

# Ether — Äther

## Artikel in der Encyclopaedia Britannica Über das Äthermedium von James Clerk Maxwell

Übersetzung, sowie **Hervorhebungen** und [Einfügungen] von  
Gerhard Zwiauer

15. August 2021

### Ether

Encyclopaedia Britannica Ninth Edition 1878/Ether  
**Original by James Clerk Maxwell**<sup>1</sup>

Ether, or Æther (*αιθηρ*, probably from *αιθω*, I burn, though Plato in his *Cratylus* (410, b) derives the name from its perpetual motion) – , a material substance of a more subtle kind than visible bodies, supposed to exist in those parts of space which are apparently empty.

The hypothesis of an aether has been maintained by different speculators for very different reasons. To those who maintained the existence of a plenum as a philosophical principle, nature's abhorrence of a vacuum was a sufficient reason for imagining an all-surrounding aether, even though every other argument should be against it. To Descartes, who made extension the sole essential property of matter, and matter a necessary condition of extension, the bare existence of bodies apparently at a distance was a proof of the existence of a continuous medium between them.

But besides these high metaphysical necessities for a medium, there were more mundane uses to be fulfilled by aethers. Aethers were invented for the planets to swim in, to constitute electric atmospheres and magnetic effluvia, to convey sensations from one part of our bodies to another, and so on, till all space had been filled three or four times over with aethers.

### Äther

Encyclopaedia Britannica Neunte Ausgabe 1878/Ether  
**Original von James Clerk Maxwell**<sup>2</sup>

ÄTHER, oder ÆTHER (*αιθηρ*, wahrscheinlich von *αιθω*, ich brenne, obwohl Platon in seinem *Kratylos* (410, b) den Namen von seiner ewigen Bewegung ableitet), eine materielle Substanz von subtilerer Art als die sichtbaren Körper, die in den scheinbar leeren Teilen des Raumes existieren soll.

Die Hypothese eines Äthers wurde von verschiedenen Spekulanten aus sehr unterschiedlichen Gründen aufrechterhalten. Für diejenigen, die an der Existenz eines Plenums als philosophischem Prinzip festhielten, war die Abscheu der Natur vor einem Vakuum ein ausreichender Grund, sich einen alles umgebenden Äther vorzustellen, auch wenn alle anderen Argumente dagegen sprachen. Für Descartes, der die Ausdehnung als einzige wesentliche Eigenschaft der Materie und die Materie als notwendige Bedingung der Ausdehnung ansah, war die bloße Existenz von Körpern, die sich scheinbar in einem gewissen Abstand voneinander befanden, ein Beweis für die Existenz eines kontinuierlichen Mediums zwischen ihnen.

Doch neben diesen hohen metaphysischen Anforderungen an ein Medium gab es auch profanere Verwendungszwecke, die von Äthern erfüllt werden konnten. Der Äther wurden erfunden, damit die Planeten darin schwimmen konnten, um elektrische Atmosphären und magnetische Ausströmungen zu bilden, um Empfindungen von einem Teil unseres Körpers zum anderen zu übertragen, und so weiter, bis der ganze Raum drei- oder viermal mit Äthern gefüllt war.

<sup>1</sup>Original: [en.wikisource.org](http://en.wikisource.org) → ether → 1878

<sup>2</sup>Engl. Original: [en.wikisource.org](http://en.wikisource.org) → ether → 1878

It is only when we remember the extensive and mischievous influence on science which hypotheses about aethers used formerly to exercise, that we can appreciate the horror of aethers which sober-minded men had during the 18th century, and which, probably as a sort of hereditary prejudice, descended even to the late Mr John Stuart Mill.

The disciples of Newton maintained that in the fact of the mutual gravitation of the heavenly bodies, according to Newton's law, they had a complete quantitative account of their motions; and they endeavoured to follow out the path which Newton had opened up by investigating and measuring the attractions and repulsions of electrified and magnetic bodies, and the cohesive forces in the interior of bodies, without attempting to account for these forces.

Newton himself, however, endeavoured to account for gravitation by differences of pressure in an aether (see Art. Attraction, Vol. iii. p. 64); but he did not publish his theory, "because he was not able from experiment and observation to give a satisfactory account of this medium, and the manner of its operation in producing the chief phenomena of nature."

On the other hand, those who imagined aethers in order to explain phenomena could not specify the nature of the motion of these media, and could not prove that the media, as imagined by them, would produce the effects they were meant to explain. The only aether which has survived is that which was invented by Huygens to explain the propagation of light. The evidence for the existence of the luminiferous aether has accumulated as additional phenomena of light and other radiations have been discovered; and the properties of this medium, as deduced from the phenomena of light, have been found to be precisely those required to explain electromagnetic phenomena.

### **Function of the aether in the propagation of radiation.**

The evidence for the undulatory theory of light will be given in full, under the Article on Light, but we may here give a brief summary of it so far as it bears on the existence of the aether.

That light is not itself a substance may be proved from the phenomenon of interference. A beam of light from a single source is divided by certain optical methods into two parts, and these, after travelling by different paths, are made to reunite and fall upon a screen.

Nur wenn wir uns an den weitreichenden und bösartigen Einfluss erinnern, den Hypothesen über Äther früher auf die Wissenschaft ausübten, können wir den Horror vor Äthern verstehen, den nüchtern denkende Menschen im 18. Jahrhundert hatten und der, wahrscheinlich als eine Art vererbtes Vorurteil, sogar auf den verstorbenen John Stuart Mill zurückging.

Die Nachfolger Newtons behaupteten, dass sie in der Tatsache der gegenseitigen Gravitation der Himmelskörper nach dem Newtonschen Gesetz eine vollständige quantitative Erklärung ihrer Bewegungen hätten, und bemühten sich, den von Newton eröffneten Weg weiterzuverfolgen, indem sie die Anziehung und Abstossung elektrischer und magnetischer Körper sowie die Kohäsionskräfte im Inneren von Körpern untersuchten und massen, ohne zu versuchen, diese Kräfte zu erklären.

Newton selbst versuchte jedoch die Gravitation durch Druckunterschiede in einem Äther zu erklären (siehe Art. Attraktion, Bd. iii. S. 64); aber er veröffentlichte seine Theorie nicht, „weil er nicht in der Lage war, durch Experimente und Beobachtungen eine befriedigende Erklärung für dieses Medium und die Art seiner Wirkung bei der Erzeugung der wichtigsten Naturserscheinungen zu geben.“

Andererseits konnten diejenigen, die sich Äther ausdachten, um Phänomene zu erklären, die Art der Bewegung dieser Medien nicht spezifizieren und konnten nicht beweisen, dass die Medien, wie sie sie sich vorstellten, die Wirkungen hervorrufen würden, die sie erklären sollten. Der einzige Äther, der überlebt hat, ist derjenige, der von Huygens erfunden wurde, um die Ausbreitung des Lichts zu erklären. Die Beweise für die Existenz des Lichtäthers haben sich mit der Entdeckung weiterer Lichtphänomene und anderer Strahlungen verdichtet, und es hat sich gezeigt, dass die aus den Lichtphänomenen abgeleiteten Eigenschaften dieses Mediums genau denjenigen entsprechen, die auch zur Erklärung elektromagnetischer Phänomene erforderlich sind.

### **Funktion des Äthers bei der Ausbreitung der Strahlung.**

Die Beweise für die Wellentheorie des Lichts werden in dem Artikel über das Licht ausführlich dargelegt, aber wir können hier eine kurze Zusammenfassung geben, soweit sie sich auf die Existenz des Äthers bezieht.

Dass das Licht selbst keine Substanz ist, lässt sich anhand des Phänomens der Interferenz nachweisen. Ein Lichtstrahl, der von einer einzigen Quelle ausgeht, wird durch bestimmte optische Methoden in zwei Teile geteilt, die sich dann, nachdem sie verschiedene Wege zurückgelegt haben, wieder vereinigen und auf einen Schirm fallen.

If either half of the beam is stopped, the other falls on the screen and illuminates it, but if both are allowed to pass, the screen in certain places becomes dark, and thus shows that the two portions of light have destroyed each other.

Now, we cannot suppose that two bodies when put together can annihilate each other; therefore light cannot be a substance.

What we have proved is that one portion of light can be the exact opposite of another portion, just as  $+a$  is the exact opposite of  $-a$ , whatever  $a$  may be. Among physical quantities we find some which are capable of having their signs reversed, and others which are not. Thus a displacement in one direction is the exact opposite of an equal displacement in the opposite direction. Such quantities are the measures, not of substances, but always of processes taking place in a substance. We therefore conclude that light is not a substance but a process going on in a substance, the process going on in the first portion of light being always the exact opposite of the process going on in the other at the same instant, so that when the two portions are combined no process goes on at all. To determine the nature of the process in which the radiation of light consists, we alter the length of the path of one or both of the two portions of the beam, and we find that the light is extinguished when the difference of the length of the paths is an odd multiple of a certain small distance called a half wave-length. In all other cases there is more or less light; and when the paths are equal, or when their difference is a multiple of a whole wave-length, the screen appears four times as bright as when one portion of the beam falls on it. In the ordinary form of the experiment these different cases are exhibited simultaneously at different points of the screen, so that we see on the screen a set of fringes consisting of dark lines at equal intervals, with bright bands of graduated intensity between them.

