Ziel der Feldphysik ist, den Begriff des Feldes so auszugestalten, daß er auch den Begriff der Materie umfaßt. Wir wollen nun kurz die Hauptetappen schildern, welche die Forschung auf dem damit bezeichneten Wege zurückgelegt hat.

I.

Historisch das älteste Feld ist das Newtonsche Gravitationspotential. Seine methodische Bedeutung liegt — roh ausgedrückt — in folgenden Aussagen:

1. Die Materie erzeugt das Gravitationspotential (Poisson).

2. Das Gefälle des Gravitationspotentials treibt die ponderable Materie an (Lagrange).

Hier erscheint also die Materie mit etwas verknüpft, das wie ein aetherisches Fluidum den ganzen Raum — auch dort wo Materie ist — durchdringt.

II.

Das zweite grundsätzlich wichtige Beispiel ist das elektromagnetische Feld. Es besteht wie schon sein Name andeutet, aus zwei Vektorfeldern. Wenn man vom Strukturunterschied absieht, spielt es eine ähnliche Rolle wie das Gravitationspotential, doch mit einer wesentlichen Einschränkung: Es wird nur durch geladene Materie erzeugt und treibt nur geladene Materie an. Der wichtigste Strukturunterschied zwischen den elektromagnetischen Gleichungen und den Gravitationsgleichungen beruht darauf, daß die ersteren die zeitliche Aenderung des Feldes explicite enthalten, die letzteren aber nicht. Als Folge ergab sich die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Störungen (Maxwell), aber auch ein Widerspruch zur klassischen Mechanik. Bei der Auflösung dieses Widerspruchs in der speziellen Relativitätstheorie (Einstein) behielt die Elektromagnetik die Oberhand: Die Mechanik erfuhr eine Modifikation, die für kleine Geschwindigkeiten fast unmerklich, für große aber einschneidend ist.

Als wichtige Folgerungen ergaben sich nun:

3. Die Energie des Feldes besitzt Trägheit (Einstein).
4. Die spezielle Relativitätstheorie kann gedeutet werden als Geometrie in einem vierdimensionalen Zeitraum (Minkowski, Poincaré).

Durch die Aussage 3. werden die Begriffe Feld und Materie einander nähergerückt, und folgerichtig setzte ein erster Versuch ein, die Materie vollständig durch das Feld zu beschreiben (Mie). Im Verlauf der weiteren Forschung ergab sich nun ein Problem, das die Physik noch heute beschäftigt: Beim Versuch, einen Korpuskel als Energieknoten des Feldes darzustellen, ergaben die klassischen Formeln einen unendlichen Energiebetrag. Die bestehende Theorie muß also so modifiziert werden, daß dieser Effekt vermieden wird.

III.

Eine weitere tiefgehende Bereicherung des Feldbegriffs erzielte Einstein durch die Aufstellung seiner Gravitationstheorie.

Im Zeitraum der speziellen Relativitätstheorie sind diejenigen Systeme ausgezeichnet, die sich geradlinig und gleichförmig fortbewegen. Das ist grundsätzlich unbefriedigend. Was bestimmt denn einen Stern, der weitab von allen übrigen Massen im Leeren dahinzieht, gerade das sogenannte Trägheitssystem zu bevorzugen?

Einstein erhob daher die Forderung, die Naturgesetze seien so zu formulieren, daß alle möglichen Bezugssysteme als gleichberechtigt erscheinen. Dies ist in durchsichtiger Weise möglich, weil der Zeitraum der speziellen Relativitätstheorie ein spezieller Riemannscher Raum ist. Uebernimmt man dabei die Elektrodynamik und die Gravitationstheorie ungeändert, so erhält man inhaltlich nichts Neues.

Entscheidend war folgende Ueberlegung: Durch Einführung geeigneter beschleunigter Bezugssysteme kann man Trägheitskräfte erzeugen, die von homogenen Gravitationsfeldern nicht zu unterscheiden sind. Umgekehrt kann man durch dieses Verfahren Gravitationsfelder zum Verschwinden bringen (Fahrt im Lift). Wenn man vollständige Aequivalenz zwischen Trägheit und Gravitation annimmt, wird der bestehende Rahmen gesprengt, weil es Gravitationsfelder gibt, die man nicht wegtransformieren kann.

Als zwei besonders wichtige Folgerungen ergeben sich:

5. Die Feldenergie besitzt auch Schwere, d. h. sie erzeugt ein Gravitationsfeld und unterliegt auch der Anziehung.
6. Der Zeitraum ist ein gekrümmter Riemann'scher Raum.

Der leitende Gesichtspunkt zur Aufstellung der Gravitationsgleichungen ergab sich nun aus der Vorstellung, daß das Maß der Energie in direkter Beziehung stehen müsse zum Maß der Krümmung. Die auf diese Weise gewonnenen Gleichungen ergaben nun tatsächlich eine Gravitationstheorie, welche die Newtonsche als Grenzfall enthält. Sie faßt die Aussagen 1. bis 6. in ein System zusammen und hat sich bewährt in den Fällen, wo es statthaft und möglich ist, den Tensor der Totalernergie phänomenologisch zu berechnen. Damit ist — in etwas vereinfachter Ausdrucksweise — derjenige Anteil der Totalenergie gemeint, der sich aus der Uebertragung der klassischen kinetischen Energie in die Relativitätstheorie ergibt.

IV.

