Translational movement of the light ether

Add languages

Herunterladen

[i]

On the questions concerning the translational movement of the light ether; by W. Vienna.

(Representation for the 70th meeting of German natural scientists and doctors in Düsseldorf, 1898; Section Physics.)

The question of whether the light ether takes part in the movements of bodies or not, and whether mobility can be attributed to it at all, has occupied physicists for a long time and there are countless assumptions and conjectures that one has to make about the properties of the carrier of electromagnetic phenomena held. However, there can be no doubt that everything we know about the ether is contained in Maxwell 's theory of electromagnetism and everything else belongs to the realm of pure speculation. Accordingly, I have not set myself the task of providing a literary report on the innumerable theories that have the light ether as their subject, but have endeavored to highlight the questions that we have to answer on the basis of Maxwell 's theory regarding the mobility of the ether have to provide.

If we make the assumption that the ether has mobility, further questions immediately arise, namely whether this movement requires energy expenditure, i.e. whether the ether is to be attributed inert mass, and then whether the ether is also set in motion by the movement of solid bodies . The latter does not appear to be the case according to many experiments, especially after the extensive experiments of Lodge , which were carried out with rapidly rotating metal masses or in the vicinity of high-speed circular saws.

We will first compare the assumptions as to whether mobility can be attributed to the ether or not and then move on to the discussion of the empirical facts.

[ii]

The assumption of the mobility of the aether.

The tendency to bring the properties of the ether into agreement with those of ponderable matter has led to the assumption that the ether can carry out movements in the manner of a liquid, although not a single experiment indicates the existence of such movements. But if one ascribes mobility to the ether, then, as Hertz first noted, it follows strictly from Maxwell 's theory that under the influence of the pressure forces generated by a variable electromagnetic system, it must carry out movements that can be calculated, if one makes certain assumptions about the inertia of the ether.

Helmholtz gave the basic principles for the calculation of these flows under the assumption that the inertia and compressibility of the aether is zero. However, he did not give any specific examples that would allow this theory to be tested against experience, and I will therefore give here two examples from which some conclusions can be drawn as to the meaning of these assumptions.

Currents in the ether are only excited by electromagnetic tensions when the field is neither static nor stationary, i.e. when the conditions of time are still changeable.

As a first example I introduce an electrified colon, which carries equal quantities of positive and negative electricity at a very small distance from each other, which increase proportionally with time.

If we designate the coordinates with x, y , *z, the time with t* , *the* components of the electrical forces with Maxwell ' s differential equations

$$A\frac{dL}{dt}=\frac{\partial Z}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial z}\qquad A\frac{dX}{dt}=\frac{\partial M}{\partial z}-\frac{\partial N}{\partial y}$$

$$A\frac{dM}{dt}=\frac{\partial X}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial x}\qquad A\frac{dY}{dt}=\frac{\partial N}{\partial x}-\frac{\partial L}{\partial z}$$

$$A\frac{dN}{dt}=\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial y}\qquad A\frac{dZ}{dt}=\frac{\partial L}{\partial y}-\frac{\partial M}{\partial x}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x}+\frac{\partial M}{\partial y}+\frac{\partial N}{\partial z}=0\qquad \frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}=0.$$

[iii] We satisfy these equations using the following expressions:

$$X=\frac{\partial^2\varphi}{\partial z\,\partial x}\qquad L=-A\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\,\partial t}$$

$$Y=\frac{\partial^2\varphi}{\partial z\,\partial y}\qquad M=A\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\,\partial t}$$

$$Z=\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^{\ 2}}\qquad N=0.$$

Let a be *a* constant and$r^2=x^2+y^2+z^2$,$\varrho=x^2+y^2$,$\varphi=at/r$. The components of the electrical forces are then the partial derivatives of the function

$$at\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{r}\right).$$

This is the potential of an electric colon in the point$r=0$with the positive and negative chargeat/l. The line connecting both charges$l$is parallel to the *z* -axis. The components of P o y n t i n g 's energy flow are proportional to the quantities

$$\mathfrak{P}=ZM-YN=Aa^2tx\left(\frac{1}{r^6}-\frac{3z^2}{r^8}\right)$$

$$\mathfrak{Q}=XN-ZL=Aa^2ty\left(\frac{1}{r^6}-\frac{3z^2}{r^8}\right)$$

$$\mathfrak{R}=YL-XM=3Aa^2tz\frac{x^2+y^2}{r^8}.$$

Now let's set

$$x = \varrho \cos\vartheta \qquad y = \varrho \sin\vartheta \qquad \frac{dx}{dt} = \alpha = \frac{d\varrho}{dt}\cos\vartheta - \varrho\sin\vartheta\frac{d\vartheta}{dt}$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \eta \qquad \frac{d\varrho}{dt} = \zeta \qquad \frac{dy}{dt} = \beta = \frac{d\varrho}{dt}\sin\vartheta + \varrho\cos\vartheta\frac{d\vartheta}{dt}$$

$$\frac{dz}{dt} = \gamma,$$

this is what the equation of incompressibility requires

$$\frac{\partial\alpha}{\partial x} + \frac{\partial\beta}{\partial y} + \frac{\partial\gamma}{\partial z} = 0,$$

that

$$\alpha = \frac{\partial\psi}{\partial z}\frac{x}{\varrho^2} - \eta y \quad \beta = \frac{\partial\psi}{\partial z}\frac{y}{\varrho^2} + \eta x \quad \gamma = -\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}$$

is if we assume that because of the symmetry around the *z* -axis the sizesη, ζ, γindependent of$\vartheta$are.