If we consider what is going on at different points in the axis of a beam of light at the same instant, we shall find that if the distance between the points is a multiple of a wave-length the same process is going on at the two points at the same instant, but if the distance is an odd multiple of half a wave-length the process going on at one point is the exact opposite of the process going on at the other.

Now, light is known to be propagated with a certain velocity ( $3.004 \times 10^{10}$  centimetres per second in vacuum, according to Cornu).

Wird eine der beiden Hälften des Lichtstrahls angehalten, so fällt die andere auf den Schirm und beleuchtet ihn; lässt man jedoch beide durch, so wird der Schirm an bestimmten Stellen dunkel und zeigt so, dass sich die beiden Lichtanteile gegenseitig zerstört haben.

Nun können wir nicht annehmen, dass zwei Körper, wenn sie zusammengefügt werden, sich gegenseitig auslöschen können; daher kann Licht **keine** Substanz [im Sinne atomarer Teilchen] sein.

Was wir bewiesen haben, ist, dass ein Teil des Lichts das genaue Gegenteil eines anderen Teils sein kann, so wie  $+a$  das genaue Gegenteil von  $-a$  ist, was immer  $a$  sein mag. Unter den physikalischen Grössen gibt es einige, deren Vorzeichen sich umkehren lassen, und andere, bei denen dies nicht der Fall ist. So ist eine Verschiebung in einer Richtung das genaue Gegenteil einer gleichen Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung. Solche Grössen sind keine Messgrössen von Substanzen, sondern immer von Prozessen, die in einer Substanz ablaufen. Daraus schliessen wir, dass das Licht keine Substanz ist, sondern ein Prozess, der in einer Substanz abläuft, wobei der Prozess, der in einen Teil des Lichts abläuft, immer das genaue Gegenteil des Prozesses ist, der im anderen Teil im gleichen Augenblick abläuft, so dass, wenn die beiden Teile kombiniert werden, überhaupt kein Prozess abläuft. Um die Art des Prozesses, aus dem die Lichtstrahlung besteht, zu bestimmen, verändert man die Länge des Weges eines oder beider Teile des Lichtstrahls und stellt fest, dass das Licht erlischt, wenn die Differenz der Weglängen ein ungerades Vielfaches eines bestimmten kleinen Abstandes ist, den man Halbwellenlänge nennt. In allen anderen Fällen gibt es mehr oder weniger Licht; und wenn die Wege gleich sind oder wenn ihr Unterschied ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge ist, erscheint der Schirm viermal so hell wie wenn ein Teil des Strahls auf ihn fällt. In der gewöhnlichen Form des Experiments werden diese verschiedenen Fälle gleichzeitig an verschiedenen Punkten des Schirms gezeigt, so dass wir auf dem Schirm eine Reihe von Streifen sehen, die aus dunklen Linien in gleichen Abständen bestehen, mit hellen Bändern von abgestufter Intensität zwischen ihnen.

Betrachtet man die Vorgänge an verschiedenen Punkten in der Achse eines Lichtstrahls zum gleichen Zeitpunkt, so stellt man fest: Wenn der Abstand zwischen den Punkten ein Vielfaches einer Wellenlänge beträgt, dann läuft an den beiden Punkten zum gleichen Zeitpunkt der gleiche Vorgang ab; beträgt der Abstand jedoch ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge, so ist der Vorgang an einem Punkt genau das Gegenteil des Vorgangs am anderen Punkt.

Nun ist bekannt, dass sich das Licht mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet (nach Cornu  $3,004 \times 10^{10}$  Zentimeter pro Sekunde im Vakuum).

If, therefore, we suppose a movable point to travel along the ray with this velocity, we shall find the same process going on at every point of the ray as the moving point reaches it. If, lastly, we consider a fixed point in the axis of the beam, we shall observe a rapid alternation of these opposite processes, the interval of time between similar processes being the time light takes to travel a wave-length.

These phenomena may be summed up in the mathematical expression

$$u = A \cos(nt - px + a)$$

which gives  $u$ , the phase of the process, at a point whose distance measured from a fixed point in the beam is  $x$ , and at a time  $t$ .

We have determined nothing as to the nature of the process. It may be a displacement, or a rotation, or an electrical disturbance, or indeed any physical quantity which is capable of assuming negative as well as positive values. Whatever be the nature of the process, if it is capable of being expressed by an equation of this form, the process going on at a fixed point is called a vibration; the constant  $A$  is called the amplitude; the time  $2\pi/n$  is called the period; and  $(nt - px + a)$  is the phase.

The configuration at a given instant is called a wave, and the distance  $2\pi/P$  is called the wave-length. The velocity of propagation is  $n/p$ . When we contemplate the different parts of the medium as going through the same process in succession, we use the word undulatory to denote this character of the process without in any way restricting its physical nature.

A further insight into the physical nature of the process is obtained from the fact that if the two rays are polarized, and if the plane of polarization of one of them be made to turn round the axis of the ray, then when the two planes of polarization are parallel the phenomena of interference appear as above described. As the plane turns round, the dark and light bands become less distinct, and when the planes of polarization are at right angles, the illumination of the screen becomes uniform, and no trace of interference can be discovered.

Hence the physical process involved in the propagation of light must not only be a directed quantity or vector capable of having its direction reversed, but this vector must be at right angles to the ray, and either in the plane of polarization or perpendicular to it.

Nehmen wir also an, dass sich ein beweglicher Punkt mit dieser Geschwindigkeit entlang des Strahls ausbreitet, so werden wir an jedem Punkt des Strahls, den der bewegliche Punkt erreicht, den gleichen Vorgang vorfinden. Betrachtet man schliesslich einen festen Punkt in der Achse des Strahls, so beobachtet man einen raschen Wechsel dieser gegensätzlichen Prozesse, wobei das Zeitintervall zwischen ähnlichen Prozessen der Zeit entspricht, die das Licht braucht, um eine Wellenlänge zurückzulegen.

Diese Phänomene lassen sich in der folgenden mathematischen Formel zusammenfassen

$$u = A \cos(nt - px + a);$$

wobei  $u$  die Phase des Prozesses an einem Punkt ist, dessen Abstand von einem festen Punkt im Strahl  $x$  ist, und zu einem Zeitpunkt  $t$  ergibt.

Wir haben nichts über die Art des Prozesses bestimmt. Es kann sich um eine Verschiebung, eine Drehung, eine elektrische Störung oder auch um eine beliebige physikalische Grösse handeln, die sowohl negative als auch positive Werte annehmen kann. Wie auch immer der Vorgang beschaffen sein mag, wenn er sich durch eine Gleichung dieser Form ausdrücken lässt, wird der an einem festen Punkt ablaufende Vorgang als Schwingung bezeichnet; die Konstante  $A$  heisst Amplitude; die Zeit  $2\pi/n$  heisst Periode; und  $(nt - px + a)$  ist die Phase.

Die Konfiguration zu einem bestimmten Zeitpunkt wird als Welle bezeichnet, und der Abstand  $2\pi/P$  wird als Wellenlänge bezeichnet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist  $n/p$ . Wenn wir die verschiedenen Teile des Mediums als einen Prozess betrachten, der nacheinander abläuft, verwenden wir das Wort wellenförmig, um diesen Charakter des Prozesses zu bezeichnen, ohne seine physikalische Natur in irgendeiner Weise einzuschränken.

Ein weiterer Einblick in die physikalische Natur des Prozesses ergibt sich aus der Tatsache, dass, wenn die beiden Strahlen polarisiert sind und die Polarisationssebene eines von ihnen um die Achse des Strahls gedreht wird, wenn die beiden Polarisationssebenen parallel sind, die oben beschriebenen Interferenzerscheinungen auftreten. Wenn die Polarisationssebene sich um die Achse des Strahls dreht, werden die dunklen und hellen Streifen weniger ausgeprägt, und wenn die Polarisationssebenen im rechten Winkel zueinander stehen, wird die Beleuchtung des Bildschirms gleichmässig, und es kann keine Spur von Interferenz entdeckt werden.

Also muss der physikalische Vorgang bei der Ausbreitung des Lichts nicht nur eine gerichtete Grösse oder ein Vektor sein, der seine Richtung umkehren kann, sondern dieser Vektor muss im rechten Winkel zum Strahl und entweder in der Polarisationssebene oder senkrecht dazu liegen.

