

Ether and the Theory of Relativity	The collected papes of Albert Einstein
Aula inaugural proferida em 05/05/1920 na Universidade de Leyden	http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol7-doc/
	Original em alemão: Volume 7: The Berlin Years: Writings, 1918-1921 Page 308
	http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol7-doc/356
<p>Nesta palestra Einstein apresenta o conceito de éter, sua evolução histórica e o impacto das suas Teorias da Relatividade Restrita e Geral nos conceitos clássicos, newtoniano, maxwelliano, hertziano e machiano de éter luminífero.</p> <p>Ele apresenta uma discussão epistemológica do conceito de éter traçando um paralelo que leva o leitor à apresentação do conceito einsteiniano.</p> <p>Einstein contrapõe a visão mística herdada dos gregos por Newton, a visão mecanicista inconciliável com a visão eletromagnética de Maxwell, Hertz e outros, a tentativa de redefinição do conceito por Ernst Mach, ainda incapaz de unificar o entendimento das grandes visões da física do século XIX, a mecânica e a eletromagnética.</p> <p>Einstein finaliza sua aula, concedendo uma licença semântica, reafirmando que o Éter Luminífero, ou meio material para propagação da interação eletromagnética, é supérfluo, mas que ainda poder-se-ia falar em “Éter da Teoria da Relatividade” como as características físicas do espaço-tempo . Ao final da palestra ele assim se expressou:</p> <p><i>Recapitulando, podemos dizer que de acordo com a Teoria Geral da Relatividade, o espaço é dotado de qualidades físicas; nesse sentido, portanto, existe um éter. (...) Mas este éter não pode ser pensado como dotado da qualidade característica de meio ponderável, como consistindo de partes que podem ser rastreadas através do tempo. A idéia de movimento pode não ser aplicada a ele.</i></p> <p>Nota-se então que de forma alguma Einstein abdicou das suas teorias, tampouco admitiu que o conceito do Éter Material, superado pela Teoria da Relatividade Restrita que explicou os resultados negativos dos experimentos de detecção do vento de éter (como os experimentos de Michelson-Morley), houvesse voltado às suas considerações.</p> <p>Ele finalizou sua aula especulando que a discussão sobre a realidade do éter (não esqueçamos que falamos do ano de 1920) haveria de ser mais bem endereçada com a evolução dos incipientes conceitos de Física Quântica de Campos. Uma especulação brilhante que anteviu um campo teórico que só alcançaria sua maturidade 27 anos após esta palestra.</p> <p style="text-align: right;">Prof. Jacques Homme</p>	
Tradução para o Inglês	Tradução para o Português
<p>How does it come about that alongside of the idea of ponderable matter, which is derived by abstraction from everyday life, the physicists set the idea of the existence of another kind of matter, the ether?</p> <p>The explanation is probably to be sought in those phenomena which have given rise to the theory of action at a distance, and in the properties of light which have led to the undulatory theory. Let us devote a little while to the consideration of these two subjects.</p>	<p>Como acontece com a ideia de matéria ponderável, que é derivada da abstração da vida cotidiana, os físicos colocam a ideia da existência de outro tipo de matéria, o éter?</p> <p>É provável que a explicação seja procurada nos fenômenos que deram origem à teoria da ação à distância e nas propriedades da luz que levaram à teoria ondulatória. Deixemos um pouco de tempo para a consideração desses dois assuntos.</p>
<p>Outside of physics we know nothing of action at a distance. When we try to connect cause and effect in the experiences which natural objects afford us, it seems at first as if there were no other mutual actions than those of immediate contact, e.g. the communication of motion by impact, push and pull, heating or inducing combustion by means of a flame, etc. It is true that even in everyday experience weight, which is in a sense action at a distance, plays a very important part.</p>	<p>Fora da física, não sabemos nada de ação à distância. Quando tentamos conectar a causa e o efeito nas experiências que os objetos naturais nos proporcionam, parece primeiro como se não houvesse outras ações mútuas do que as de contato imediato, por exemplo a comunicação de movimento por impacto, empurrando e puxando, aquecendo ou induzindo combustão por meio de uma chama, etc. E isto é verdade mesmo para o peso na experiência cotidiana, que em um sentido de ação à distância, desempenha um papel muito importante.</p>
<p>But since in daily experience the weight of bodies</p>	<p>Mas, como na experiência diária, o peso dos corpos nos parece</p>

<p>meets us as something constant, something not linked to any cause which is variable in time or place, we do not in everyday life speculate as to the cause of gravity, and therefore do not become conscious of its character as action at a distance.</p> <p>It was Newton's theory of gravitation that first assigned a cause for gravity by interpreting it as action at a distance, proceeding from masses.</p> <p>Newton's theory is probably the greatest stride ever made in the effort towards the causal nexus of natural phenomena. And yet this theory evoked a lively sense of discomfort among Newton's contemporaries, because it seemed to be in conflict with the principle springing from the rest of experience, that there can be reciprocal action only through contact, and not through immediate action at a distance.</p>	<p>algo constante, algo não vinculado a qualquer causa que seja variável no tempo ou no lugar, na vida cotidiana especulamos sobre a causa da gravidade e, portanto, não nos tornamos conscientes de seu caráter como ação à distância.</p> <p>Foi a teoria da gravitação de Newton que primeiro atribuiu uma causa para a gravidade ao interpretá-la como uma ação à distância, proveniente de massas.</p> <p>A teoria de Newton é provavelmente o maior passo já feito no esforço para estabelecer o nexos causal dos fenômenos naturais. E, no entanto, essa teoria provocou uma viva sensação de desconforto entre os contemporâneos de Newton, porque parecia estar em conflito com o princípio decorrente do resto da experiência, que só pode haver ação recíproca exclusivamente através do contato e não através de uma ação instantânea à distância.</p>