The differential equations derived by H e l m h o l t z , which express that the electromagnetic [iv] Currents caused by tensions in turn produce electromagnetic forces that balance themselves with those acting from outside

(1)
$$\begin{cases} 0 = \frac{\partial P}{\partial x} + A\left[\frac{\partial\mathfrak{P}}{\partial t} + \beta\left(\frac{\partial\mathfrak{P}}{\partial y} - \frac{\partial\mathfrak{Q}}{\partial x}\right) - \gamma\left(\frac{\partial\mathfrak{R}}{\partial x} - \frac{\partial\mathfrak{P}}{\partial z}\right)\right] \\ 0 = \frac{\partial P}{\partial y} + A\left[\frac{\partial\mathfrak{Q}}{\partial t} + \gamma\left(\frac{\partial\mathfrak{Q}}{\partial z} - \frac{\partial\mathfrak{R}}{\partial y}\right) - \alpha\left(\frac{\partial\mathfrak{P}}{\partial y} - \frac{\partial\mathfrak{Q}}{\partial x}\right)\right] \\ 0 = \frac{\partial P}{\partial z} + A\left[\frac{\partial\mathfrak{R}}{\partial t} + \alpha\left(\frac{\partial\mathfrak{R}}{\partial x} - \frac{\partial\mathfrak{P}}{\partial z}\right) - \beta\left(\frac{\partial\mathfrak{Q}}{\partial z} - \frac{\partial\mathfrak{R}}{\partial y}\right)\right] \end{cases}$$

Here *P* means the hydrostatic pressure.

Let us put the above values of into these equations$\mathfrak{P},\ \mathfrak{Q},\ \mathfrak{R}, \alpha, \beta, \gamma$one, so we get

$$0 = \frac{\partial P}{\partial\varrho} + \varrho A^2 a^2\left(\frac{3\varrho^2}{r^8} - \frac{2}{r^6} - \frac{6zt}{r^8}\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}\right),$$

$$0 = \frac{\partial P}{\partial z} + zA^2 a^2\left(\frac{3\varrho^2}{r^8} - \frac{6t}{r^8} - \frac{\partial\psi}{\partial z}\right).$$

The angular velocityηhas completely fallen out, so it does not need to have a value other than zero.

If we eliminate *P* from this , we get

(2)
$$\varrho z - t\frac{\partial\psi}{\partial\varrho} + \frac{8zt}{r^2}\left(z\frac{\partial\psi}{\partial\varrho} - \varrho\frac{\partial\psi}{\partial z}\right) = 0.$$

One can see immediately from this equation that$\psi$the factor$1/t$must contain. For$t = 0$the charge of the electric colon is zero. So at the moment the charge begins, the currents in the ether would become infinite.

Since M a x w e l l 's differential equations are completely fulfilled, there is no reason to exclude such a charge that increases from zero in proportion to time.

A solution to the differential equation (2) is

$$\psi=\frac{r^2 z}{10t}$$

It follows

$$\zeta=\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial z}=\left(\frac{2z^2+r^2}{10t}\right)\frac{1}{\varrho},$$
$$-\gamma=\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}=\frac{2z}{10t}.$$

[v] So the ether would flow parallel to the streamlines,

in which the planes laid by the *z* -axis are the surfaces$r^2 z=\text{const.}$cut. However, such a flow is hydrodynamically impossible because of the speed$\gamma$for$\varrho=0$becomes infinite.

As a second case, we consider an electrified point with the charge *e* , which moves through space with the constant speed *v* . This case is completely treated by Heaviside and his solution gives the following values of the electric and magnetic forces, related to a coordinate system fixed in the electrified point in whose *x* -axis the movement takes place.

$$X=\frac{1}{v}\frac{\partial U}{\partial x}\left(1-A^2v^2\right),\qquad Y=\frac{1}{v}\frac{\partial U}{\partial y},\qquad Z=\frac{1}{v}\frac{\partial U}{\partial z},$$

$$M=-A\frac{\partial U}{\partial z},\qquad N=A\frac{\partial U}{\partial y},\qquad L=0.$$
$$U=\frac{ev}{\sqrt{r^2-A^2v^2\varrho^2}}\qquad \varrho^2=y^2+z^2.$$

Then the sizes result$\mathfrak{P},\ \mathfrak{Q},\ \mathfrak{R}$

$$\mathfrak{P}=\frac{\mathfrak{A}\varrho^2}{\left(r^2-A^2v^2\varrho^2\right)^3},\qquad \mathfrak{Q}=-\frac{\mathfrak{A}xy}{\left(r^2-A^2v^2\varrho^2\right)^3},$$
$$\mathfrak{R}=-\frac{\mathfrak{A}xz}{\left(r^2-A^2v^2\varrho^2\right)^3},$$
$$\mathfrak{A}=e^2vA\left(1-A^2v^2\right).$$

