

# **Einstein, divulgador científic**

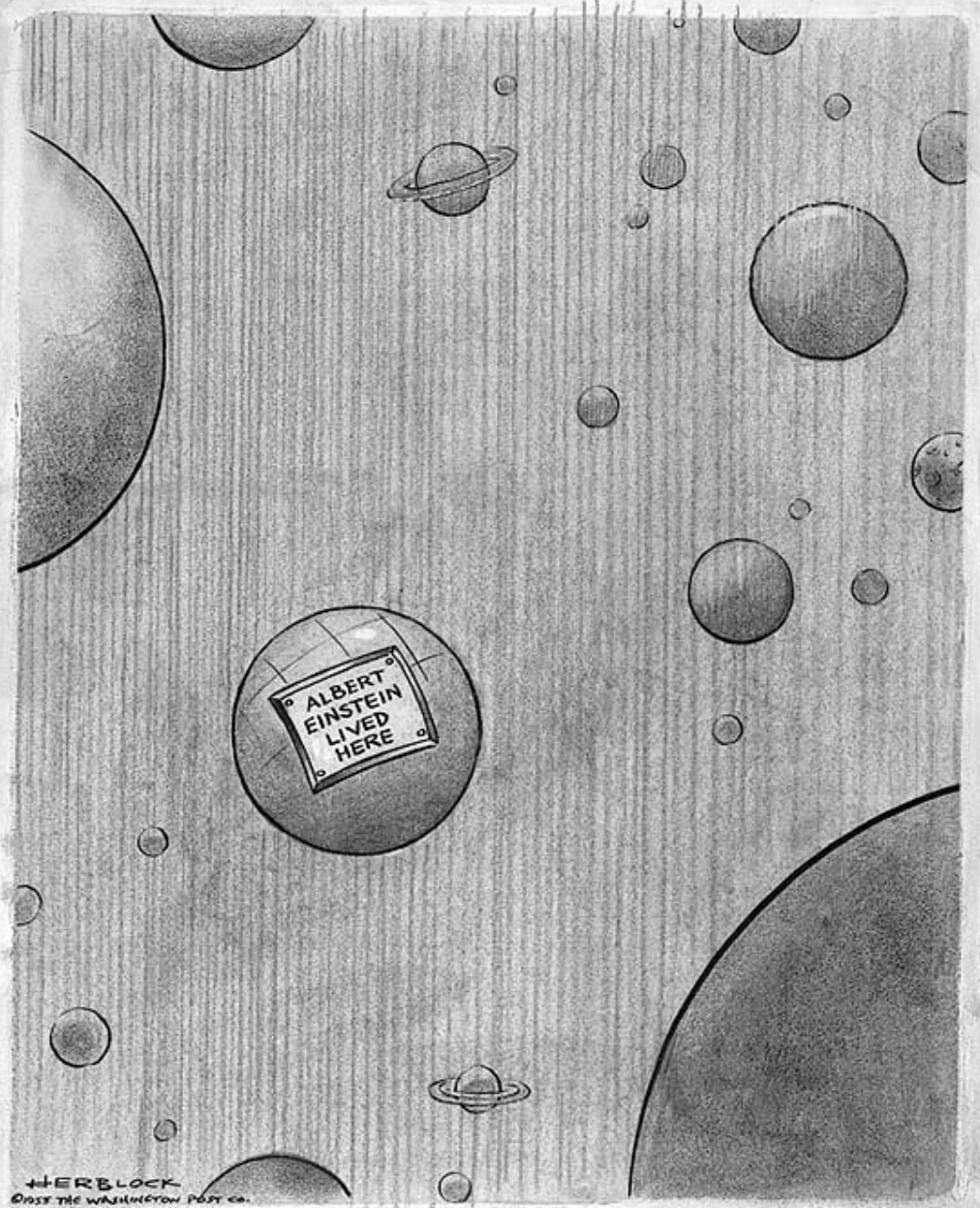
Setmana de la Ciència '04  
UPC, 10 de novembre de 2004