Fresnel supposed it to be a displacement of the medium perpendicular to the plane of polarization. MacCullagh and Neumann supposed it to be a displacement in the plane of polarization. The comparison of these two theories must be deferred till we come to the phenomena of dense media.

The process may, however, be an electromagnetic one, and as in this case the electric displacement and the magnetic disturbance are perpendicular to each other, either of these may be supposed to be in the plane of polarization.

All that has been said with respect to the radiations which affect our eyes, and which we call light, applies also to those radiations which do not produce a luminous impression on our eyes, for the phenomena of interference have been observed, and the wave-lengths measured, in the case of radiations, which can be detected only by their heating or by their chemical effects.

### **Elasticity, tenacity, and density of the aether.**

Having so far determined the geometrical character of the process, we must now turn our attention to the medium in which it takes place. We may use the term aether to denote this medium, whatever it may be.

In the first place, it is capable of transmitting energy. The radiations which it transmits are able not only to act on our senses, which of itself is evidence of work done, but to heat bodies which absorb them; and by measuring the heat communicated to such bodies, the energy of the radiation may be calculated.

In the next place this energy is not transmitted instantaneously from the radiating body to the absorbing body, but exists for a certain time in the medium.

If we adopt either Fresnel's or MacCullagh's form of the undulatory theory, half of this energy is in the form of potential energy, due to the distortion of elementary portions of the medium, and half in the form of kinetic energy, due to the motion of the medium. We must therefore regard the aether as possessing elasticity similar to that of a solid body, and also as having a finite density.

Fresnel nahm an, dass es sich um eine Verschiebung des Mediums senkrecht zur Polarisationssebene handelt. MacCullagh und Neumann nahmen an, dass es sich um eine Verschiebung in der Polarisationssebene handelt. Der Vergleich dieser beiden Theorien muss zurückgestellt werden, bis wir zu den Phänomenen der dichten Medien kommen.

Es kann sich aber auch um einen elektromagnetischen Prozess handeln, und da in diesem Fall die elektrische Verschiebung und die magnetische Störung senkrecht zueinander stehen, kann man davon ausgehen, dass eine von beiden in der Polarisationssebene liegt.

All das, was über die Strahlungen gesagt wurde, die auf unsere Augen einwirken und die wir Licht nennen, gilt auch für die Strahlungen, die keinen Lichteindruck auf unsere Augen erzeugen, denn bei den Strahlungen, die nur durch ihre Erwärmung oder durch ihre chemischen Wirkungen wahrgenommen werden können, sind ebenfalls die Interferenzerscheinungen beobachtet und die Wellenlängen gemessen worden.

### **Elastizität, Zähigkeit und Dichte des Äthers.**

Nachdem wir so weit den geometrischen Charakter des Prozesses bestimmt haben, müssen wir nun unsere Aufmerksamkeit auf das Medium richten, in dem er sich abspielt. Wir können den Begriff „Äther“ verwenden, um dieses Medium zu bezeichnen, was auch immer es sein mag.

In erster Linie ist dieses Medium in der Lage, Energie zu übertragen. Die Strahlungen, die es aussendet, sind nicht nur in der Lage, auf unsere Sinne einzuwirken, was an sich schon ein Beweis für die geleistete Arbeit ist, sondern auch Körper zu erwärmen, die sie absorbieren; und durch Messung der Wärme, die solchen Körpern mitgeteilt wird, kann die Energie der Strahlung berechnet werden.

Ausserdem wird diese Energie nicht instantan vom abstrahlenden Körper auf den absorbierenden Körper übertragen, sondern existiert eine gewisse Zeit lang im Medium.

Wenn wir entweder Fresnels oder MacCullaghs Form der Wellentheorie annehmen, ist die Hälfte dieser Energie eine Form von potentieller Energie, die auf die Verzerrung elementarer Teile des Mediums zurückzuführen ist, und die andere Hälfte eine Form von kinetischer Energie, die auf die Bewegung des Mediums zurückzuführen ist. Wir müssen also davon ausgehen, dass der Äther eine Elastizität besitzt, die der eines Festkörpers ähnelt, und dass er auch eine endliche Dichte hat.

If we take Pouillet's estimate of 1.7633 as the number of grammecentigrade units of heat produced by direct sunlight falling on a square centimetre in a minute, this is equivalent to  $1.234 \times 10^6$  ergs per second. Dividing this by  $3.004 \times 10^{10}$ , the velocity of light in centimetres per second, we get for the energy in a cubic centimetre  $4.1 \times 10^{-6}$  ergs. Near the sun the energy in a cubic centimetre would be about 46.000 times this, or 1.886 ergs. If we further assume, with Sir W. Thomson, that the amplitude is not more than one hundredth of the wave-length, we have  $Ap = 2\pi/100$ , or about  $1/16$ ; so that we have:

Energy per cubic centimetre =  $1/2\rho V^2 A^2 p^2 = 1.886$  ergs.

Greatest tangential stress per square centimetre =  $\rho V^2 Ap = 30.176$  dynes.

XXX Coefficient of rigidity of ether =  $\rho V^2 = 842.8$   
Density of aether  $\rho = 9.36 \times 10^{-19}$ .

The coefficient of rigidity of steel is about  $8 \times 10^{11}$ , and that of glass  $2.4 \times 10^{11}$ .

If the temperature of the atmosphere were everywhere  $0^\circ\text{C}$ , and if it were in equilibrium about the earth supposed at rest, its density at an infinite distance from the earth would be  $3 \times 10^{-346}$  which is about  $1.8 \times 10^{327}$  times less than the estimated density of the aether. In the regions of interplanetary space the density of the aether is therefore very great compared with that of the attenuated atmosphere of interplanetary space, but the whole mass of aether within asphere whose radius is that of the most distant planet is very small compared with that of the planets themselves. [1]

## The aether distinct from gross matter.

When light travels through the atmosphere it is manifest that the medium through which the light is propagated is not the air itself, for in the first place the air cannot transmit transverse vibrations, and the normal vibrations which the air does transmit travel about a million times slower than light. Solid transparent bodies, such as glass and crystals, are no doubt capable of transmitting transverse vibrations, but the velocity of transmission is still hundreds of thousand times less than that with which light is transmitted through these bodies. We are therefore obliged to suppose that the medium through which light is propagated is something distinct from the transparent medium known to us, though it interpenetrates all transparent bodies and probably opaque bodies too.

Nimmt man für die Wärme, die durch direktes Sonnenlicht pro Minute auf einen Quadratcentimeter fällt, die von Pouillet geschätzte Zahl von 1,7633 Grammcentigrade-Einheiten an, so entspricht dies  $1,234 \times 10^6$  erg pro Sekunde. Dividiert man dies durch  $3,004 \times 10^{10}$ , die Lichtgeschwindigkeit in Zentimetern pro Sekunde, erhält man für die Energie in einem Kubikcentimeter  $4,1 \times 10^{-6}$  erg. In der Nähe der Sonne würde die Energie in einem Kubikcentimeter etwa das 46.000-fache davon betragen, also 1,886 erg. Wenn wir weiter mit Sir W. Thomson annehmen, dass die Amplitude nicht mehr als ein Hundertstel der Wellenlänge beträgt, haben wir  $Ap = 2\pi/100$  oder etwa  $1/16$ . Somit haben wir:

Energie pro Kubikcentimeter =  $1/2\rho V^2 A^2 p^2 = 1,886$  erg;

Grösste tangentielle Spannung pro Quadratcentimeter =  $\rho V^2 Ap = 30,176$  dyn.

Steifigkeitskoeffizient des Äthers =  $\rho V^2 = 842,8$   
Dichte des Äthers  $\rho = 9,36 \times 10^{-19}$ .

Der Steifigkeitskoeffizient von Stahl beträgt etwa  $8 \times 10^{11}$ , der von Glas  $2,4 \times 10^{11}$ .

Wäre die Temperatur der Atmosphäre überall  $0^\circ\text{C}$  und befände sie sich im Gleichgewicht mit der Erde, die als ruhend angenommen wird, so wäre ihre Dichte in unendlicher Entfernung von der Erde  $3 \times 10^{-346}$ , was etwa  $1,8 \times 10^{327}$  mal weniger ist als die geschätzte Dichte des Äthers. In den Regionen des interplanetaren Raums ist die Dichte des Äthers daher sehr gross im Vergleich zu der der gedämpften Atmosphäre des interplanetaren Raums, aber die gesamte Masse des Äthers innerhalb einer Kugel, deren Radius der des am weitesten entfernten Planeten ist, ist sehr klein im Vergleich zu der der Planeten selbst.[1]

## Der Äther unterscheidet sich von der grossen Materie.

Wenn sich das Licht durch die Atmosphäre bewegt, ist es offensichtlich, dass das Medium, durch das sich das Licht ausbreitet, nicht die Luft selbst ist, denn erstens kann die Luft keine Querschwingungen übertragen, und die normalen Schwingungen, die die Luft überträgt, bewegen sich etwa eine Million Mal langsamer als das Licht. Feste, durchsichtige Körper wie Glas und Kristalle sind zweifellos in der Lage, Querschwingungen zu übertragen, aber die Übertragungsgeschwindigkeit ist immer noch hunderttausendmal geringer als die des Lichts, das durch diese Körper übertragen wird. Wir müssen daher annehmen, dass das Medium, durch das sich das Licht ausbreitet, etwas anderes ist als das uns bekannte transparente Medium, obwohl es alle transparenten Körper und wahrscheinlich auch undurchsichtige Körper durchdringt.