Let's sit again

$$\alpha=-\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho},\qquad \beta=\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{y}{\varrho^2}+\eta z,\qquad \gamma=\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{z}{\varrho^2}-\eta y,\ \mathfrak{S}=\frac{\mathfrak{A}}{\left(r^2-A^2v^2\varrho^2\right)^3}.$$

so we get from equations (1)

$$0=\frac{\partial P}{\partial\varrho}+A\left(-v\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial x}x\varrho-\varrho v\mathfrak{S}+\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}\left[3\mathfrak{S}+x\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial x}+\varrho\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial\varrho}\right]\right),$$

$$0=\frac{\partial P}{\partial x}+A\left(-v\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial x}\varrho^2+\frac{\partial\psi}{\partial x}\left[3\mathfrak{S}+x\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial z}+\varrho\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial\varrho}\right]\right).$$

[vi] We name $\mathfrak{U}$ the size

$$3\mathfrak{S}+x\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial x}+\varrho\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial\varrho},$$

This results in the elimination of *P*

(3)
$$0=v\varrho\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial x}+\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial\varrho}-\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial x}.$$

If the speed in the ether is to remain finite everywhere, it must

$$\frac{\partial\psi}{\partial x}=0$$

be, then we have

$$v\varrho=\frac{\partial\psi}{\partial\varrho},\quad v=-\alpha.$$

So the ether flows with respect to the coordinate system moving with the speed *v* in the direction *x* at the same time as the charge with the same speed in the opposite direction, i.e. it rests with respect to a resting coordinate system. This result is remarkable because it shows that the movement of electric quanta is no reason for a movement of the ether, as H e l m h o l t z assumes.

On the other hand, movements can occur if the aether has an inertia other than zero. I give the calculation for this case because it gives an idea of the magnitude of the density that would have to be assigned to the aether in a given case. Then, in addition to the terms of equations (1), there are also the components of the accelerations

$$s\frac{d\alpha}{dt},\quad s\frac{d\beta}{dt},\quad s\frac{d\gamma}{dt}$$

to add, where *s* denotes the density of the ether and

$$\frac{d\alpha}{dt}=\frac{\partial\alpha}{\partial t}+\alpha\frac{d\alpha}{dx}+\beta\frac{\partial\alpha}{\partial y}+\gamma\frac{\partial\alpha}{\partial z},$$

$$\frac{d\beta}{dt}=\frac{\partial\beta}{\partial t}+\alpha\frac{d\beta}{dx}+\beta\frac{\partial\beta}{\partial y}+\gamma\frac{\partial\beta}{\partial z},$$

$$\frac{d\gamma}{dt}=\frac{\partial\gamma}{\partial t}+\alpha\frac{d\gamma}{dx}+\beta\frac{\partial\gamma}{\partial y}+\gamma\frac{\partial\gamma}{\partial z}$$

are. [vii] In the case just considered, the system is stationary with respect to the moving coordinate system. So it is

$$\frac{\partial\alpha}{\partial t}=\frac{\partial\beta}{\partial t}=\frac{\partial\gamma}{\partial t}=0.$$

Let's set the values of α,β,γ one, the elimination of *P*

$$\frac{1}{A}\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial}{\partial\varrho}\left[\frac{1}{\varrho^2}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\varrho^2}-\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}+\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}\right)\right]$$

$$-\frac{1}{A}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{\varrho^2}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\varrho^2}-\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}+\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}\right)\right]$$

$$+\frac{v\varrho}{s}\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial x}+\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial\varrho}-\frac{\partial\psi}{\partial\varrho}\frac{\partial\mathfrak{U}}{\partial x}\right)\frac{1}{s}=0.$$

This equation is satisfied if

$$\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial\varrho} = v+\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi_1}{\partial\varrho},$$

$$\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi}{\partial x} = \frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi_1}{\partial x},$$

$$\frac{1}{\varrho^2}\left(\frac{\partial^2\psi_1}{\partial\varrho^2}-\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\psi_1}{\partial\varrho}+\frac{\partial^2\psi_1}{\partial x^2}\right)=-\frac{\mathfrak{U}A}{s}$$

is. It is

{\displaystyle {\mathfrak {U}}=-{\frac {3A}{\left(x^{2}+\varrho ^{2}\left(1-

To integrate the differential equation, we set

$$\psi_1=\varrho\varphi.$$

Then it will be

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial\varrho^2}+\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\varphi}{\partial\varrho}-\frac{1}{\varrho^2}\varphi+\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}=-\frac{\varrho\mathfrak{U}A}{s}$$

We first consider the differential equation

$$\frac{\partial^2\varphi_1}{\partial\varrho^2}+\frac{1}{\varrho}\frac{\partial\varphi_1}{\partial\varrho}+\frac{1}{\varrho^2}\frac{\partial^2\varphi_1}{\partial\vartheta^2}+\frac{\partial^2\varphi_1}{\partial x^2}=-\frac{\varrho\mathfrak{U}A}{s}\sin\vartheta.$$