<p>It is only with reluctance that man's desire for knowledge endures a dualism of this kind. How was unity to be preserved in his comprehension of the forces of nature?</p> <p>Either by trying to look upon contact forces as being themselves distant forces which admittedly are observable only at a very small distance and this was the road which Newton's followers, who were entirely under the spell of his doctrine, mostly preferred to take; or by assuming that the Newtonian action at a distance is only apparently immediate action at a distance, but in truth is conveyed by a medium permeating space, whether by movements or by elastic deformation of this medium.</p> <p>Thus the endeavour toward a unified view of the nature of forces leads to the hypothesis of an ether. This hypothesis, to be sure, did not at first bring with it any advance in the theory of gravitation or in physics generally, so that it became customary to treat Newton's law of force as an axiom not further reducible.</p> <p>But the ether hypothesis was bound always to play some part in physical science, even if at first only a latent part.</p>	<p>É somente com relutância que o desejo de conhecimento do homem persiste em um dualismo desse tipo. Como a unidade foi preservada em sua compreensão das forças da natureza?</p> <p>Ou tentando considerar as forças de contato como forças de ação a distância que são reconhecidamente observáveis apenas a uma distância muito pequena. Essa foi a estrada que a maioria dos seguidores de Newton (que estavam inteiramente encantados pela sua doutrina) preferiram tomar, assumindo que a ação newtoniana à distância apenas parece ser ação instantânea à distância, mas que na verdade é transmitida, seja por movimentos ou pela deformação elástica, por um meio permeando todo o espaço.</p> <p>Assim, o esforço para uma visão unificada da natureza das forças levou à hipótese de um éter.</p> <p>Esta hipótese, com certeza, não trouxe, em primeiro lugar, qualquer avanço na teoria da gravitação ou da física em geral, de modo que se tornou costumeiro tratar a lei da força de Newton como um axioma irredutível.</p> <p>Mas a hipótese do éter era obrigada a desempenhar alguma função na ciência física, mesmo que, no início, apenas uma função latente.</p>
<p>When in the first half of the nineteenth century the far-reaching similarity was revealed which subsists between the properties of light and those of elastic waves in ponderable bodies, the ether hypothesis found fresh support.</p> <p>It appeared beyond question that light must be interpreted as a vibratory process in an elastic, inert medium filling up universal space.</p> <p>It also seemed to be a necessary consequence of the fact that light is capable of polarization that this medium, the ether, must be of the nature of a solid</p>	<p>Quando na primeira metade do século XIX, a semelhança de grande alcance foi estabelecida entre as propriedades da luz e das de ondas elásticas em meios materiais, a hipótese do éter encontrou novo apoio.</p> <p>Parecia indiscutível que a luz deveria ser interpretada como um processo vibratório em um meio inerte elástico que preenchia todo o espaço.</p> <p>Também parecia ser uma consequência necessária do fato de que a luz pode ser polarizada que este meio, o éter, deveria ter natureza de um corpo sólido, pois ondas transversais não são possíveis em um fluidos, mas apenas em um sólidos.</p>

<p>body, because transverse waves are not possible in a fluid, but only in a solid.</p> <p>Thus the physicists were bound to arrive at the theory of the "quasi-rigid" luminiferous ether, the parts of which can carry out no movements relatively to one another except the small movements of deformation which correspond to light-waves.</p>	<p>Assim, os físicos foram obrigados a chegar à teoria do éter luminífero quase rígido, cujas partes não podem realizar nenhum movimento em relação a outras partes, exceto pelos pequenos movimentos de deformação que correspondem a ondas de luz.</p>
<p>This theory also called the theory of the stationary luminiferous ether moreover found a strong support in an experiment which is also of fundamental importance in the special theory of relativity, the experiment of Fizeau, from which one was obliged to infer that the luminiferous ether does not take part in the movements of bodies. The phenomenon of aberration also favoured the theory of the quasi-rigid ether.</p>	<p>Esta teoria, chamada a teoria do éter luminífero estacionário, também encontrou um forte apoio em um experimento que também foi de fundamental importância na teoria da relatividade especial, o experimento de Fizeau, do qual obrigatoriamente inferiria que o éter luminífero não participaria dos movimentos dos corpos. O fenômeno da aberração também favorecia a teoria do éter quase rígido.</p>