The velocity of light, however, is different in different transparent media, and we must therefore suppose that these media take some part in the process, and that their particles are vibrating as well as those of the aether, but the energy of the vibrations of the gross particles must be very much smaller than that of the aether, for otherwise a much larger proportion of the incident light would be reflected when a ray passes from vacuum to glass or from glass to vacuum than we find to be the case.

### **Relative motion of the aether.**

We must therefore consider the aether within dense bodies as somewhat loosely connected with the dense bodies, and we have next to inquire whether, when these dense bodies are in motion through the great ocean of aether, they carry along with them the aether they contain, or whether the aether passes through them as the water of the sea passes through the meshes of a net when it is towed along by a boat. If it were possible to determine the velocity of light by observing the time it takes to travel between one station and another on the earth's surface, we might, by comparing the observed velocities in opposite directions, determine the velocity of the aether with respect to these terrestrial stations.

All methods, however, by which it is practicable to determine the velocity of light from terrestrial experiments depend on the measurement of the time required for the double journey from one station to the other and back, again, and the increase of this time on account of a relative velocity of the aether equal to that of the earth in its orbit would be only about one hundred millionth part of the whole time of transmission, and would therefore be quite insensible.

The theory of the motion of the aether is hardly sufficiently developed to enable us to form a strict mathematical theory of the aberration of light, taking into account the motion of the aether. Professor Stokes, however, has shown that, on a very probable hypothesis with respect to the motion of the aether, the amount of aberration would not be sensibly affected by that motion.

The only practicable method of determining directly the relative velocity of the aether with respect to the solar system is to compare the values of the velocity of light deduced from the observation of the eclipses of Jupiter's satellites when Jupiter is seen from the earth at nearly opposite points of the ecliptic.

Die Geschwindigkeit des Lichts ist jedoch in verschiedenen transparenten Medien unterschiedlich, und wir müssen daher annehmen, dass diese Medien einen gewissen Anteil an dem Prozess haben und dass ihre Teilchen ebenso schwingen wie die des Äthers, aber die Energie der Schwingungen der groben Teilchen muss sehr viel kleiner sein als die des Äthers, denn sonst würde ein viel grösserer Anteil des einfallenden Lichts reflektiert werden, wenn ein Strahl vom Vakuum zum Glas oder vom Glas zum Vakuum geht, als wir feststellen, dass dies der Fall ist.

### **Relative Bewegung des Äthers.**

Wir müssen daher den Äther in den dichten Körpern als irgendwie lose mit den dichten Körpern verbunden betrachten, und uns als nächstes fragen, ob diese dichten Körper, wenn sie sich durch den grossen Ozean des Äthers bewegen, den Äther, den sie enthalten, mit sich führen, oder ob der Äther durch sie hindurchgeht, wie das Wasser des Meeres durch die Maschen eines Netzes geht, wenn es von einem Boot mitgeschleppt wird. Wenn es möglich wäre, die Geschwindigkeit des Lichts durch Beobachtung der Zeit zu bestimmen, die es braucht, um von einer Station zu einer anderen auf der Erdoberfläche zu gelangen, könnten wir durch Vergleich der beobachteten Geschwindigkeiten in entgegengesetzten Richtungen die Geschwindigkeit des Äthers in Bezug auf diese irdischen Stationen bestimmen.

Alle Methoden, mit denen man die Lichtgeschwindigkeit aus irdischen Experimenten bestimmen kann, hängen jedoch von der Messung der Zeit ab, die für die doppelte Reise von einer Station zur anderen und wieder zurück benötigt wird, und die Erhöhung dieser Zeit aufgrund einer relativen Geschwindigkeit des Äthers, die derjenigen der Erde in ihrer Umlaufbahn entspricht, würde nur etwa ein Hundertmillionstel der gesamten Übertragungszeit ausmachen und wäre daher völlig unmerklich.

Die Theorie der Bewegung des Äthers ist kaum genügend entwickelt, dass man eine strenge mathematische Theorie der Aberration des Lichts unter Berücksichtigung der Bewegung des Äthers aufstellen könnte. Professor Stokes hat jedoch gezeigt, dass bei einer sehr wahrscheinlichen Hypothese in Bezug auf die Bewegung des Äthers das Ausmass der Aberration durch diese Bewegung nicht nennenswert beeinflusst wird.

Die einzige praktikable Methode zur direkten Bestimmung der relativen Geschwindigkeit des Äthers in Bezug auf das Sonnensystem besteht darin, die Werte der Lichtgeschwindigkeit zu vergleichen, die sich aus der Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitersatelliten ergeben, wenn der Jupiter von der Erde aus an nahezu entgegengesetzten Punkten der Ekliptik gesehen wird.

Arago proposed to compare the deviation produced in the light of a star after passing through an achromatic prism when the direction of the ray within the prism formed different angles with the direction of motion of the earth in its orbit. If the aether were moving swiftly through the prism, the deviation might be expected to be different when the direction of the light was the same as that of the aether, and when these directions were opposite.

The present writer [2] arranged the experiment in a more practicable manner by using an ordinary spectroscope, in which a plane mirror was substituted for the slit of the collimator. The cross wires of the observing telescope were illuminated. The light from any point of the wire passed through the object-glass and then through the prisms as a parallel pencil till it fell on the object-glass of the collimator, and came to a focus at the mirror, where it was reflected, and after passing again through the object-glass it formed a pencil passing through each of the prisms parallel to its original direction, so that the object-glass of the observing telescope brought it to a focus coinciding with the point of the cross wires from which it originally proceeded. Since the image coincided with the object, it could not be observed directly, but by diverting the pencil by partial reflection at a plane surface of glass, it was found that the image of the finest spider line could be distinctly seen, though the light which formed the image had passed twice through three prisms of 60".

The apparatus was first turned so that the direction of the light in first passing through the second prism was that of the earth's motion in its orbit. The apparatus was afterwards placed so that the direction of the light was opposite to that of the earth's motion. If the deviation of the ray by the prisms was increased or diminished for this reason in the first journey, it would be diminished or increased in the return journey, and the image would appear on one side of the object. When the apparatus was turned round it would appear on the other side. The experiment was tried at different times of the year, but only negative results were obtained. We cannot, however, conclude absolutely from this experiment that the aether near the surface of the earth is carried along with the earth in its orbit, for it has been shown by Professor Stokes [3] that according to Fresnel's hypothesis the relative velocity of the aether within the prism would be to that of the aether outside inversely as the square of the index of refraction, and that in this case the deviation would not be sensibly altered on account of the motion of the prism through the aether.

Arago schlug vor, die Abweichung zu vergleichen, die das Licht eines Sterns nach dem Durchgang durch ein achromatisches Prisma erzeugt, wenn die Richtung des Strahls innerhalb des Prismas unterschiedliche Winkel mit der Bewegungsrichtung der Erde in ihrer Umlaufbahn bildet. Würde sich der Äther schnell durch das Prisma bewegen, könnte man erwarten, dass die Abweichung unterschiedlich ausfällt, wenn die Richtung des Lichts mit der des Äthers übereinstimmt, und wenn diese Richtungen entgegengesetzt sind.

Der vorliegende Autor [2] hat das Experiment in einer praktikableren Weise durchgeführt, indem er ein gewöhnliches Spektroskop verwendete, bei dem der Spalt des Kollimators durch einen Planspiegel ersetzt wurde. Die Querdrähte des Beobachtungsfernrohrs wurden beleuchtet. Das Licht von einem beliebigen Punkt des Drahtes ging durch das Objektglas und dann durch die Prismen wie ein paralleler Strahl, bis es auf das Objektglas des Kollimators fiel und am Spiegel in den Brennpunkt kam, wo es reflektiert wurde, und nachdem er wieder durch das Objektglas gegangen war, bildete er einen Strahl, der durch jedes der Prismen parallel zu seiner ursprünglichen Richtung ging, so dass das Objektglas des Beobachtungsfernrohrs ihn in einen Brennpunkt brachte, der mit dem Punkt der Querdrähte zusammenfiel, von dem er ursprünglich ausging. Da das Bild mit dem Objekt zusammenfiel, konnte es nicht direkt beobachtet werden, aber durch Ablenkung des Strahls durch Teilreflexion an einer ebenen Glasfläche wurde festgestellt, dass das Bild der feinsten Spinnenlinie deutlich zu sehen war, obwohl das Licht, das das Bild bildete, zweimal durch drei Prismen von 60" gegangen war.