Their integral is

$$\varphi_1=\frac{A}{4\pi s}\int\int\int\frac{d\varrho'\ d\vartheta'\ dx'\ \varrho'^2\ \mathfrak{U}'\sin\vartheta'}{\sqrt{(x-x')^2+\varrho^2+\varrho'^2-2\varrho\varrho'\cos(\vartheta-\vartheta')}},$$

$$=S\sin\vartheta,$$

$$S=\frac{A}{4\pi s}\int\int\varrho'^2 d\varrho'\, dx'\,\mathfrak{U}'R,$$

$$R=\frac{2}{\sqrt{\varrho'\varrho}}\left(\left(\frac{2}{x}-\varkappa\right)K-\frac{2}{\varkappa}E\right),$$

[viii]

$$\varkappa^2 = \frac{4\varrho'\varrho}{(z'-z)^2+(\varrho+\varrho')^2}, \quad K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-\varkappa^2\sin^2\varphi}}, \quad E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-\varkappa^2\sin^3\varphi}}.$$

Then *S* satisfies the differential equation

$$\frac{\partial^2 S}{\partial\varrho^2} + \frac{1}{\varrho}\frac{\partial S}{\partial\varrho} - \frac{1}{\varrho^2}S + \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = -\frac{\varrho \mathfrak{U} A}{s}$$

and so it is $\varphi = S$.

These are the same expressions that give the velocities of the circular vortex rings in a liquid, where the *x* - axis is the axis of the vortex rings when the rotation speed of the liquid particles is about the circular rotation axis

$$\frac{3\mathfrak{A}\varrho A}{2s\left[x^2+\varrho^2\left(1-A^2v^2\right)\right]^3}$$ is.

The magnitude of the movement that occurs depends primarily on the size

$$\frac{3ve^2A^2\left(1-A^2v^2\right)\varrho}{2s\left[x^2+\varrho^2\left(1-A^2v^2\right)\right]^3}$$

away. With constant *e* and *s* it has a maximum for

$$v = \frac{1}{\sqrt{3}A}$$

and is the same

$$\frac{e^2A}{\sqrt{3}s}.$$

In cathode rays we have electrical charges that fly through space at almost as high a speed.

Let's assume there would be $6\cdot 10^4$ electrostatic units are transported per second and if we take the speed to be a third of the speed of light, then a tube 50 cm long would constantly have a charge of $3\cdot 10^{-4}$ moving. The size of the rotation speed would then be for $x=0$ and $\varrho = 1\mathrm{mm}$ nearly

$$\frac{1}{2}10^{-13}\frac{1}{s}.$$

Outside the tube, noticeable movements would only occur if the ether density was extremely low. [**ix**] Nothing definite can be said about the events in the immediate vicinity of the cargo. [1]

Reflection on moving transparent media.

An example where the tensions in the aether would cause movement is the reflection of electromagnetic plane waves at the boundary of moving insulators. Let us denote the angle of incidence by φ, with the index *e* the incident components, with *r* the reflected components, is according to the known laws

$$Y_e = \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi + z_1\cos\varphi}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)2\pi,$$

$$L_e = \cos\varphi \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi + z_1 \cos\varphi}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)2\pi,$$

$$N_e = -\sin\varphi \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi + z_1 \cos\varphi}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)2\pi.$$

Bewegen wir die Platte mit der Geschwindigkeit *v* in der Richtung *z*, so haben wir für die reflectirten Wellen nach L o r e n t z zu setzen

$$Y_r = R\ \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi - z_1 \cos\varphi}{\lambda} + \frac{A^2 v z_1}{T} - \frac{t}{T}\right)2\pi,$$

$$L_r = -R\ \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi - z_1 \cos\varphi}{\lambda} + \frac{A^2 v z_1}{T} - \frac{t}{T}\right)2\pi,$$

$$N_r = -R\ \sin\left(\frac{x\ \sin\varphi - z_1 \cos\varphi}{\lambda} + \frac{A^2 v z_1}{T} - \frac{t}{T}\right)2\pi$$

bezogen auf ein mit der Platte bewegtes Coordinatensystem. Beziehen wir alles auf ein festes Coordinatensystem, so haben wir $z_1 = z - vt$ zu setzen. Der Factor *R* ist nicht genau derselbe, wie bei ruhendem System. Durch den electromagnetischen Druck wird Arbeit geleistet oder verbraucht und diese vermindert oder vermehrt die Energie der Strahlung. Die Grenzbedingungen lassen sich aber nur erfüllen, wenn man annimmt, dass diese Veränderung der Energie sich auf reflectirte und gebrochene Strahlen so vertheilt, als ob die ankommende Welle schon die in dem Verhältniss dieser Arbeit vermehrte oder verminderte Energie mit sich führe. [x] Aus den gegebenen Werthen folgt, wenn wir Grössen von der Ordnung *Av* vernachlässigen

$$\mathfrak{T} = \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial x} - \frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial z} = \frac{2\sin 2\varphi}{\lambda} R \left\{\frac{1}{\lambda}\sin\left(\frac{2z\ \cos\varphi}{\lambda} - \frac{2vt\ \cos\varphi}{\lambda}\right)2\pi\right\},$$