<p>The development of the theory of electricity along the path opened up by Maxwell and Lorentz gave the development of our ideas concerning the ether quite a peculiar and unexpected turn.</p> <p>For Maxwell himself the ether indeed still had properties which were purely mechanical, although of a much more complicated kind than the mechanical properties of tangible solid bodies.</p> <p>But neither Maxwell nor his followers succeeded in elaborating a mechanical model for the ether which might furnish a satisfactory mechanical interpretation of Maxwell's laws of the electromagnetic field.</p> <p>The laws were clear and simple, the mechanical interpretations clumsy and contradictory.</p> <p>Almost imperceptibly the theoretical physicists adapted themselves to a situation which, from the standpoint of their mechanical programme, was very depressing.</p> <p>They were particularly influenced by the electro-dynamical investigations of Heinrich Hertz. For whereas they previously had required of a conclusive theory that it should content itself with the fundamental concepts which belong exclusively to mechanics (e.g. densities, velocities, deformations, stresses) they gradually accustomed themselves to admitting electric and magnetic force as fundamental concepts side by side with those of mechanics, without requiring a mechanical interpretation for them.</p> <p>Thus the purely mechanical view of nature was gradually abandoned. But this change led to a fundamental dualism which in the long run was insupportable. A way of escape was now sought in the reverse direction, by reducing the principles of mechanics to those of electricity, and this especially</p>	<p>O desenvolvimento da teoria da eletricidade no caminho aberto por Maxwell e Lorentz propiciou que nossas ideias sobre o éter tomassem um rumo bastante peculiar e inesperado. Para o próprio Maxwell o éter ainda tinha propriedades que eram puramente mecânicas, embora de um tipo muito mais complicado do que as propriedades mecânicas dos corpos sólidos tangíveis.</p> <p>Mas nem Maxwell nem seus seguidores conseguiram elaborar um modelo mecânico para o éter que pudesse fornecer uma interpretação mecânica satisfatória das leis de Maxwell do campo eletromagnético.</p> <p>As leis eram claras e simples, as interpretações mecânicas eram desajeitadas e contraditórias.</p> <p>Quase imperceptivelmente, os físicos teóricos se adaptaram a uma situação que, do ponto de vista do seu programa mecânico, era muito desestimulante.</p> <p>Eles foram particularmente influenciados pelas investigações eletrodinâmicas de Heinrich Hertz. Embora tenham demandado uma teoria conclusiva que contivesse os conceitos fundamentais pertencentes exclusivamente à mecânica (por exemplo, densidades, velocidades, deformações, tensões), eles gradualmente se acostumaram a admitir a força elétrica e magnética como conceitos fundamentais lado a lado com os da mecânica, sem exigir uma interpretação mecânica para eles.</p> <p>Assim, a visão puramente mecânica da natureza foi gradualmente abandonada. Mas essa mudança levou a um dualismo fundamental que, a longo prazo, era insuportável. A alternativa agora era procurada na direção inversa, reduzindo os princípios da mecânica para os da eletricidade, e isso se deveu especialmente a que a estrita validade das equações da mecânica de Newton ter sido abalada pelas experiências com raios beta e raios catódicos rápidos.</p>

<p>as confidence in the strict validity of the equations of Newton's mechanics was shaken by the experiments with b-rays and rapid kathode rays.</p>	
<p>This dualism still confronts us in unextenuated form in the theory of Hertz, where matter appears not only as the bearer of velocities, kinetic energy, and mechanical pressures, but also as the bearer of electromagnetic fields.</p> <p>Since such fields also occur in vacuo i.e. in free ether the ether also appears as bearer of electromagnetic fields.</p> <p>The ether appears indistinguishable in its functions from ordinary matter. Within matter it takes part in the motion of matter and in empty space it has everywhere a velocity; so that the ether has a definitely assigned velocity throughout the whole of space. There is no fundamental difference between Hertz's ether and ponderable matter (which in part subsists in the ether).</p>	<p>Este dualismo ainda reside de forma injustificada na teoria de Hertz, onde a matéria aparece não apenas como portadora de velocidades, energia cinética e pressões mecânicas, mas também como portadora de campos eletromagnéticos.</p> <p>Uma vez que tais campos também ocorrem no vácuo (isto é, no Éter livre) o Éter também aparece como portador de campos eletromagnéticos.</p> <p>O Éter parece indistinguível em suas funções da matéria ordinária. Dentro da matéria, ela faz parte do movimento da matéria e no espaço vazio tem em toda parte uma velocidade; de modo que o éter tenha uma velocidade definitivamente atribuída em todo o espaço. Não há diferença fundamental entre o éter de Hertz e a matéria ponderável (que em parte subsiste no Éter).</p>
<p>The Hertz theory suffered not only from the defect of ascribing to matter and ether, on the one hand mechanical states, and on the other hand electrical states, which do not stand in any conceivable relation to each other; it was also at variance with the result of Fizeau's important experiment on the velocity of the propagation of light in moving fluids, and with other established experimental results.</p>	<p>A teoria de Hertz sofreu não só pelo defeito de atribuir à matéria e ao éter, por um lado estados mecânicos e, por outro lado, estados elétricos, não mantendo nenhuma relação conceitual entre si; mas também porque estava em desacordo com o resultado do importante experimento de Fizeau sobre a velocidade da propagação da luz nos fluidos em movimento e com outros resultados experimentais estabelecidos.</p>