**Xavier Roqué**

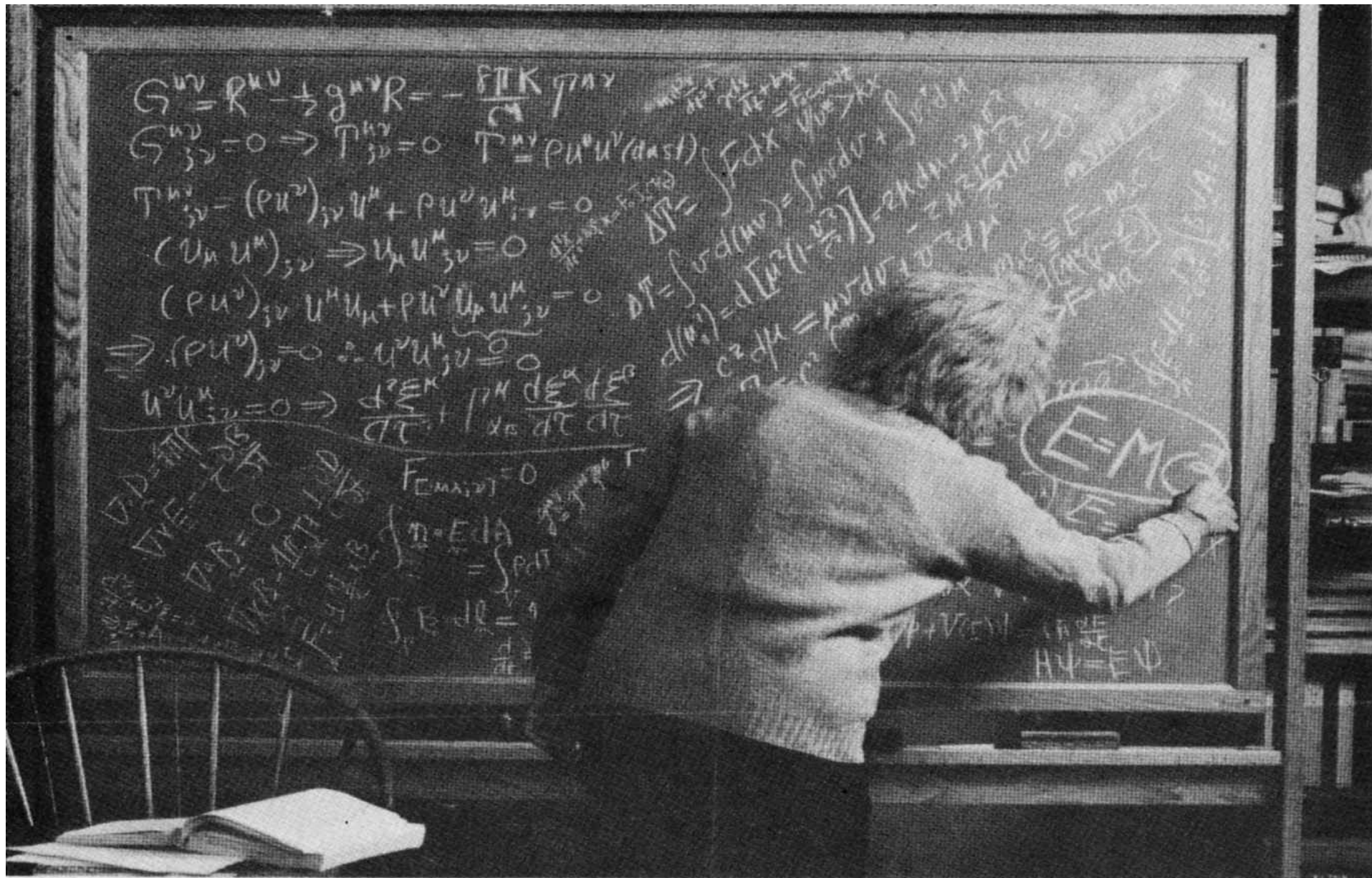
Centre d'Estudis d'Història de les Ciències (CEHIC)

Universitat Autònoma de Barcelona

<http://www.uab.es/cehic/>



HERBLOCK  
DOTT THE WASHINGTON POST CO.