Setzen wir

$$0 = \frac{\partial\alpha}{\partial x} + \frac{\partial\gamma}{\partial z},$$

also

$$\alpha = \frac{\partial\psi}{\partial z} \quad \gamma = -\frac{\partial\psi}{\partial x},$$

so ergeben die Gleichungen

$$0 = \frac{\partial\mathfrak{T}}{\partial t} + \frac{\partial\psi}{\partial z}\frac{\partial\mathfrak{T}}{\partial x} - \frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial\mathfrak{T}}{\partial z},$$

also

$$\frac{\partial\psi}{\partial x} = -v \quad \gamma = v.$$

Die Spannung im Aether würde also erst aufhören, wenn er sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt, wie die bewegte Platte. Dies gilt aber nur für kleine Geschwindigkeiten. Für grössere würden sich ziemlich verwickelte, von der Schwingungsdauer abhängige Werthe ergeben.

Dass die Mitbewegung des Aethers die Spannungen im Aether nur in erster Annäherung aufhebt, hängt damit zusammen, dass durch die Bewegung noch Aberration des Strahls hervorgerufen wird, die bekanntlich durch die Annahme bewegten Aethers nicht ohne weiteres erklärt werden kann.

Es erscheint nicht ganz aussichtslos, Experimente in der Richtung anzustellen, ob bei der Reflexion an schnell bewegten Platten der Aether in der Richtung der Bewegung mitgeführt wird.

Die Annahme ruhenden Aethers.

Nach dem Vorhergehenden können wir die Möglichkeit, dass sich der Aether bewege, nicht ganz in Abrede stellen. Aber die Schwierigkeiten der Durchführung einer derartigen Annahme dürfte schon in den skizzirten Beispielen zur Genüge hervortreten. Sobald es daher gelingt, allen bisher beobachteten Thatsachen gerecht zu werden, wenn man den Aether als ruhend betrachtet, so wird sich dieser Weg zunächst schon durch seine Einfachheit empfehlen. Allerdings verletzen wir dann von vornherein ein sehr allgemeines mechanisches Princip, [**xi**] dass der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, wenn wir nicht annehmen wollen, dass die electromagnetischen Spannungen, die den Aether in Bewegung setzen wollen, durch ein bestimmtes starres Gefüge aufgehoben werden. Und überhaupt wird der Aether, wenn wir ihm Beweglichkeit absprechen, zu einem Substrat von höchst unbestimmten Eigenschaften, das wir eigentlich nur noch gebrauchen, um uns den endlichen Werth der Lichtgeschwindigkeit verständlicher zu machen.

Aber jedem, dem es zunächst nur auf die allgemeinste Darstellung der Thatsachen ankommt, wird sich dieser Weg besonders empfehlen.

Die Annahme eines ruhenden Aethers war eigentlich die von F r e s n e l vertretene, obwohl dort noch von einer theilweisen Fortführung des Aethers die Rede ist. Diese Fortführung findet aber nur im Innern der wägbaren Körper statt, sobald diese selbst bewegt werden und kann vollkommen durch die Anschauung ersetzt werden, dass das, was fortgeführt wird, nicht der Aether selbst ist, sondern der Theil der electromagnetischen Energie, der an ponderablen Körpern haftet. Dies tritt sehr deutlich in der Berechnung von R e i f f [2] heraus, aus der hervorgeht, dass der F r e s n e l'sche Coefficient der Fortführung für einen Lichtstrahl im bewegten Medium sich ergiebt, wenn der Aether selbst ruht, die electromagnetische Energie theilweise im Aether, theilweise in der ponderablen Substanz vorhanden ist.

Eine genaue Durchführung der Theorie unter Zugrundelegung der Annahme ruhenden Aethers und unveränderlich geladenen Ionen sowie vollständige Discussion aller wesentlichen Beobachtungsergebnisse ist in der Arbeit von H. A. L o r e n t z [3] enthalten. Von ganz ähnlichen Gesichtspunkten geht E. W i e c h e r t [4] aus.

L o r e n t z erhält aus seiner Annahme unmittelbar den F r e s n e l'schen Coefficienten der Fortführung des Lichtes durch bewegte Medien, die Aberration und das D o p p l e r'sche Princip. Alle drei hängen unmittelbar zusammen und ergeben sich aus einem allgemeinen Satze, wonach alle für ruhende Körper [**xii**] geltenden Gleichungen kleiner Schwingungen auf bewegte übertragen werden können, wenn anstatt der Zeit *t* die Variable $t - t_1 vA$ einführt, wo t_1 die Zeit bedeutet, die das Licht gebraucht, um im freien Aether von einem festen Punkte an einen beliebig betrachteten zu gelangen, und *vA* das Verhältniss der Geschwindigkeit des Körpers zur Lichtgeschwindigkeit ist.