<p>Such was the state of things when H. A. Lorentz entered upon the scene.</p> <p>He brought theory into harmony with experience by means of a wonderful simplification of theoretical principles.</p> <p>He achieved this, the most important advance in the theory of electricity since Maxwell, by taking from ether its mechanical, and from matter its electromagnetic qualities.</p> <p>As in empty space, so too in the interior of material bodies, the ether, and not matter viewed atomistically, was exclusively the seat of electromagnetic fields.</p> <p>According to Lorentz the elementary particles of matter alone are capable of carrying out movements; their electromagnetic activity is entirely confined to the carrying of electric charges. Thus Lorentz succeeded in reducing all electromagnetic happenings to Maxwell's equations for free space.</p>	<p>Este fora o estado de coisas quando H. A. Lorentz entrou na cena.</p> <p>Ele conseguiu que a teoria estivesse em harmonia com a experiência por meio de uma maravilhosa simplificação de princípios teóricos.</p> <p>Ele conseguiu isso, o avanço mais importante na teoria da eletricidade desde Maxwell, eliminando o éter do escopo mecânico, e da matéria suas qualidades eletromagnéticas.</p> <p>Como no espaço vazio, assim também no interior dos corpos materiais, o éter, e não a matéria examinada atômicamente, era exclusivamente o suporte dos campos eletromagnéticos.</p> <p>Segundo Lorentz, as partículas elementares da matéria sozinhas são capazes de realizar movimentos; sua atividade eletromagnética é inteiramente confinada ao carregamento de cargas elétricas. Assim, Lorentz conseguiu reduzir todos os acontecimentos eletromagnéticos às equações de Maxwell para o espaço livre.</p>
<p>As to the mechanical nature of the Lorentzian ether, it may be said of it, in a somewhat playful spirit, that immobility is the only mechanical property of which it has not been deprived by H. A. Lorentz. It may be added that the whole change in the</p>	<p>Quanto à natureza mecânica do éter Lorentziano, pode-se dizer isso, de um modo um tanto jocoso, que a imobilidade é a única propriedade mecânica de que não foi privado por H. A. Lorentz. Pode-se acrescentar que toda a mudança na concepção do éter que a teoria da relatividade especial</p>

<p>conception of the ether which the special theory of relativity brought about, consisted in taking away from the ether its last mechanical quality, namely, its immobility. How this is to be understood will forthwith be expounded.</p>	<p>provocou, consistiu em retirar do éter sua última qualidade mecânica, ou seja, sua imobilidade. Como isso deve ser entendido será imediatamente exposto.</p>
<p>The space-time theory and the kinematics of the special theory of relativity were modelled on the Maxwell-Lorentz theory of the electromagnetic field.</p> <p>This theory therefore satisfies the conditions of the special theory of relativity, but when viewed from the latter it acquires a novel aspect.</p> <p>For if K be a system of co-ordinates relatively to which the Lorentzian ether is at rest, the Maxwell-Lorentz equations are valid primarily with reference to K.</p> <p>But by the special theory of relativity the same equations without any change of meaning also hold in relation to any new system of co-ordinates K' which is moving in uniform translation relatively to K.</p> <p>Now comes the anxious question: Why must I in the theory distinguish the K system above all K' systems, which are physically equivalent to it in all respects, by assuming that the ether is at rest relatively to the K system?</p> <p>For the theoretician such an asymmetry in the theoretical structure, with no corresponding asymmetry in the system of experience, is intolerable. If we assume the ether to be at rest relatively to K, but in motion relatively to K', the physical equivalence of K and K' seems to me from the logical standpoint, not indeed downright incorrect, but nevertheless unacceptable.</p>	<p>A teoria do espaço-tempo e a cinemática da teoria da relatividade especial foram modeladas na teoria Maxwell-Lorentz do campo eletromagnético.</p> <p>Esta teoria, portanto, satisfaz as condições da teoria da relatividade especial, mas, quando vista a partir desta última, adquire um aspecto novo.</p> <p>Se K é um sistema de coordenadas relativamente ao qual o éter Lorentziano está em repouso, as equações de Maxwell-Lorentz são válidas principalmente com referência a K.</p> <p>Mas, pela teoria da relatividade especial, as mesmas equações sem qualquer alteração de significado também possuem em relação a qualquer novo sistema de coordenadas K' que está se movendo em translação uniforme em relação a K.</p> <p>Agora vem a questão angustiante: Por que eu deveria, na teoria, distinguir o sistema K acima de todos os sistemas K', que são fisicamente equivalentes a ele em todos os aspectos, assumindo que o éter está em repouso relativamente ao sistema K?</p> <p>Para o (físico) teórico, uma assimetria na estrutura teórica, sem assimetria correspondente no sistema de experiência, é intolerável.</p> <p>Se assumimos que o éter está em repouso em relação a K, mas em movimento em relação a K', a equivalência física de K e K' a mim parece do ponto de vista lógico, na verdade, não totalmente incorreta, no entanto, (totalmente) inaceitável.</p>
<p>The next position which it was possible to take up in face of this state of things appeared to be the following. The ether does not exist at all. The electromagnetic fields are not states of a medium, and are not bound down to any bearer, but they are independent realities which are not reducible to anything else, exactly like the atoms of ponderable matter.</p> <p>This conception suggests itself the more readily as, according to Lorentz's theory, electromagnetic radiation, like ponderable matter, brings impulse and energy with it, and as, according to the special theory of relativity, both matter and radiation are but special forms of distributed energy, ponderable mass losing its isolation and appearing as a special form of energy.</p>	<p>A próxima posição que foi possível enfrentar em face desse estado de coisas pareceu ser a seguinte. O éter não existe. Os campos eletromagnéticos não são estados de um meio, e não estão ligados a qualquer portador, mas são realidades independentes que não são redutíveis a qualquer outra coisa, exatamente como os átomos da matéria ponderável.</p> <p>Essa concepção sugere-se mais prontamente como, segundo a teoria de Lorentz, radiação eletromagnética, como matéria ponderável, traz impulso e energia com ela, e como, segundo a teoria da relatividade especial, a matéria e a radiação são apenas formas especiais de energia distribuída, massa ponderável perdendo seu isolamento e aparecendo como uma forma especial de energia.</p>