Der Apparat wurde zunächst so gedreht, dass die Richtung des Lichts beim ersten Durchgang durch das zweite Prisma der Bewegung der Erde auf ihrer Umlaufbahn entsprach. Danach wurde der Apparat so aufgestellt, dass die Richtung des Lichtes der Erdbewegung entgegengesetzt war. Wenn die Ablenkung des Strahls durch die Prismen aus diesem Grund auf dem ersten Weg vergrößert oder verkleinert wurde, würde sie auf dem Rückweg verkleinert oder vergrößert werden, und das Bild würde auf einer Seite des Objekts erscheinen. Wenn der Apparat umgedreht wurde, erschien es auf der anderen Seite. Das Experiment wurde zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt, aber es wurden nur negative Ergebnisse erzielt. Aus diesem Experiment lässt sich jedoch **nicht mit absoluter Sicherheit** schliessen, dass **der Äther** in der Nähe der Erdoberfläche mit der Erde auf ihrer Umlaufbahn **mitgeführt** wird, denn Professor Stokes[3] hat gezeigt, dass nach der Fresnelschen Hypothese die Relativgeschwindigkeit des Äthers innerhalb des Prismas zu der des Äthers ausserhalb umgekehrt proportional zum Quadrat des Brechungsindex ist und dass in diesem Fall die Abweichung durch die Bewegung des Prismas durch den Äther nicht merklich verändert wird.



Fizeau [4] , however, by observing the change of the plane of polarization of light transmitted obliquely through a series of glass plates, obtained what he supposed to be evidence of a difference in the result when the direction of the ray in space was different, and Angstrom obtained analogous results by diffraction. The writer is not aware that either of these very difficult experiments has been verified by repetition.

In another experiment of M. Fizeau, which seems entitled to greater confidence, he has observed that the propagation of light in a stream of water takes place with greater velocity in the direction in which the water moves than in the opposite direction, but that the change of velocity is less than that which would be due to the actual velocity of the water, and that the phenomenon does not occur when air is substituted for water. This experiment seems rather to verify Fresnel's theory of the aether; but the whole question of the state of the luminiferous medium near the earth, and of its connexion with gross matter, is very far as yet from being settled by experiment.

### **Function of the aether in electromagnetic phenomena.**

Faraday conjectured that, the same medium which is concerned in the propagation of light might also be the agent in electromagnetic phenomena. "For my own part," he says, "considering the relation of a vacuum to the magnetic force, and the general character of magnetic phenomena external to the magnet, I am much more inclined to the notion that in the transmission of the force there is such an action, external to the magnet, than that the effects are merely attraction and repulsion at a distance. Such an action may be a function of the aether; for it is not unlikely that, if there be an aether, it should have other uses than simply the conveyance of radiation [5]." This conjecture has only been strengthened by subsequent investigations.

Electrical energy is of two kinds, electrostatic and electrokinetic. We have reason to believe that the former depends on a property of the medium, in virtue of which an electric displacement elicits an electromotive force in the opposite direction, the electromotive force for unit displacement being inversely as the specific inductive capacity of the medium.

Fizeau[4] hat jedoch durch Beobachtung der Änderung der Polarisationssebene von Licht, das schräg durch eine Reihe von Glasplatten übertragen wurde, einen vermeintlichen Beweis für einen Unterschied im Ergebnis erhalten, wenn die Richtung des Strahls im Raum unterschiedlich war, und Angstrom hat analoge Ergebnisse durch Beugung erhalten. Dem Verfasser ist nicht bekannt, dass eines dieser sehr schwierigen Experimente durch Wiederholung verifiziert worden wäre.

In einem anderen Experiment von M. Fizeau, das mehr Vertrauen zu verdienen scheint, wurde beobachtet, dass die Ausbreitung des Lichts in einem Wasserstrom in der Richtung, in der sich das Wasser bewegt, mit grösserer Geschwindigkeit erfolgt als in der entgegengesetzten Richtung, dass aber die Änderung der Geschwindigkeit geringer ist als diejenige, die auf die tatsächliche Geschwindigkeit des Wassers zurückzuführen wäre, und dass das Phänomen nicht auftritt, wenn Luft das Wasser ersetzt. Dieses Experiment scheint eher Fresnel's Äthertheorie zu bestätigen; aber die ganze Frage des Zustandes des leuchtenden Mediums in der Nähe der Erde und seiner Verbindung mit der groben Materie ist noch weit davon entfernt, durch Experimente geklärt zu werden.

### **Funktion des Äthers bei elektromagnetischen Phänomenen.**

Faraday vermutete, dass dasselbe Medium, das an der Ausbreitung des Lichts beteiligt ist, auch für die elektromagnetischen Phänomene verantwortlich sein könnte. „Ich für meinen Teil“, sagt er, „in Anbetracht der Beziehung eines Vakuums zur magnetischen Kraft und des allgemeinen Charakters der magnetischen Phänomene ausserhalb des Magneten, bin ich viel mehr zu der Vorstellung geneigt, dass es bei der Übertragung der Kraft eine solche Wirkung gibt, ausserhalb des Magneten, als dass die Effekte lediglich Anziehung und Abstossung in einem Abstand sind. Eine solche Wirkung kann eine Funktion des Äthers sein; denn es ist nicht unwahrscheinlich, dass, wenn es einen Äther gibt, er andere Funktionen hat als nur die Übertragung von Strahlung [5].“ Diese Vermutung wurde durch spätere Untersuchungen noch bestärkt.

Es gibt zwei Arten von elektrischer Energie, die elektrostatiche und die elektrokinetische. Wir haben Grund zu der Annahme, dass die erste von einer Eigenschaft des Mediums abhängt, aufgrund derer eine elektrische Verschiebung eine elektromotorische Kraft in die entgegengesetzte Richtung auslöst, wobei die elektromotorische Kraft für die Einheit Verschiebung umgekehrt wie die spezifische induktive Kapazität des Mediums ist.

The electrokinetic energy, on the other hand, is simply the energy of the motion set up in the medium by electric currents and magnets, this motion not being confined to the wires which carry the currents, or to the magnet, but existing in every place where magnetic force can be found.

## Electromagnetic Theory of Light.

The properties of the electromagnetic medium are therefore as far as we have gone similar to those of the luminiferous medium.

But the best way to compare them is to determine the velocity with which an electromagnetic disturbance would be propagated through the medium. If this should be equal to the velocity of light, we would have strong reason to believe that the two media, occupying as they do the same space, are really identical. The data for making the calculation are furnished by the experiments made in order to compare the electromagnetic with the electrostatic system of units. The velocity of propagation of an electromagnetic disturbance in air, as calculated from different sets of data, does not differ more from the velocity of light in air, as determined by different observers, than the several calculated values of these quantities differ among each other.

If the velocity of propagation of an electromagnetic disturbance is equal to that of light in other transparent media, then in non-magnetic media the specific inductive capacity should be equal to the square of the index of refraction.

Boltzmann [6] has found that this is very accurately true for the gases which he has examined. Liquids and solids exhibit a greater divergence from this relation, but we can hardly expect even an approximate verification when we have to compare the results of our sluggish electrical experiments with the alternations of light, which take place billions of times in a second.

The undulatory theory, in the form which treats the phenomena of light as the motion of an elastic solid, is still encumbered with several difficulties. [7]

The first and most important of these is that the theory indicates the possibility of undulations consisting of vibrations normal to the surface of the wave.

Die elektrokinetische Energie hingegen ist einfach die Energie der Bewegung, die in einem Medium durch elektrische Ströme und Magnete erzeugt wird, wobei diese Bewegung nicht auf die Drähte, die die Ströme tragen, oder auf den Magneten beschränkt ist, sondern überall dort vorhanden ist, wo magnetische Kraft zu finden ist.

## Elektromagnetische Theorie des Lichts.

Die Eigenschaften des elektromagnetischen Mediums sind also, soweit wir das beurteilen können, denen des Licht-Mediums ähnlich.

Aber der beste Weg, sie zu vergleichen, ist die Bestimmung der Geschwindigkeit, mit der sich eine elektromagnetische Störung durch das Medium ausbreiten würde. Sollte diese gleich der Lichtgeschwindigkeit sein, hätten wir starken Grund zu der Annahme, dass die beiden Medien, die ja denselben Raum einnehmen, tatsächlich identisch sind. Die Daten für die Berechnung werden durch die Experimente geliefert, die zum Vergleich des elektromagnetischen mit dem elektrostatischen Einheitensystem durchgeführt wurden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Störung in der Luft, wie sie aus verschiedenen Datensätzen berechnet wurde, unterscheidet sich nicht mehr von der Lichtgeschwindigkeit in der Luft, wie sie von verschiedenen Beobachtern bestimmt wurde, als sich die verschiedenen berechneten Werte dieser Grössen untereinander unterscheiden.

Wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Störung gleich der des Lichts in anderen transparenten Medien ist, dann sollte in nichtmagnetischen Medien die spezifische induktive Kapazität gleich dem Quadrat des Brechungsindex sein.

Boltzmann [6] hat festgestellt, dass dies für die von ihm untersuchten Gase sehr genau zutrifft. Bei Flüssigkeiten und Festkörpern ist die Abweichung von dieser Beziehung grösser, aber wir können kaum eine auch nur annähernde Überprüfung erwarten, wenn wir die Ergebnisse unserer trägen elektrischen Experimente mit den milliardenfachen Perioden des Lichts pro Sekunde vergleichen müssen.

Die Wellentheorie in der Form, die die Lichterscheinungen als Bewegung eines elastischen Festkörpers behandelt, ist noch mit einigen Schwierigkeiten behaftet [7].

Die erste und wichtigste Schwierigkeit ist, dass die Theorie auf die Möglichkeit von Wellenbewegungen hinweist, die aus Schwingungen normal zur Oberfläche der Welle bestehen.

The only way of accounting for the fact that the optical phenomena which would arise from these waves do not take place is to assume that the aether is incompressible.

The next is that, whereas the phenomena of reflection are best explained on the hypothesis that the vibrations are perpendicular to the plane of polarization, those of double refraction require us to assume that the vibrations are in that plane.

The third is that, in order to account for the fact that in a doubly refracting crystal the velocity of rays in any principal plane and polarized in that plane is the same, we must assume certain highly artificial relations among the coefficients of elasticity.

The electromagnetic theory of light satisfies all these requirements by the single hypothesis [8] that the electric displacement is perpendicular to the plane of polarization. No normal displacement can exist, and in doubly refracting crystals the specific dielectric capacity for each principal axis is assumed to be equal to the square of the index of refraction of a ray perpendicular to that axis, and polarized in a plane perpendicular to that axis. Boltzmann [9] has found that these relations are approximately true in the case of crystallized sulphur, a body having three unequal axes. The specific dielectric capacity for these axes are respectively

4.773 3.970 3.811  
and the squares of the indices of refraction  
4.576 3.886 3.591

### Physical constitution of the aether.

What is the ultimate constitution of the aether? is it molecular or continuous?

We know that the aether transmits transverse vibrations to very great distances without sensible loss of energy by dissipation. A molecular medium, moving under such conditions that a group of molecules once near together remain near each other during the whole motion, may be capable of transmitting vibrations without much dissipation of energy, but if the motion is such that the groups of molecules are not merely slightly altered in configuration but entirely broken up, so that their component molecules pass into new types of grouping, then in the passage from one type of grouping to another the energy of regular vibrations will be frittered away into that of the irregular agitation which we call heat.

Die einzige Möglichkeit, die Tatsache zu erklären, dass die optischen Phänomene, die sich aus diesen Wellen ergeben würden, nicht stattfinden, besteht darin, anzunehmen, dass der Äther inkompressibel ist.

Dazu kommt: Die Phänomene der Reflexion können am besten mit der Hypothese erklärt werden, dass die Schwingungen senkrecht zur Polarisationssebene verlaufen, während wir bei der Doppelbrechung annehmen müssen, dass die Schwingungen in dieser Ebene liegen.

Drittens muss man, um die Tatsache zu erklären, dass in einem doppelt brechenden Kristall die Geschwindigkeit der Strahlen in einer beliebigen Hauptebene und in der Polarisationssebene dieselbe ist, bestimmte sehr künstliche Beziehungen zwischen den Elastizitätskoeffizienten annehmen.

Die elektromagnetische Theorie des Lichts erfüllt alle diese Anforderungen einzig durch die Hypothese [8], dass die elektrische Verschiebung senkrecht zur Polarisationssebene erfolgt. Es kann keine normale Verschiebung geben, und bei doppelt brechenden Kristallen wird angenommen, dass die spezifische dielektrische Kapazität für jede Hauptachse gleich dem Quadrat des Brechungsindex eines Strahls ist, der senkrecht zu dieser Achse steht und in einer Ebene senkrecht zu dieser Achse polarisiert ist. Boltzmann [9] hat festgestellt, dass diese Beziehungen im Fall von kristallisiertem Schwefel, einem Körper mit drei ungleichen Achsen, annähernd zutreffen. Die spezifische dielektrische Kapazität für diese Achsen ist jeweils

4.773 3.970 3.811  
und die Quadrate der Brechungsindizes  
4.576 3.886 3.591

### Physikalische Beschaffenheit des Äthers.

Wie ist die letztendliche Beschaffenheit des Äthers?  
Ist er molekular oder kontinuierlich?

Wir wissen, dass der Äther Querschwingungen über sehr grosse Entfernungen ohne spürbaren Energieverlust durch Dissipation überträgt. Ein molekulares Medium, das sich unter solchen Bedingungen bewegt, dass eine Gruppe von Molekülen, die sich einmal nahe beieinander befinden, während der gesamten Bewegung nahe beieinander bleiben, kann in der Lage sein, Schwingungen ohne grosse Energieverluste zu übertragen. Wenn die Bewegung jedoch so beschaffen ist, dass die Molekülgruppen nicht nur geringfügig in ihrer Konfiguration verändert werden, sondern sogar vollständig aufgebrochen werden, so dass ihre Teilmoleküle in neue Arten der Gruppierung übergehen, dann wird beim Übergang von einer Art der Gruppierung zu einer anderen die Energie regelmässiger Schwingungen in die der unregelmässigen Bewegung, die wir Wärme nennen, vergeudet werden.

We cannot therefore suppose the constitution of the aether to be like that of a gas, in which the molecules are always in a state of irregular agitation, for in such a medium a transverse undulation is reduced to less than one fivehundredth of its amplitude in a single wave-length.

If the aether is molecular, the grouping of the molecules must remain of the same type, the configuration of the groups being only slightly altered during the motion.

Mr S. Tolver Preston [10] has supposed that the aether is like a gas whose molecules very rarely interfere with each other, so that their mean path is far greater than any planetary distances. He has not investigated the properties of such a medium with any degree of completeness, but it is easy to see that we might form a theory in which the molecules never interfere with each other's motion of translation, but travel in all directions with the velocity of light.

Und if we further suppose that vibrating bodies have the power of impressing on these molecules some vector property (such as rotation about an axis) which does not interfere with their motion of translation, and which is then carried along by the molecules, and if the alternation of the average value of this vector for all the molecules within an element of volume be the process which we call light, then the equations which express this average will be of the same form as that which expresses the displacement in the ordinary theory.

It is often asserted that the mere fact that a medium is elastic or compressible is a proof that the medium is not continuous, but is composed of separate parts having void spaces between them. But there is nothing inconsistent with experience in supposing elasticity or compressibility to be properties of every portion, however small, into which the medium can be conceived to be divided, in which case the medium would be strictly continuous. A medium, however, though homogeneous and continuous as regards its density, may be rendered heterogeneous by its motion, as in Sir W. Thomson's hypothesis of vortex-molecules in a perfect liquid (see Art. Atom).

The aether, if it is the medium of electromagnetic phenomena, is probably molecular, at least in this sense.

Wir können daher nicht annehmen, dass die Beschaffenheit des Äthers der eines Gases gleicht, in dem sich die Moleküle stets in einem Zustand unregelmässiger Bewegung befinden, denn in einem solchen Medium reduziert sich eine transversale Welle auf weniger als ein Fünfhundertstel ihrer Amplitude in einer einzigen Wellenlänge.

Wenn der Äther molekular ist, muss die Gruppierung der Moleküle vom gleichen Typ bleiben, wobei sich die Konfiguration der Gruppen während der Bewegung nur leicht verändert.

Herr S. Tolver Preston [10] hat angenommen, dass der Äther wie ein Gas ist, dessen Moleküle sich nur sehr selten gegenseitig stören, so dass ihr mittlerer Weg weit grösser ist als alle planetarischen Entfernungen. Er hat die Eigenschaften eines solchen Mediums nicht mit jedem Grad der Vollständigkeit untersucht, aber es ist leicht zu sehen, dass wir eine Theorie bilden könnten, in der die Moleküle einander die Bewegung der Übertragung nie stören, sondern in alle Richtungen mit der Geschwindigkeit des Lichts folgen.