Für den Fortführungscoefficienten ergiebt sich dabei noch ein weiteres Correctionsglied, das dadurch bedingt wird, dass durch die Bewegung auch eine Aenderung der Schwingungsdauer nach dem D o p p l e r'schen Princip eintritt. Es folgt auch unmittelbar, dass der Einfluss der Erdbewegung sich *nur* in der Aberration zeigt und dass die prismatische Ablenkung und die Beobachtung der Wellenlänge durch Gitter nicht beeinflusst wird. Ebenso folgt, dass ein stationärer Strom auf einen anderen Draht durch die Erdbewegung keine

Inductionswirkung ausübt, weil durch die Bewegung eine electrostatische Ladung erzeugt wird, welche die Wirkung compensirt.

Bei der Inductionswirkung tritt der Einfluss der Erdbewegung nur im Verhältniss der Grösse $v^2 A^2$ auf, sodass hier keine Aussicht auf experimentelle Bestätigung vorhanden ist.

Nachdem durch die ausführlich durchgearbeitete Theorie von Lorentz die Annahme unbeweglichen Aethers sich als vollkommen ausreichend erweist, um eine Anzahl der mannichfaltigen und bisher wenig erklärten Erscheinungen des Einflusses der Bewegung auf die electromagnetischen Vorgänge zu deuten, müssen wir nun auf eine Schwierigkeit principieller Natur hinweisen, die bei consequenter Durchführung dieser Theorie entsteht.

Diese Schwierigkeit hängt eng damit zusammen, dass veränderliche electromagnetische Zustände Kräfte hervorrufen, die den Aether in Bewegung setzen würden, wenn er beweglich wäre. Denken wir uns einen Körper im freien Aether etwa in der Form einer dünnen Platte, die auf beiden Seiten verschiedenes Ausstrahlungsvermögen für Wärmestrahlen besitzt. Da nun nach der Maxwell'schen Theorie die ausgesandten Strahlen einen Druck auf die Oberfläche ausüben, so würde dieser Druck auf der Seite des grösseren Ausstrahlungsvermögens überwiegen und den Körper in Bewegung setzen. [xiii] Wir hätten also hier den Fall, dass ein Körper seinen Schwerpunkt durch seine eigene innere Energie in Bewegung setzt. Nehmen wir also den Aether als unbeweglich an, so würde eine Verletzung des allgemeinen Satzes vom Schwerpunkt vorliegen. Dagegen würde die Annahme beweglichen Aethers, der Trägheit besitzt, diesem Einwande entgehen.

Indessen kann möglicherweise der Satz vom Schwerpunkt specieller Natur sein und sich auf gewisse Gruppen von Wirkungen beschränken, bei denen keine bewegenden Kräfte im Aether auftreten, wie das bei den gewöhnlich beobachteten ponderomotorischen Wirkungen thatsächlich der Fall ist.

Unter allen Umständen ist dieser Punkt für die weitere theoretische Ausbildung besonders im Auge zu behalten.

Die Versuchsergebnisse.

Nachdem wir die beiden voneinander zu trennenden theoretischen Aufstellungen besprochen haben, wollen wir einen Blick auf die Versuche machen, die bisher angestellt sind.

Die hauptsächlichsten Experimente, die sich auf unsere Frage beziehen, sind folgende:

A. Versuche mit positivem Ergebniss.

1. Die Aberration des Lichtes der Fixsterne. Die Aberration fand bekanntlich eine einfache Erklärung durch die Emissionshypothese des Lichtes. Die Schwierigkeiten in der Undulationstheorie sind erst ganz neuerdings von H. A. Lorentz durch die Annahme *ruhenden* Aethers beseitigt.

2. Das Doppler'sche Princip ist zwar seiner Natur nach von allgemeiner kinematischer Bedeutung, muss aber doch bei der Frage bewegten oder ruhenden Aethers berücksichtigt werden.

3. Der Versuch von Fizeau und seine Wiederholung durch Michelson und Morley. Ein Lichtstrahl, der durch fliessendes Wasser in der Richtung der Bewegungen geht, erfährt eine Beschleunigung des Ganges im Verhältniss $1 + v(1 - (1/n^2))$, wo *v* die Geschwindigkeit, *n* den Brechungsindex des Wassers bezeichnen. Dies Ergebniss findet in der Annahme ruhenden Aethers seine vollständige Erklärung.

[xiv]

B. Versuche mit negativem Ergebniss.

1. Der Versuch Aragos, ob durch die Bewegung der Erde die Brechung des von den Fixsternen stammenden Lichtes beinflusst wird.

2. Der Interferenzversuch Ketteler's. Durch zwei mit Wasser gefüllte, gegeneinander geneigte Röhren werden die beiden Strahlen eines Interferentialrefractors in der Weise geschickt, dass der eine Strahl die eine Röhre nach der ersten Reflexion (an der einen Glasplatte), der andere Strahl die zweite Röhre nach der zweiten Reflexion (an der anderen Glasplatte), also in entgegengesetzter Richtung durchläuft. Trotzdem beide Röhren durch die Erdbewegung mitgenommen werden, zeigt sich keine Veränderung der Interferenzstreifen, obwohl der eine Strahl beschleunigt, der andere verzögert wird,

Beide Ergebnisse folgen unmittelbar aus der Annahme ruhenden Aethers.