<p>More careful reflection teaches us, however, that the special theory of relativity does not compel us to deny ether.</p>	<p>Uma reflexão mais cuidadosa nos ensina, no entanto, que a teoria da relatividade especial não nos obriga a negar o éter.</p>

<p>We may assume the existence of an ether; only we must give up ascribing a definite state of motion to it, i.e. we must by abstraction take from it the last mechanical characteristic which Lorentz had still left it.</p> <p>We shall see later that this point of view, the conceivability of which shall at once endeavour to make more intelligible by a somewhat halting comparison, is justified by the results of the general theory of relativity.</p>	<p>Podemos assumir a existência de um éter; só devemos desistir de atribuir um estado de movimento definitivo, isto é, devemos, por abstração, tirar dela a última característica mecânica que Lorentz ainda deixara.</p> <p>Mais tarde, veremos que este ponto de vista, cuja concepção deve imediatamente se esforçar para tornar mais inteligível por uma comparação um tanto parada, é justificado pelos resultados da teoria geral da relatividade.</p>
<p>Think of waves on the surface of water.</p> <p>Here we can describe two entirely different things. Either we may observe how the undulatory surface forming the boundary between water and air alters in the course of time; or else with the help of small floats, for instance we can observe how the position of the separate particles of water alters in the course of time.</p> <p>If the existence of such floats for tracking the motion of the particles of a fluid were a fundamental impossibility in physics if, in fact, nothing else whatever were observable than the shape of the space occupied by the water as it varies in time, we should have no ground for the assumption that water consists of movable particles. But all the same we could characterize it as a medium.</p>	<p>Pensemos em ondas na superfície da água.</p> <p>Aqui podemos descrever duas coisas inteiramente diferentes. Ou podemos observar como a superfície ondulatória que forma a fronteira entre água e ar altera-se ao longo do tempo; ou, com a ajuda de pequenos flutuadores, por exemplo, podemos observar como a posição das partículas separadas de água altera ao longo do tempo.</p> <p>Se a existência de tais flutuadores para rastrear o movimento das partículas de um fluido fosse uma impossibilidade fundamental na física se, de fato, nada mais fosse observável do que a forma do espaço ocupado pela água, pois varia no tempo, devemos não ter fundamento para a suposição de que a água é constituída por partículas móveis, mas poderíamos caracterizá-la como um meio.</p>
<p>We have something like this in the electromagnetic field. For we may picture the field to ourselves as consisting of lines of force. If we wish to interpret these lines of force to ourselves as something material in the ordinary sense, we are tempted to interpret the dynamic processes as motions of these lines of force, such that each separate line of force is tracked through the course of time. It is well known, however, that this way of regarding the electromagnetic field leads to contradictions.</p>	<p>Temos algo assim no campo eletromagnético. Pois podemos imaginar o campo como consistindo em linhas de força. Se desejamos interpretar essas linhas de força como algo material no sentido comum, somos tentados a interpretar os processos dinâmicos como movimentos dessas linhas de força, de modo que cada linha de força separada seja rastreada ao longo do tempo. Contudo, é bem conhecido que essa maneira de considerar o campo eletromagnético leva a contradições.</p>
<p>Generalizing we must say this: There may be supposed to be extended physical objects to which the idea of motion cannot be applied. They may not be thought of as consisting of particles which allow themselves to be separately tracked through time.</p> <p>In Minkowski's idiom this is expressed as follows: Not every extended conformation in the four-dimensional world can be regarded as composed of worldthreads.</p> <p>The special theory of relativity forbids us to assume the ether to consist of particles observable through time, but the hypothesis of ether in itself is not in conflict with the special theory of relativity.</p> <p>Only we must be on our guard against ascribing a state of motion to the ether.</p>	<p>Generalizando devemos dizer isso: Pode se supor objetos físicos aos quais a ideia de movimento não pode ser aplicada. Eles podem não ser pensados como constituídos de partículas que se permitem ser rastreadas separadamente através do tempo.</p> <p>Na linguagem de Minkowski, isso é expresso da seguinte maneira: nem toda conformação estendida no mundo de quatro dimensões pode ser considerada como composta por "worldthreads" (trajetórias).</p> <p>A teoria da relatividade especial proíbe-nos de assumir que o éter consiste em partículas observáveis através do tempo, mas a hipótese do éter em si não está em conflito com a teoria da relatividade especial.</p> <p>Somente nós devemos evitar atribuir um estado de movimento ao éter.</p>