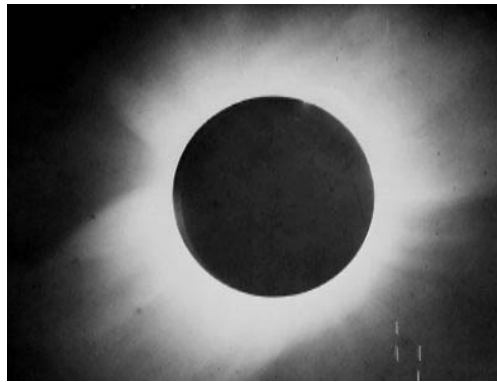
**WITH OUR ARRAY PROCESSING MINIS,  
ALBERT WOULD HAVE DISCOVERED RELATIVITY  
AND STILL HAD TIME TO EXPLAIN IT.**

## L'obra de divulgació d'Einstein

«Vom Relativitäts-prinzip», *Vossische Zeitung*, 26-4-1914

«Die Relativitätstheorie», *Die Kultur der Gegenwart*, 1915

*Sobre la teoria de la relativitat especial i general* (1917)



«My theory», *The Times* (Londres) 28-11-1919

*The Meaning of Relativity* (1921)

*L'evolució de la física* (amb Leopold Infeld, 1938)

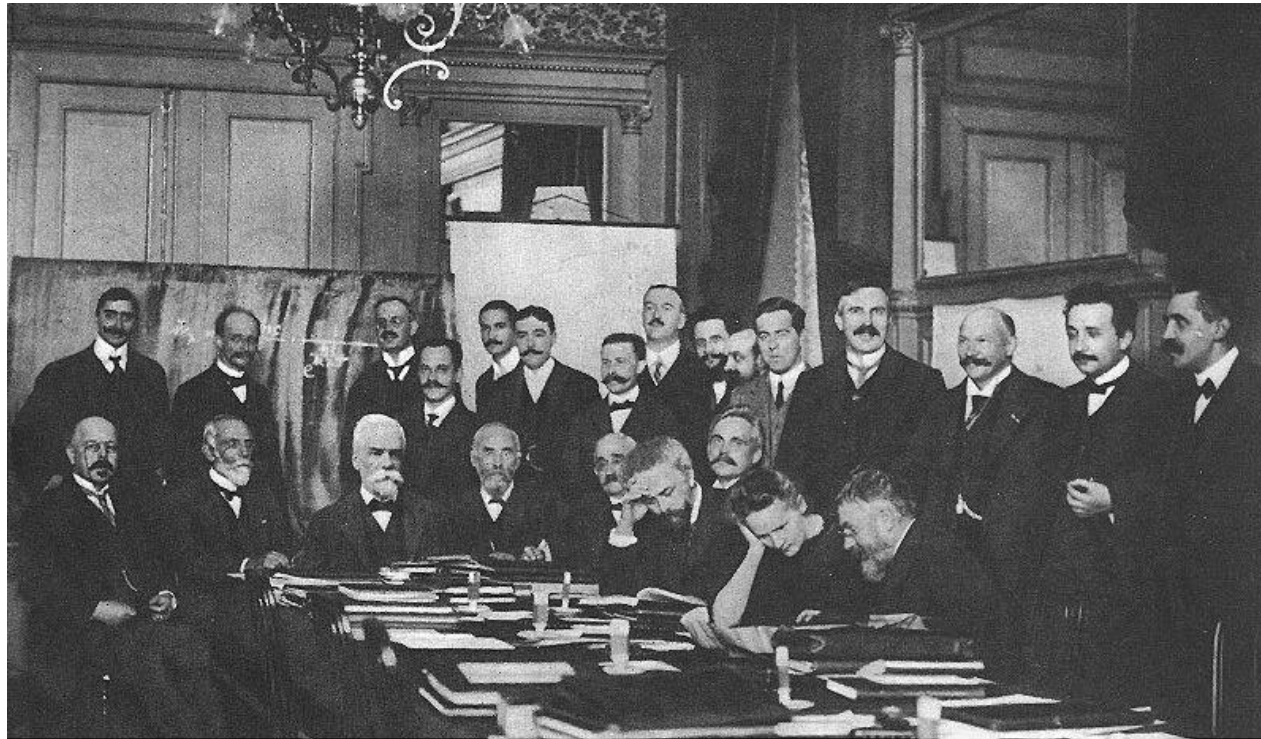
*Mi visión del mundo* (1934)