3. Der Versuch von Klinkerfues, ob die Absorptionslinie des Natriumdampfes durch die Bewegung der Erde beeinflusst werde.

Das positive Ergebniss von Klinkerfues würde mit der Theorie ruhenden Aethers unvereinbar sein. Doch ist die gefundene Verschiebung so gering, dass Beobachtungsfehler nicht ausgeschlossen sind.

4. Der Versuch von Des Coudres, ob die Inductionswirkung von zwei Drahtrollen auf eine dritte dadurch beeinflusst wird, dass die Richtung der Induction jeder Rolle einmal in die Richtung der Erdbewegung, dann in die dazu Senkrechte fällt.

H. A. Lorentz hat nachgewiessen, dass dieser Einfluss bei ruhendem Aether nur von dem Quadrat des Verhältnisses der Geschwindigkeit der Erde zur Lichtgeschwindigkeit abhängt, also nicht beobachtbar ist, weil durch die Erdbewegung eine electrostatische Ladung auf den Stromleitern entsteht, welche die Wirkung erster Ordnung aufhebt.

5. Die Versuche von Lodge, um zu untersuchen, inwieweit durch die Bewegung schwerer oder magnetisirbarer Massen der umgebende Aether mitgenommen wird.

6. Die Versuche von Zehnder, ob der Aether durch die [xv] Bewegung eines Kolbens in einem luftverdünnten Raum mitbewegt wird.

Die Versuche beider Beobachter wurden mit empfindlichen Interferenzmethoden angestellt und ergaben negatives Ergebniss, stimmen also mit der Annahme ruhenden Aethers ohne weiteres überein.

7. Die Versuche von Mascart über die Drehung der Polarisationsebene im Quarz. Es zeigte sich keine Veränderung der Drehung, wenn die Lichtstrahlen einmal die Richtung der Erdbewegung, dann die entgegengesetzte hatten.

H. A. Lorentz hat die Theorie dieser Erscheinung gegeben und findet, dass unter Annahme ruhenden Aethers die Erdbewegung einmal die bestehende Drehung verändert und noch unabhängig eine zweite hinzufügt.

Das negative Ergebniss der Mascart'schen Beobachtungen würde ergeben, dass im Quarz diese beiden durch den Einfluss der Erdbewegung hervorgerufenen Drehungen sich gerade aufheben.

8. Der Versuch von Röntgen, ob durch die Bewegung der Erde von einem geladenen Condensator magnetische Kräfte erzeugt werden.

Das negative Ergebniss dieses Versuches ist mit der Annahme ruhenden Aethers nicht vereinbar.

Auch electrische Ladungen und Magnete müssten durch die Bewegung der Erde magnetische, bez. electrische Kräfte hervorrufen. Das Fehlen dieser Kräfte wäre ebenfalls mit der Voraussetzung ruhenden Aethers nicht vereinbar.

9. Der Versuch Fizeau's über den Einfluss der Erdbewegung auf die Drehung der Polarisationsebene durch Glassäulen. Das positive Ergebniss dieses Versuches ist neuerdings angezweifelt worden. Es würde mit der Annahme ruhenden Aethers nach den Untersuchungen von H. A. Lorentz nicht vereinbar sein.

10. Der Versuch von Michelson und Morley. Wenn der Aether ruht, so muss die Zeit, die ein Lichtstrahl braucht, um zwischen zwei Glasplatten hin und herzugehen, sich ändern, wenn die Platten sich bewegen. Die Veränderung hängt von der Grösse $v^2 A^2$ ab, müsste aber bei Anwendung von Interferenzen beobachtbar sein.

[xvi] Das negative Ergebniss ist mit der Annahme ruhenden Aethers unvereinbar. Diese Annahme kann nur durch die Hypothese gehalten werden, dass die Längendimensionen fester Körper durch die Bewegung durch den ruhenden Aether hindurch in demselben Verhältniss geändert werden, um die Verlängerung des Weges des Lichtstrahls zu compensiren.

Die Annahme beweglichen Aethers würde die Möglichkeit ergeben, dass der Aether durch die Bewegung der Erde mitgenommen wird und relativ zu ihr ruht. Dadurch würden alle negativen Versuchsergebnisse erklärt sein. Es bliebe dann aber die Erklärung der Aberration übrig.

Gravitation und Trägheit.

Dass die Gravitation eine Ausnahmestellung einnimmt und keine bemerkbaren Beziehungen zu den übrigen Naturerscheinungen hat, ist schon oft hervorgehoben worden. Ihre Zurückführung auf Druckkräfte wird durch die Thatsache erschwert, dass der Energievorrath eines gravitirenden Systems bei unendlicher Entfernung der einzelnen Massentheile seinen grössten Werth hat. Es ist aber nicht immer deutlich genug hervorgehoben, dass die Beschleunigung schwerer Massen höchst wahrscheinlich mit der Gravitation zusammen hängt, weil durch die Beschleunigung und durch die Gravitation zwei voneinander unabhängige Definitionen der Masse gewonnen werden, die, soweit die hier sehr genauen Beobachtungen reichen, vollkommen übereinstimmen. Verlangt man eine weitere Erklärung der Gravitation, so müsste sie gleichzeitig davon Rechenschaft geben, weshalb Arbeitsaufwand zur Beschleunigung schwerer Massen erforderlich ist. Dass die beiden Definitionen der Masse übereinstimmen, müsste dann als eine Folge dieser Erklärung herauskommen. Ob eine solche Theorie sich auch auf den Aether zu stützen hat, lässt sich nicht mit Sicherheit behaupten, ist aber wahrscheinlich.