<p>Certainly, from the standpoint of the special theory of relativity, the ether hypothesis appears at first to be an empty hypothesis. In the equations of the electromagnetic field there occur, in addition to the densities of the electric charge, only the intensities of the field.</p> <p>The career of electromagnetic processes in vacuo appears to be completely determined by these equations, uninfluenced by other physical quantities.</p> <p>The electromagnetic fields appear as ultimate, irreducible realities, and at first it seems superfluous to postulate a homogeneous, isotropic ether-medium, and to envisage electromagnetic fields as states of this medium.</p>	<p>Certamente, do ponto de vista da teoria da relatividade especial, a hipótese do éter parece ser, em primeiro lugar, uma hipótese vazia. Nas equações do campo eletromagnético ocorrem, além das densidades da carga elétrica, apenas as intensidades do campo.</p> <p>A evolução dos processos eletromagnéticos no vácuo parece ser completamente determinada por essas equações, não influenciadas por outras quantidades físicas.</p> <p>Os campos eletromagnéticos aparecem como as últimas realidades irreduzíveis e, a princípio, parece supérfluo postular um éter como meio homogêneo e isotrópico e prever os campos eletromagnéticos como estados desse meio.</p>
<p>But on the other hand there is a weighty argument to be adduced in favour of the ether hypothesis. To deny the ether is ultimately to assume that empty space has no physical qualities whatever.</p> <p>The fundamental facts of mechanics do not harmonize with this view.</p> <p>For the mechanical behaviour of a corporeal system hovering freely in empty space depends not only on relative positions (distances) and relative velocities, but also on its state of rotation, which physically may be taken as a characteristic not appertaining to the system in itself. In order to be able to look upon the rotation of the system, at least formally, as something real, Newton objectivises space.</p> <p>Since he classes his absolute space together with real things, for him rotation relative to an absolute space is also something real.</p> <p>Newton might no less well have called his absolute space "Ether"; what is essential is merely that besides observable objects, another thing, which is not perceptible, must be looked upon as real, to enable acceleration or rotation to be looked upon as something real.</p>	<p>Mas, por outro lado, há um argumento de peso a ser aduzido em favor da hipótese do éter. Para negar o éter deve-se em última instância, assumir que o espaço vazio não possui qualidades físicas.</p> <p>Os fatos fundamentais da mecânica não se harmonizam com essa visão.</p> <p>O comportamento mecânico de um sistema material que flui livremente no espaço vazio, depende não apenas das posições relativas (distâncias) e das velocidades relativas, mas também do seu estado de rotação, que fisicamente pode ser tomado como uma característica que não pertence ao sistema em si. Para poder considerar a rotação do sistema, pelo menos formalmente como algo real, Newton objetiza o espaço.</p> <p>Uma vez que ele classifica seu espaço absoluto junto com coisas reais, para ele, a rotação em relação a um espaço absoluto também é algo real.</p> <p>Newton poderia não menos bem ter chamado seu espaço absoluto "Éter"; o essencial é meramente que, além dos objetos observáveis, outra coisa, que não é perceptível, deve ser vista como real, para permitir que a aceleração ou a rotação sejam vistas como algo real.</p>
<p>It is true that Mach tried to avoid having to accept as real something which is not observable by endeavouring to substitute in mechanics a mean acceleration with reference to the totality of the masses in the universe in place of an acceleration with reference to absolute space.</p> <p>But inertial resistance opposed to relative acceleration of distant masses presupposes action at a distance; and as the modern physicist does not believe that he may accept this action at a distance, he comes back once more, if he follows Mach, to the ether, which has to serve as medium for the effects of inertia.</p>	<p>É verdade que Mach tentou evitar ter de aceitar algo real que não fosse observável, tentando substituir na mecânica uma aceleração média com referência à totalidade das massas no universo em lugar de uma aceleração com referência ao espaço absoluto.</p> <p>Mas a resistência inercial contra a aceleração relativa de massas distantes pressupõe ação à distância; e como o físico moderno não acredita que ele possa aceitar esta ação à distância, ele volta mais uma vez, segundo Mach, para o éter, que deve servir como meio para os efeitos da inércia.</p> <p>Mas essa concepção do éter a que somos levados pelo modo de pensar de Mach difere essencialmente do éter, tal como foi</p>

<p>But this conception of the ether to which we are led by Mach's way of thinking differs essentially from the ether as conceived by Newton, by Fresnel, and by Lorentz.</p> <p>Mach's ether not only conditions the behaviour of inert masses, but is also conditioned in its state by them.</p>	<p>concebido por Newton, por Fresnel e por Lorentz.</p> <p>O éter de Mach não só condiciona o comportamento de massas inertes, mas também está condicionado pelo seu estado.</p>