*Mis ideas y opiniones* (1954)

1905



# 1r congrés Solvay, Brussel.les, 1911



GOLDSCHMIDT    PLANCK    RUBENS    LINDEMANN    HASENDHRL  
NERNST    BRILLOUIN    SOMMERFELD    M. DE BROGLIE    HOSTELET  
SOLVAY    LORENTZ    KNUDSEN    HERZEN    JEANS    RUTHERFORD  
WARBURG    WIEN    Madame CURIE    POINCARÉ    KAMERLINGH ONNES    EINSTEIN    LANGEVIN  
PERRIN



# Vom Relativitäts-Prinzip.

Von

Prof. Dr. A. Einstein,

Mitglied der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften.

Die Redaktion der „Vossischen Zeitung“ fordert mich auf, einiges aus meinem Arbeitsgebiet für ihren Leserkreis zu erzählen. Dieser Aufforderung komme ich gern nach. Denn wenn auch ein tieferer Einblick in die Relativitätstheorie ohne Aufwendung erheblicher Mühe nicht zu erzielen ist, mag es doch auch für den Fernerstehenden reizvoll sein, einiges über Methode und Ergebnisse dieses neuen Zweiges theoretischer Forschung zu erfahren.

Schon eine oberflächliche Analyse der Vorgänge, die wir als Bewegung bezeichnen, lehrt uns, daß wir nur relative Bewegungen der Dinge gegeneinander wahrzunehmen vermögen. Wir sitzen in einem Eisenbahnwagen und sehen neben uns (auf dem benachbarten Gleis) einen anderen Wagen, der sich an uns vorbei bewegt. Sehen wir vom Mitteln des Wagens ab, so haben wir zunächst kein Mittel, um zu entscheiden, ob beide Wagen „in Wirklichkeit“ bewegt sind. Wir konstatieren nur, daß sich die relative Lage beider Wagen mit der Zeit ändert. Auch wenn wir noch auf die neben der Bahn liegenden Telegraphenstangen achten, ändert sich an dieser Situation nichts Wesentliches. Denn wenn wir für gewöhnlich die Telegraphenstangen (und den Erdboden) als „ruhend“ bezeichnen und jeden relativ zu ihnen bewegten Gegenstand schlecht hin „bewegt“ nennen, so ist dies nur eine für gewöhnlich bequeme Ausdrucksweise ohne tiefere Bedeutung. Ein in einem „bewegten“ Eisenbahnwagen befindlicher Beobachter wird seinen Wahrnehmungen genau ebenso gerecht, wenn er ausruft, der Wagen ruhe, der Boden aber nebst den Telegraphenstangen sei in Bewegung.

Die Physiker haben im Laufe der Zeit gefunden, daß dieser Charakter der Bewegung, rein relativ zu sein, nicht nur der primitiven Wahrnehmung zuzuschreiben ist, sondern, daß wir von Dingen, die relativ zueinander (gleichförmig) bewegt sind, jedes mit demselben Rechte als „ruhend“ bezeichnen können wie jedes andere. Denken wir uns wieder den gleichförmig auf gradliniger Bahn dahinabfahrenden Wagen. Seine Fenster seien luft- und lichtdicht geschlossen; Schienen und Räder seien absolut glatt. In dem Wagen befinde sich ein Physiker, der mit allen erdenklichen Apparaten ausgestattet sei. Dann wissen wir, daß alle Versuche, welche der Physiker ausführt, absolut genau so ausfallen, wie wenn der Wagen nicht bezw. mit anderer Geschwindigkeit fahren würde. Diese Aussage ist es im wesentlichen, welche von den Physikern als „Relativitätsprinzip“ bezeichnet wird. Man kann dies Prinzip etwas allgemeiner auch so ausdrücken: „Die Naturgesetze, welche ein Beobachter wahrnimmt, erweisen sich als von dessen Bewegungszustande unabhängig.“