Und wenn wir weiter annehmen, dass vibrierende Körper die Macht haben, den Moleküle einige Vektor-Eigenschaft (z. B. Rotation um eine Achse) aufzuprägen, die in ihre Bewegung der Übertragung nicht eingreift, und die dann mit den Moleküle mitgetragen wird, und wenn die Änderung der durchschnittliche Wert dieses Vektors für alle Moleküle in einem Element des Volumens die Prozesse sind, die wir als Licht bezeichnen, dann werden die Gleichungen, die diesen Durchschnitt ausdrücken, von der gleichen Form sein, wie jene, die die Verschiebung in der normalen Theorie ausdrücken.

Es wird oft behauptet, dass die blossе Tatsache, dass ein Medium elastisch oder komprimierbar ist, ein Beweis dafür ist, dass das **Medium nicht kontinuierlich** ist, sondern aus einzelnen Teilen mit Leerräumen zwischen ihnen besteht. Es steht jedoch nicht im Widerspruch zur Erfahrung, wenn man Elastizität oder Kompressibilität als Eigenschaften **jedes noch so kleinen Teils** annimmt, in den das Medium unterteilt werden kann; in diesem Fall wäre das Medium streng kontinuierlich. Ein Medium kann jedoch, **obwohl** es hinsichtlich seiner Dichte **homogen und kontinuierlich** ist, durch seine Bewegung **heterogen gemacht werden**, wie in **Sir W. Thomsons** Hypothese der Wirbelmoleküle in einer perfekten Flüssigkeit (siehe Art. Atom).

**Der Äther ist**, wenn er das Medium der elektromagnetischen Phänomene ist, **wahrscheinlich molekular**, zumindest in diesem Sinne [**von Sir W. Thomson**].

Sir W. Thomson [11] has shown that the magnetic influence on light discovered by Faraday depends on the direction of motion of moving particles, and that it indicates a rotational motion in the medium when magnetized. See also Maxwell's Electricity and Magnetism, Art., 806, &c.

Now, it is manifest that this rotation cannot be that of the medium as a whole about an axis, for the magnetic field may be of any breadth, and there is no evidence of any motion the velocity of which increases with the distance from a single fixed line in the field. If there is any motion of rotation, it must be a rotation of very small portions of the medium each about its own axis, so that the medium must be broken up into a number of molecular vortices.

We have as yet no data from which to determine the size or the number of these molecular vortices. We know, however, that the magnetic force in the region in the neighbourhood of a magnet is maintained as long as the steel retains its magnetization.

And as we have no reason to believe that a steel magnet would lose all its magnetization by the mere lapse of time, we conclude that the molecular vortices do not require a continual expenditure of work in order to maintain their motion, and that therefore this motion does not necessarily involve dissipation of energy.

No theory of the constitution of the aether has yet been invented which will account for such a system of molecular vortices being maintained for an indefinite time without their energy being gradually dissipated into that irregular agitation of the medium which, in ordinary media, is called heat.

Whatever difficulties we may have in forming a consistent idea of the constitution of the aether, there can be no doubt that the interplanetary and interstellar spaces are not empty, but are occupied by a material substance or body, which is certainly the largest, and probably the most uniform body of which we have any knowledge.

Whether this vast homogeneous expanse of isotropic matter is fitted not only to be a medium of physical interaction between distant bodies, and to fulfil other physical functions of which, perhaps, we have as yet no conception, but also, ...

Sir W. Thomson [11] hat gezeigt, dass der von Faraday entdeckte magnetische Einfluss auf das Licht von der Bewegungsrichtung der sich bewegenden Teilchen abhängt und dass er auf eine Rotationsbewegung im Medium hinweist, wenn es magnetisiert ist. Siehe auch Maxwell's Electricity and Magnetism, Art. 806, &c.

Somit ist es offensichtlich, dass diese Rotation nicht die des gesamten Mediums um eine Achse sein kann, denn das Magnetfeld kann beliebig breit sein, und es gibt keinen Hinweis auf eine Bewegung, deren Geschwindigkeit mit dem Abstand von einer einzigen festen Linie im Feld zunimmt. Wenn es eine **Rotationsbewegung** gibt, so muss es sich um eine Rotation **von sehr kleinen Teilen** des Mediums handeln, die sich jeweils um ihre eigene Achse drehen, so dass das Medium in eine Reihe von Molekülwirbeln aufgeteilt sein muss.

Wir haben noch keine Daten, anhand derer wir die **Grösse** oder Anzahl **dieser Molekularwirbel** bestimmen könnten. Wir wissen jedoch, dass die magnetische Kraft in der Region in der Nähe eines Magneten so lange aufrechterhalten wird, wie der Stahl seine Magnetisierung beibehält.

Und da wir keinen Grund zu der Annahme haben, dass ein Stahlmagnet seine gesamte Magnetisierung durch den blossen Zeitablauf verlieren würde, schliessen wir daraus, dass die molekularen Wirbel keinen kontinuierlichen Arbeitsaufwand benötigen, um ihre Bewegung aufrechtzuerhalten, und dass diese Bewegung daher **nicht notwendigerweise** eine [bzw. **keine**] Energiezerstreuung beinhaltet.

Es ist noch keine Theorie über die Beschaffenheit des Äthers erfunden worden, die erklären würde, dass ein solches System molekularer Wirbel für eine **unbestimmte Zeit aufrechterhalten** werden kann, ohne dass sich ihre Energie allmählich in jene unregelmässige Bewegung des Mediums auflöst, die in gewöhnlichen Medien als Wärme bezeichnet wird.

Wie schwierig es auch sein mag, sich eine schlüssige Vorstellung von der Beschaffenheit des Äthers zu machen, so kann doch **kein Zweifel** daran bestehen, dass die interplanetaren und interstellaren Räume **nicht leer** sind, sondern von einer materiellen Substanz oder einem Körper eingenommen werden, der mit Sicherheit **der grösste und** wahrscheinlich auch **der einheitlichste Körper** ist, von dem wir Kenntnis haben.

Ob diese riesige homogene Ausdehnung isotroper Materie nicht nur dazu geeignet ist, ein Medium physikalischer Interaktion zwischen entfernten Körpern zu sein und andere physikalische Funktionen zu erfüllen, von denen wir vielleicht noch keine Vorstellung haben, sondern auch, ...

as the authors of the Unseen Universe seem to suggest, to constitute the material organism of beings exercising functions of life and mind as high or higher than ours are at present, is a question far transcending the limits of physical speculation. (J. C. M.)

- [1] See Sir W. Thomson, Trans. R. S. Edin. Vol. xxi. p. 60.
- [2] Phil. Trans. CLVIII. (1868), p. 532.
- [3] Phil. Mag. 1846, p. 53.
- [4] Ann. de Chimie et de Physique, Feb. 1860.
- [5] Experimental Researches, 3075.
- [6] Wiener Sitzb., 23 April, 1874.
- [7] See Prof. Stokes, "Report on Double Refraction", British Ass. Report, 1862, p. 253.
- [8] Over de theorie der terugkaatsing en hreking van het licht, — Academisch Proefschrift door H. A. Lorentz. Arnliem, K. van der Zande, 1875.
- [9] Ueber die Verschiedenheit der Dielektricitatsconstante des krystallisirten Schwefels nach verschiedenen Richtungen, by Ludwig Boltzmann, Wiener Sitzb., 8th Oct., 1874.
- [10] Phil. Mag., Sept and Nov. 1877.
- [11] Proceedings of the Royal Society, June, 1856.

### About the short life (48 y.) of James Clerk Maxwell (1831-1879).

Maxwell<sup>3</sup> was a descendant of the Clerks of Penicuik, a family prominent in Edinburgh from 1670 on, who had twice intermarried during the eighteenth century with the heiresses of the Maxwells of Middlebie, illegitimate offspring of the eighth Lord Maxwell. His father, John Clerk (Maxwell), younger brother of Sir George Clerk, M.P., inherited the Middlebie property and took the name Maxwell in consequence of some earlier legal manipulations which prevented the two family properties being held together. The estate, some 1,500 acres of farmland near Dalbeattie in Galloway (southwestern Scotland), descended to Maxwell; and much of his scientific writing was done there. Maxwell's mother was Frances Cay, daughter of R. Hodshon Cay, a member of a Northumbrian family residing in Edinburgh. She died when he was eight years old. On both parents' sides Maxwell inherited intellectual traditions connected with the law, as was common in cultivated Edinburgh families. John Clerk Maxwell had been trained as an advocate, but his chief interest was in practical, technical matters. He was a fellow of the Royal Society of Edinburgh and published one scientific paper, a proposal for an automatic-feed printing press.

<sup>3</sup>Source: [www.encyclopedia.com](http://www.encyclopedia.com) → Maxwell

wie die Autoren des Unsichtbaren Universums vorzuschlagen scheinen, den **materiellen Organismus von Wesen** bilden können, die **Lebens- und Geistesfunktionen** ausüben, die so hoch oder höher sind als die unseren.

Das ist eine Frage, die weit über die Grenzen **physikalischer** Spekulation hinausgeht. (J. C. M.)