<p>Mach's idea finds its full development in the ether of the general theory of relativity.</p> <p>According to this theory the metrical qualities of the continuum of space-time differ in the environment of different points of space-time, and are partly conditioned by the matter existing outside of the territory under consideration.</p> <p>This space-time variability of the reciprocal relations of the standards of space and time, or, perhaps, the recognition of the fact that "empty space" in its physical relation is neither homogeneous nor isotropic, compelling us to describe its state by ten functions (the gravitation potentials g), has, I think, finally disposed of the view that space is physically empty.</p> <p>But therewith the conception of the ether has again acquired an intelligible content, although this content differs widely from that of the ether of the mechanical undulatory theory of light.</p> <p>The ether of the general theory of relativity is a medium which is itself devoid of all mechanical and kinematical qualities, but helps to determine mechanical (and electromagnetic) events.</p>	<p>A ideia de Mach encontra seu pleno desenvolvimento no éter da teoria geral da relatividade.</p> <p>De acordo com esta teoria, as qualidades métricas do continuum do espaço-tempo diferem no ambiente de diferentes pontos do espaço-tempo e estão parcialmente condicionadas pela matéria existente fora do território considerado.</p> <p>Essa variabilidade espaço-tempo das relações recíprocas dos padrões de espaço e de tempo, ou, talvez, o reconhecimento do fato de que o "espaço vazio" na sua relação física não é homogêneo nem isotrópico, obrigou-nos a descrever seu estado por dez funções (os potenciais de gravidade g), pensando-se, finalmente, que descartaria a visão de que o espaço é fisicamente vazio.</p> <p>Mas com isso a concepção do éter adquiriu novamente um conteúdo inteligível, embora este conteúdo difere amplamente daquele do éter da teoria ondulatória mecânica da luz.</p> <p>O éter da teoria geral da relatividade é um meio que é desprovido de todas as qualidades mecânicas e cinemáticas, mas ajuda a determinar eventos mecânicos (e eletromagnéticos).</p>
<p>What is fundamentally new in the ether of the general theory of relativity as opposed to the ether of Lorentz consists in this, that the state of the former is at every place determined by connections with the matter and the state of the ether in neighbouring places, which are amenable to law in the form of differential equations,; whereas the state of the Lorentzian ether in the absence of electromagnetic fields is conditioned by nothing outside itself, and is everywhere the same.</p> <p>The ether of the general theory of relativity is transmuted conceptually into the ether of Lorentz if we substitute constants for the functions of space which describe the former, disregarding the causes which condition its state.</p> <p>Thus we may also say, I think, that the ether of the general theory of relativity is the outcome of the Lorentzian ether, through relativation.</p>	<p>O que é fundamentalmente novo no éter da teoria geral da relatividade em oposição ao éter de Lorentz consiste nisso, que o estado do primeiro é em todo lugar determinado pelas conexões com a matéria e o estado do éter em lugares vizinhos, e são passíveis de lei na forma de equações diferenciais; considerando que o estado do éter Lorentziano na ausência de campos eletromagnéticos está condicionado por nada fora de si, e é em todos os lugares o mesmo.</p> <p>O éter da teoria geral da relatividade é transmutado conceitualmente no éter de Lorentz se substituirmos constantes para as funções do espaço que descrevem o primeiro, desconsiderando as causas que condicionam seu estado.</p> <p>Assim, também podemos dizer, penso eu, que o éter da teoria geral da relatividade é o resultado do éter Lorentziano, através da relativização.</p>
<p>As to the part which the new ether is to play in the physics of the future we are not yet clear. We know</p>	<p>Quanto à parte que o novo éter deve desempenhar na física do futuro, ainda não estamos claros. Sabemos que determina as</p>

<p>that it determines the metrical relations in the space-time continuum, e.g. the configurative possibilities of solid bodies as well as the gravitational fields; but we do not know whether it has an essential share in the structure of the electrical elementary particles constituting matter.</p> <p>Nor do we know whether it is only in the proximity of ponderable masses that its structure differs essentially from that of the Lorentzian ether; whether the geometry of spaces of cosmic extent is approximately Euclidean. But we can assert by reason of the relativistic equations of gravitation that there must be a departure from Euclidean relations, with spaces of cosmic order of magnitude, if there exists a positive mean density, no matter how small, of the matter in the universe. In this case the universe must of necessity be spatially unbounded and of finite magnitude, its magnitude being determined by the value of that mean density..</p>	<p>relações métricas no continuum espaço-tempo, e. as possibilidades configuráveis de corpos sólidos, bem como os campos gravitacionais; mas não sabemos se tem uma participação essencial na estrutura das partículas elétricas elementares que constituem matéria.</p> <p>Nem sabemos se é apenas na proximidade de massas ponderáveis que sua estrutura difere essencialmente da do éter Lorentziano; se a geometria de espaços de extensão cósmica é aproximadamente euclidiana. Mas podemos afirmar, por meio das equações relativísticas da gravitação, que deve haver uma separação das relações euclidianas, com espaços de ordem cósmica de magnitude, se existir uma densidade média positiva, não importa quão pequena, da matéria no universo. Neste caso, o universo deve, necessariamente, ser espacialmente ilimitado e de magnitude finita, sendo sua magnitude determinada pelo valor dessa densidade média.</p>