Es muss hier aber auch hervorgehoben werden, dass es keineswegs feststeht, ob eine Zurückführung aller Wirkungen auf Spannungen im Aether gelingen kann, ebenso wie es zweifelhaft bleibt, ob die Vorgänge im Aether sich durch die Gesetze der Mechanik vollkommen befriedigend darstellen lassen.

[xvii] Fassen wir nun die Ergebnisse zusammen, so ist der Eindruck der, dass noch eine Anzahl von Fragen zu erledigen sind, bevor wir uns für den von der Wissenschaft zu betretenden Weg entscheiden können.

Die Annahme beweglichen Aethers ohne Trägheit führt, wie wir gesehen haben, zu wenig wahrscheinlichen Consequenzen.

Als Experiment, welches für diese Annahme von Wichtigkeit wäre, empfiehlt sich der Versuch, ob der Aether durch die Bewegung reflectirender durchsichtiger Medien in Bewegung gesetzt wird.

Da aber der Aether durch die Bewegung fester Körper soweit bis jetzt bekannt, nicht in Bewegung gesetzt wird, so ist ein negatives Ergebniss wahrscheinlich.

Der Annahme ganz ruhenden Aethers stehen folgende Schwierigkeiten entgegen:

1. Verletzung des Satzes vom Schwerpunkt (bez. der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung).

2. Die negativen Ergebnisse der Versuche von Michelson und Morley, der von Röntgen und möglicherweise die Versuche von Mascart und Fizeau.

Es wäre daher dringend erwünscht, folgende Experimente zu wiederholen oder neu anzustellen.

1. Wirkt die Erdbewegung auf die Drehung der Polarisationsebene

   a) natürlich drehender Substanzen,

   b) durch Glassäulen.

2. Ruft die Erdbewegung durch die Bewegung electrischer Ladungen die von der Theorie geforderten magnetischen Kräfte und durch die Bewegung von Magneten die entsprechenden electrischen Kräfte hervor?

Wenn die Ergebnisse dieser Versuche vollkommen klargestellt sind, wird sich zeigen, ob die sonst so einfache Theorie ruhenden Aethers beizubehalten oder aufzugeben ist. Sollte sie aufgegeben werden müssen, so würde, wie mir scheint, nur der von Des Coudres angegebene Ausweg übrigbleiben; nämlich Einfluss der Gravitation auf den Lichtäther. Diese Annahme scheint mir gleichbedeutend mit der Voraussetzung einer geringen trägen Masse des Lichtäthers zu sein.

[xviii] Es würde sich dann erklären, dass die Erde infolge ihrer bedeutenden Gravitation den Aether mitzieht, während die Bewegung kleiner fester Körper auf der Erde keinen Einfluss hat. Das negative Ergebniss der erwähnten Versuche wäre ohne weiteres erklärt.

Dann würden aber im wesentlichen die Schwierigkeiten in der Erklärung der Aberration bestehen bleiben, auf die H. A. Lorentz aufmerksam gemacht hat. Ob dieselben aber nicht doch zu überwinden sind, wenn die Mitbewegung des Aethers unter Einfluss der Gravitation in Rechnung gezogen wird, bedarf einer besonderen Untersuchung. Zu dem Zwecke wäre das hydrodynamische Problem zu erledigen, die Bewegungen einer Flüssigkeit zu bestimmen, durch die ein Punkt mit constanter Geschwindigkeit sich bewegt, der die einzelnen Flüssigkeitstheile nach dem Newton'schen Gesetze anzieht.

Die Maxwell'schen Spannungen, die den Aether in Bewegung setzen würden, sind immer, weil sie mit der reciproken Lichtgeschwindigkeit multiplicirt erscheinen, so klein, dass die Bewegungen auch bei sehr geringer träger Masse im allgemeinen unmerklich werden.

Aufgabe der Theorie wäre es dann, solche Beispiele aufzusuchen, wo die Bewegung des Aethers thatsächlich beobachtet werden könnte.

---

1. ↑ Ich habe mit dem Jamin'schen Interferentialrefractor den Versuch gemacht, ob ein durch eine Vacuumröhre gehender Lichtstrahl durch die Kathodenstrahlen beschleunigt wird; das Ergebniss war aber durchaus negativ.
2. ↑ Reiff, Wied. Ann. 50. p. 367. 1893
3. ↑ Lorentz, Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leyden 1895 [WS:Vorlage:1893].
4. ↑ Wiechert, Theorie der Electrodynamik. Königsberg 1896.