- [1] See Sir W. Thomson, Trans. R. S. Edin. Vol. xxi. p. 60.
- [2] Phil. Trans. CLVIII. (1868), p. 532.
- [3] Phil. Mag. 1846, p. 53.
- [4] Ann. de Chimie et de Physique, Feb. 1860.
- [5] Experimental Researches, 3075.
- [6] Wiener Sitzb., 23 April, 1874.
- [7] See Prof. Stokes, "Report on Double Refraction", British Ass. Report, 1862, p. 253.
- [8] Over de theorie der terugkaatsing en hreking van het licht, — Academisch Proefschrift door H. A. Lorentz. Arnliem, K. van der Zande, 1875.
- [9] Ueber die Verschiedenheit der Dielektricitatsconstante des krystallisirten Schwefels nach verschiedenen Richtungen, by Ludwig Boltzmann, Wiener Sitzb., 8th Oct., 1874.
- [10] Phil. Mag., Sept and Nov. 1877.
- [11] Proceedings of the Royal Society, June, 1856.

### Zum kurzen Leben (48 J.) von James Clerk Maxwell (1831-1879).

Maxwell<sup>4</sup> stammte von den Clerks of Penicuik ab, einer seit 1670 in Edinburgh bekannten Familie, die im 18. Jahrhundert zweimal mit den Erbinnen der Maxwells of Middlebie, den unehelichen Nachkommen des achten Lord Maxwell, geheiratet hatte. Sein Vater, John Clerk (Maxwell), der jüngere Bruder von Sir George Clerk, M.P., erbte den Middlebie-Besitz und nahm den Namen Maxwell an, nachdem einige frühere rechtliche Manipulationen verhindert hatten, dass die beiden Familiengüter zusammen gehalten werden konnten. Das Anwesen, etwa 1.500 Morgen Ackerland in der Nähe von Dalbeattie in Galloway (Südwestschottland), ging auf Maxwell über, und ein Großteil seiner wissenschaftlichen Arbeiten wurde dort verfasst. Maxwells Mutter war Frances Cay, die Tochter von R. Hodshon Cay, einem Mitglied einer nordumbrischen Familie mit Wohnsitz in Edinburgh. Sie starb, als er acht Jahre alt war. Von beiden Seiten der Eltern erbte Maxwell intellektuelle Traditionen im Zusammenhang mit dem Recht, wie es in kultivierten Edinburgher Familien üblich war. John Clerk Maxwell war als Anwalt ausgebildet worden, doch sein Hauptinteresse galt praktischen, technischen Fragen. Er war Fellow der Royal Society of Edinburgh und veröffentlichte eine wissenschaftliche Arbeit, einen Vorschlag für eine Druckmaschine mit automatischem Vorschub.

<sup>4</sup>Quelle: [www.encyclopedia.com](http://www.encyclopedia.com) → Maxwell

Maxwell's father was a Presbyterian and his mother an Episcopalian. Maxwell himself maintained a strong Christian faith, with a strain of mysticism which has affinities with the religious traditions of the Galloway region, where he grew up.

From 1841 Maxwell attended Edinburgh Academy, where he met his lifelong friend and biographer, the Platonic scholar Lewis Campbell, and P. G. Tait. He entered Edinburgh University in 1847 and came under the influence of the physicist and alpinist James David Forbes and the metaphysician Sir William Hamilton. In 1850 he went up to Cambridge (Peterhouse one term, then Trinity), where he studied under the great private tutor William Hopkins and was also influenced by G. G. Stokes and William Whewell. He graduated second wrangler and first Smith's prizeman (bracketed equal with E. J. Routh) in 1854. He became a fellow of Trinity in 1855. Maxwell held professorships at Marischal College, Aberdeen, and King's College, London, from 1856 to 1865, when he retired from regular academic life to write his celebrated Treatise on Electricity and Magnetism and to put into effect a long-cherished scheme for enlarging his house. During the four years 1866, 1867, 1869, and 1870, he also served as examiner or moderator in the Cambridge mathematical tripos, instituting some widely praised reforms in the substance and style of the examinations. In 1871 he was appointed first professor of experimental physics at Cambridge and planned and developed the Cavendish Laboratory. On 4 July 1858 he married Katherine Mary Dewar, daughter of the principal of Marischal College and seven years his senior. They had no children. He died in 1879 at the age of forty-eight from abdominal cancer.

Maxwell's place in the history of physics is fixed by his revolutionary investigations in electromagnetism and the kinetic theory of gases, along with substantial contributions in several other theoretical and experimental fields: (1) color vision, (2) the theory of Saturn's rings, (3) geometrical optics, (4) photoelasticity, (5) thermodynamics, (6) the theory of servomechanisms (governors), (7) viscoelasticity, (8) reciprocal diagrams in engineering structures, and (9) relaxation processes.

He wrote four books and about one hundred papers. He was **joint scientific editor** with T. H. Huxley **of the famous ninth edition of the Encyclopaedia Britannica**, to which he contributed many articles.

His grasp of both the history and the philosophy of science was exceptional, as may be seen from the interesting philosophical asides in his original papers and from his general writings. His Unpublished Electrical Researches of the Hon. Henry Cavendish (1879) is a classic of scientific editing, with a unique series of notes on investigations suggested by Cavendish's work.<sup>5</sup>

Maxwells Vater war Presbyterianer und seine Mutter Episkopale. Maxwell selbst vertrat einen starken christlichen Glauben mit einem Hang zum Mystizismus, der mit den religiösen Traditionen der Region Galloway, wo er aufwuchs, verwandt ist.

Ab 1841 besuchte Maxwell die Edinburgh Academy, wo er seinen lebenslangen Freund und Biografen, den Platoniker Lewis Campbell, und P. G. Tait kennenlernte. 1847 trat er in die Universität Edinburgh ein und geriet unter den Einfluss des Physikers und Alpinisten James David Forbes und des Metaphysikers Sir William Hamilton. Im Jahr 1850 ging er nach Cambridge (ein Semester in Peterhouse, dann in Trinity), wo er bei dem großen Privatlehrer William Hopkins studierte und auch von G. G. Stokes und William Whewell beeinflusst wurde. Er schloss sein Studium 1854 als zweiter Wrangler und erster Smith's Prizeman (gleichrangig mit E. J. Routh) ab. 1855 wurde er Stipendiat der Trinity University. Von 1856 bis 1865 hatte Maxwell Professuren am Marischal College, Aberdeen, und am King's College, London, inne. Dann zog er sich aus dem regulären akademischen Leben zurück, um seine berühmte Abhandlung über Elektrizität und Magnetismus zu schreiben und ein lang gehegtes Projekt zur Vergrößerung seines Hauses in die Tat umzusetzen. Während der vier Jahre 1866, 1867, 1869 und 1870 war er auch als Prüfer oder Moderator der mathematischen Prüfungen in Cambridge tätig und führte einige weithin gelobte Reformen in Inhalt und Stil der Prüfungen ein. Im Jahr 1871 wurde er zum ersten Professor für Experimentalphysik in Cambridge ernannt und plante und entwickelte das Cavendish Laboratory. Am 4. Juli 1858 heiratete er Katherine Mary Dewar, die Tochter des Direktors des Marischal College und sieben Jahre älter als er. Sie hatten keine Kinder. Er starb 1879 im Alter von achtundvierzig Jahren an einem Unterleibskrebs.

Maxwells Platz in der Geschichte der Physik ist durch seine revolutionären Untersuchungen zum Elektromagnetismus und zur kinetischen Theorie der Gase sowie durch seine bedeutenden Beiträge auf mehreren anderen theoretischen und experimentellen Gebieten gesichert: (1) Farbensehen, (2) die Theorie der Saturnringe, (3) geometrische Optik, (4) Photoelastizität, (5) Thermodynamik, (6) die Theorie der Servomechanismen (Regler), (7) Viskoelastizität, (8) reziproke Diagramme in technischen Strukturen und (9) Relaxationsprozesse.

Er verfasste vier Bücher und etwa einhundert Abhandlungen. Er war **gemeinsam** mit T. H. Huxley **wissenschaftlicher Herausgeber der berühmten neunten Ausgabe der Encyclopaedia Britannica**, zu der er zahlreiche Artikel beisteuerte.

Sein Verständnis sowohl für die Geschichte und Philosophie der Wissenschaft war außergewöhnlich, wie aus den interessanten philosophischen Randbemerkungen in seinen Originalarbeiten und aus seinen allgemeinen Schriften hervorgeht. Seine Unpublished Electrical Researches of the Hon. Henry Cavendish (1879) ist ein Klassiker der wissenschaftlichen Edition, mit einer einzigartigen Reihe von Anmerkungen zu Untersuchungen, die durch Cavendishs Arbeit angeregt wurden.

<sup>5</sup>Source: [www.encyclopedia.com](http://www.encyclopedia.com) → Maxwell