

Über Gravitationswellen.

VON A. EINSTEIN.

(Vorgelegt am 31. Januar 1918 [s. oben S. 79].)

Die wichtige Frage, wie die Ausbreitung der Gravitationsfelder erfolgt, ist schon vor anderthalb Jahren in einer Akademiearbeit von mir behandelt worden¹. Da aber meine damalige Darstellung des Gegenstandes nicht genügend durchsichtig und außerdem durch einen bedauerlichen Rechenfehler verunstaltet ist, muß ich hier nochmals auf die Angelegenheit zurückkommen.

Wie damals beschränke ich mich auch hier auf den Fall, daß das betrachtete zeiträumliche Kontinuum sich von einem »galileischen« nur sehr wenig unterscheidet. Um für alle Indizes

$$g_{\mu\nu} = -\delta_{\mu\nu} + \gamma_{\mu\nu} \quad (1)$$

setzen zu können, wählen wir, wie es in der speziellen Relativitätstheorie üblich ist, die Zeitvariable x_4 rein imaginär, indem wir

$$x_4 = it$$

setzen, wobei t die »Lichtzeit« bedeutet. In (1) ist $\delta_{\mu\nu} = 1$ bzw. $\delta_{\mu\nu} = 0$, je nachdem $\mu = \nu$ oder $\mu \neq \nu$ ist. Die $\gamma_{\mu\nu}$ sind gegen 1 kleine Größen, welche die Abweichung des Kontinuums vom feldfreien darstellen; sie bilden einen Tensor vom zweiten Range gegenüber LORENTZ-Transformationen.

$$\sum_{\alpha} \frac{\partial^2 \gamma'_{\mu\nu}}{\partial x_{\alpha}^2} = 2 \kappa T_{\mu\nu}. \quad (6)$$

Aus (6) erkennt man, daß sich die Gravitationsfelder mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Die $\gamma_{\mu\nu}$ lassen sich bei gegebenen $T_{\mu\nu}$ aus letzteren nach Art der retardierten Potentiale berechnen. Sind x, y, z, t die reellen Koordinaten $x_1, x_2, x_3, \frac{x_4}{i}$ des Aufpunktes, für welchen die $\gamma'_{\mu\nu}$ berechnet werden sollen, x_0, y_0, z_0 die räumlichen Koordinaten eines Raumelementes dV_0 , r der räumliche Abstand zwischen letzterem und dem Aufpunkt, so hat man

$$\gamma'_{\mu\nu} = -\frac{\kappa}{2\pi} \int \frac{T_{\mu\nu}(x_0, y_0, z_0, t-r)}{r} dV_0. \quad (7)$$

Setzt man dies in obige Gleichung ein, so erhält man

$$\int T_{23} dV_0 = \frac{1}{2} \frac{d^2}{dx_4^2} \left\{ \int x_2 x_3 T_{44} dV_0 \right\},$$

oder da $\frac{d^2}{dx_4^2}$ durch $-\frac{d^2}{dt^2}$, T_{44} durch die negative Dichte ($-\rho$) der Materie zu ersetzen ist:

$$\int T_{23} dV_0 = \frac{1}{2} \ddot{\mathfrak{J}}_{23}. \quad (22)$$

Dabei ist zur Abkürzung

$$\mathfrak{J}_{\mu\nu} = \int x_{\mu} x_{\nu} \rho dV_0 \quad (23)$$

gesetzt; $\mathfrak{J}_{\mu\nu}$ sind die Komponenten des (zeitlich variablen) Trägheitsmomentes des materiellen Systems.

$$\gamma'_{23} = -\frac{\kappa}{4\pi R} \ddot{\mathfrak{J}}_{23}. \quad (25)$$

Figure 15: The Quadrupole Formula Controversy

- 1970 Bill Burke concedes his wager with his advisor Kip Thorne that the quadrupole formula might not be correct, at leading order, for binary star systems
- 1973 Peter Havas objects to the viewpoint of those (like Thorne) who regard the applicability of the quadrupole formula to binary stars as settled
- 1974 Arnold Rosenblum, Havas' student, joins Jurgen Ehler's research group in Munich, Germany
- 1974 Fred Cooperstock begins his research program based on a binary system held apart initially by a rigid strut between the two stars
- 1974 Russell Hulse and Joseph Taylor discover the first binary pulsar, PSR 1913+16
- 1976 Ehler, Rosenblum Goldberg and Havas dispute the validity of the various derivations of the quadrupole formula for binary stars
- 1976 Ehlers organizes Enrico Fermi school at Varenna, Italy on Isolated Gravitational Systems
- 1978 Taylor and collaborators announce that the orbital decay of PSR1913+16 is observed to be in agreement with the prediction of the quadrupole formula
- 1980 Martin Walker and Clifford Will propose their three iterations test of the validity of quadrupole formula derivations
- 1980 James Anderson publishes new derivation of the quadrupole formula based on EIH, matched asymptotic expansions (from Burke) and other methods
- 1981 Rosenblum publishes fast-motion scattering calculation disagreeing with the quadrupole formula
- 1982 Cooperstock and Hobill argue against Walker and Will's thesis that the history of the controversy is essentially settled
- 1982 NATO Advanced Study Institute on Gravitational Radiation at Les Houches, France
- 1983 Damour's verdict on the binary pulsar data's agreement with theory and the derivation of the quadrupole formula
- 1985 From this time on the quadrupole formula controversy is effectively over. For instance, Rosenblum and Cooperstock's last publications in Physical Review D on this controversy date from 1984 and 1986 respectively
- 1991 Death of Arnold Rosenblum
- 1992 Cooperstock unsuccessfully attempts to reopen the debate on the existence of gravitational waves with his energy localization hypothesis