Jetzt erhebt sich vor uns ein weiteres Problem der Feldphysik. Die Einsteinschen Gravitationsgleichungen

$$S^{ik} \equiv R^{ik} - {}^1/_2\, G^{ik} R = -\varkappa\, T^{ik} \tag{1}$$

bilden ein umfassendes Schema, das für jede Art von Energie Gültigkeit beansprucht. Wie man auch T^{ik} wählt, immer gilt der Energie-Impulssatz

$$D_k\, T^{ik} = 0 \tag{2}$$

weil der linksstehende Gravitationstensor S^{ik} der Identität

$$D_k\, S^{ik} \equiv 0 \tag{3}$$

genügt. Diese Allgemeinheit ist ein Vorzug, weil man ihretwegen hoffen kann, es werde einmal gelingen, denjenigen Energietensor einzubauen, der auch die sogenannten Materiekräfte — elektromagnetische Kräfte und Kernkräfte — richtig beschreibt. Damit sind wir zu dem in der Einleitung formulierten Zentralproblem der Feldphysik gelangt, wie es sich heute darstellt.

Der phänomenologische Energietensor

$$T^{ik} = \mu\, \dot{\xi}^i \dot{\xi}^k \tag{4}$$

beschreibt die Materie nur als einen im Vakuum mit der Dichte μ fein verteilten Staub. Die Wechselwirkung der einzelnen Körnchen ist nicht berücksichtigt und ihre Entstehung, resp. ihre Konstitution bleibt völlig im Dunkel. Wenn sich die Teilchen zu nahe kommen, entsteht eine Katastrophe, die nach endlicher Zeit damit endet, daß alle Materie in einen Punkt konzentriert wird.

Die Frage ist jetzt also, ob es gelingt, den Energietensor so zu wählen, daß z. B. auch den atomaren Erscheinungen Genüge getan wird. Wenn man nun bedenkt, daß durch die Einführung des vierdimensionalen Zeitraums die Fülle der uns zum Teil nicht mehr direkt anschaulich verständlichen Möglichkeiten gewaltig gewachsen ist, so scheint das Tor für eine uferlose Spekulation geöffnet zu sein. Das ist aber nicht richtig. In dem Maße nämlich, als sich die naive Gegenständlichkeit verflüchtigt hat, ist auch die innere mathematische Stringenz gewachsen.

Die moderne Feldphysik ist der minutiöse mathematische Niederschlag der Arbeit vieler Generationen und die Aufgabe, dieses kunstvolle Gebilde auf seine innere Struktur und seine Erweiterungsmöglichkeiten hin zu analysieren, erfordert eine Art Experimentalmathe-

matik, die an Wichtigkeit der Experimental-Physik gleichgesetzt werden muß.

Das wichtigste methodische Hilfsmittel für den geschilderten Zweck bilden die Wirkungsprinzipien. Darunter versteht man invariante Variationsprobleme, die neben dem Maßtensor noch die einschlägigen Feldgrößen enthalten. Bis jetzt hat man Wirkungsprinzipien folgender Gestalt bevorzugt:

$$\delta \int (R - 2\lambda + \varkappa M) \sqrt{G}\, dx = 0 \tag{5}$$

wobei die «materielle Wirkungsfunktion»

$$M = M \left(\Psi \frac{\delta \Psi}{(\vartheta\ \varkappa_i)} \ldots\right) \tag{6}$$

die Feldgrößen Ψ enthält.

Aus jedem Wirkungsprinzip (5) folgt nun ein vollständiges System von Differentialgleichungen für das metrische Feld G^{ik} und das «Materie-Feld» Ψ. Zehn von diesen Gleichungen sind immer gerade die Einsteinschen Gravitationsgleichungen (1), wobei nun aber die T^{ik} wohl bestimmte Funktionen der Feldgrößen Ψ sind. Der Rest besteht aus den sogenannten «Feldgleichungen der Materie»

$$\frac{\delta (M \sqrt{G})}{\vartheta \Psi} - \frac{\vartheta}{\delta\ \varkappa_k} \left\{ \frac{\delta (M \sqrt{G})}{\delta \left(\frac{\vartheta \Psi}{\vartheta\ \varkappa_k} \right)} \right\} + \ldots = 0 \tag{7}$$

Auf diese Weise ist es zum Beispiel möglich, die Grundgleichungen der Elektrodynamik mit endlicher Selbstenergie zu erhalten.

Gegen alle Wirkungsprinzipien der Gestalt (5) läßt sich aber folgender Einwand erheben. Sie liefern auch dann noch Lösungen, wenn man die Materie verschwinden läßt. Eine Theorie aber, die Materie für die Totalstruktur der Welt verantwortlich macht, sollte in diesem Falle keine Lösungen mehr liefern.

Ansätze, die diesem Einwand entgehen, erhält man, wenn man den Integranden in (5) als homogene Funktion der Feldgrößen ansetzt. Der einfachste Ansatz dieser Art lautet

$$\delta \int (R - 2\lambda)\ \Psi^2\ \sqrt{G}\, dx = 0\,. \tag{8}$$

Die Anwendung von (8) auf die Kosmologie liefert genau eine Lösung, die sich — in vereinfachter Ausdrucksweise — aus einer Einsteinschen Zylinderwelt zur Zeit $t = -\infty$ stetig in eine de Sittersche Kugelwelt

zur Zeit $t = +\infty$ verwandelt. Das Modell verleiht also dem Ablauf der Zeit einen Richtungssinn. An keiner Stelle findet sich eine katastrophale Phase. Das heute gelegentlich diskutierte Weltalter erscheint einfach als Effekt einer linearen Extrapolation.

Auch wenn sich dieser einfachste aller homogenen Ansätze empirisch bewähren sollte, ist damit natürlich nur ein kleiner Schritt in Richtung auf das Hauptziel getan. Man dürfte darin höchstens ein Indiz erblicken dafür, daß die homogenen Ansätze das besondere Interesse der Theoretiker verdienen.