<p>If we consider the gravitational field and the electromagnetic field from the standpoint of the ether hypothesis, we find a remarkable difference between the two. There can be no space nor any part of space without gravitational potentials; for these confer upon space its metrical qualities, without which it cannot be imagined at all. The existence of the gravitational field is inseparably bound up with the existence of space. On the other hand a part of space may very well be imagined without an electromagnetic field; thus in contrast with the gravitational field, the electromagnetic field seems to be only secondarily linked to the ether, the formal nature of the electromagnetic field being as yet in no way determined by that of gravitational ether. From the present state of theory it looks as if the electromagnetic field, as opposed to the gravitational field, rests upon an entirely new formal motif, as though nature might just as well have endowed the gravitational ether with fields of quite another type, for example, with fields of a scalar potential, instead of fields of the electromagnetic type.</p>	<p>Se considerarmos o campo gravitacional e o campo eletromagnético do ponto de vista da hipótese do éter, encontramos uma diferença notável entre os dois. Não pode haver espaço nem qualquer parte do espaço sem potenciais gravitacionais; pois estes conferem ao espaço suas qualidades métricas, sem as quais não pode ser imaginado. A existência do campo gravitacional está inseparavelmente ligada à existência do espaço. Por outro lado, uma parte do espaço pode muito bem ser imaginada sem um campo eletromagnético; assim, em contraste com o campo gravitacional, o campo eletromagnético parece ser apenas secundariamente ligado ao éter, sendo a natureza formal do campo eletromagnético ainda não determinada de modo algum pelo éter gravitacional. Do estado atual da teoria parece que o campo eletromagnético, em oposição ao campo gravitacional, se baseia em um motivo formal inteiramente novo, como se a natureza também tivesse dotado o éter gravitacional com campos de outro tipo, por exemplo, com campos de potencial escalar, em vez de campos do tipo eletromagnético.</p>
<p>Since according to our present conceptions the elementary particles of matter are also, in their essence, nothing else than condensations of the electromagntic field, our present view of the universe presents two realities which are completely separated from each other conceptually, although connected causally, namely, gravitational ether and electromagnetic field, or as they might also be called space and matter.</p>	<p>Uma vez que, segundo as nossas concepções atuais, as partículas elementares da matéria também são, em sua essência, nada além das condensações do campo eletromagnético, nossa visão atual do universo apresenta duas realidades completamente separadas entre si conceitualmente, embora relacionadas causalmente, ou seja, , éter gravitacional e campo eletromagnético, ou como eles também podem ser chamados de espaço e matéria.</p>
<p>Of course, it would be a great advance if we could succeed in comprehending the gravitational field and the electromagnetic field together as one unified conformation.</p> <p>Then for the first time the epoch of theoretical physics founded by Faraday and Maxwell would reach a satisfactory conclusion. The contrast between ether and matter would fade away, and, through the</p>	<p>Evidentemente seria um grande avanço se pudéssemos ter sucesso em compreender o campo gravitacional e o campo eletromagnético em conjunto como uma conformação unificada.</p> <p>Então, pela primeira vez, a época da física teórica fundada por Faraday e Maxwell alcançaria uma conclusão satisfatória. O contraste entre éter e matéria desapareceria e, através da teoria geral da relatividade, toda a física se tornaria um sistema</p>

<p>general theory of relativity, the whole of physics would become a complete system of thought, like geometry, kinematics, and the theory of gravitation.</p> <p>An exceedingly ingenious attempt in this direction has been made by the mathematician H. Weyl.; but I do not believe that his theory will hold its ground in relation to reality.</p> <p>Further, in contemplating the immediate future of theoretical physics we ought not unconditionally to reject the possibility that the facts comprised in the quantum theory may set bounds to the field theory beyond which it cannot pass.</p>	<p>completo de pensamento, como geometria, cinemática e a teoria da gravitação.</p> <p>Uma tentativa extremamente engenhosa nessa direção foi feita pelo matemático H. Weyl; mas eu não acredito que sua teoria fará seu fundamento em relação à realidade.</p> <p>Além disso, ao contemplar o futuro imediato da física teórica, não devemos incondicionalmente rejeitar a possibilidade de que os fatos incluídos na teoria quântica possam estabelecer limites para a teoria do campo além da qual não pode passar.</p>
<p>Recapitulating, we may say that according to the general theory of relativity space is endowed with physical qualities; in this sense, therefore, there exists an ether.</p> <p>According to the general theory of relativity space without ether is unthinkable; for in such space there not only would be no propagation of light, but also no possibility of existence for standards of space and time (measuring-rods and clocks), nor therefore any space-time intervals in the physical sense.</p> <p>But this ether may not be thought of as endowed with the quality characteristic of ponderable media, as consisting of parts which may be tracked through time. The idea of motion may not be applied to it.</p>	<p>Recapitulando, podemos dizer que de acordo com a teoria geral da relatividade, o espaço é dotado de qualidades físicas; nesse sentido, portanto, existe um éter.</p> <p>De acordo com a teoria geral da relatividade, o espaço sem éter é impensável; pois, em tal espaço, não só não haveria propagação de luz, mas também nenhuma possibilidade de existência para padrões de espaço e tempo (varas de medição e relógios), nem, portanto, intervalos espaço-tempo no sentido físico.</p> <p>Mas este éter não pode ser pensado como dotado da qualidade característica de meio ponderável, como consistindo de partes que podem ser rastreadas através do tempo. A idéia de movimento pode não ser aplicada a ele.</p>