Diese Aussage klingt harmlos und selbstverständlich. Sie hätte niemals die Menschen aufgeregt, wenn nicht die Gesetze von der Ausbreitung des Lichts, zu welchem die neuere Entwicklung der Elektrodynamik führte, mit diesem Prinzip scheinbar unvereinbar wären. Die Erscheinungen der Licht bewegter Körper führen nämlich zu der Auffassung, daß das Licht sich im leeren Raum stets mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzt, ganz unabhängig vom Bewegungszustande der Lichtquelle. Dies Resultat scheint nun aber im Widerspruch zu sein mit dem vorhin genannten Relativitätsprinzip. Denn wenn sich ein Lichtstrahl relativ zu einem Beobachter mit der genannten Geschwindigkeit fortpflanzt, so scheint es, daß relativ zu einem Beobachter, der selbst in Richtung der Lichtfortpflanzung sich in Bewegung befindet, die Geschwindigkeit desselben Lichtstrahles eine geringere sei als relativ zu dem erstgenannten Beobachter. Wäre dem aber wirklich so, so würde im Widerspruch mit dem oben dargelegten Relativitätsprinzip das Gesetz der Lichtfortpflanzung im Vakuum für relativ zueinander gleichförmig bewegte Beobachter nicht dasselbe sein.

Hier setzt nun die Relativitätstheorie ein. Sie zeigt, daß das Gesetz der Konstanz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit für relativ zueinander bewegte Beobachter gleichzeitig erfüllt werden kann, bezart, daß ein und derselbe Lichtstrahl gegenüber allen diesen Beobachtern dieselbe Geschwindigkeit zeigt.

Die Möglichkeit einer derartigen, zunächst paradox scheinenden Auffassung erkennt man aus einer eingehenderen Analyse der

physikalischen Bedeutung räumlicher und zeitlicher Aussagen. Besonders wichtig ist hierbei die Erkenntnis der Relativität des Begriffes der Gleichzeitigkeit. Bis zur Aufstellung der Relativitätstheorie glaubte man nämlich, daß der Aussage, es seien zwei an verschiedenen Orten stattfindende Ereignisse gleichzeitig, ein bestimmter Sinn zuläuge, ohne daß man den Begriff der Gleichzeitigkeit besonders zu definieren brauche. Eine genauere Untersuchung, welche auf eine Definition der Gleichzeitigkeit nicht verzichtet, zeigt aber, daß die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse nicht absolut, sondern nur in bezug auf einen Beobachter von gegebenem Bewegungszustande definiert werden kann. Es ergibt sich, daß zwei Ereignisse, welche in bezug auf einen Beobachter gleichzeitig sind, in bezug auf einen relativ zu diesem bewegten zweiten Beobachter im allgemeinen nicht gleichzeitig sind. Das bedeutet eine fundamentale Aenderung unserer Auffassung von der Zeit. (Es ist dies der wichtigste und zugleich unrichtigste Satz der neuen Relativitätstheorie. Eine eingehende Erörterung der erkenntnistheoretischen und naturphilosophischen Voraussetzungen und Folgerungen, die sich aus ihrem Grundprinzip ergeben, ist an dieser Stelle unmöglich. Wer ihre genauere Begründung und Rechtfertigung ohne schwierige mathematische Ableitungen kennen zu lernen wünscht, findet in der Schrift von E. Cohn „Physikalisches über Raum und Zeit“ sowie in dem Aufsatz von Jos. Bergsdorf „Die Relativitätstheorie der Physik“ im neuesten Heft der „Zeitschrift für positivistische Philosophie“ ausreichende Belehrung.)

Indem man das Ergebnis von der Konstanz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit mit dem Relativitätsprinzip vereinigt, gelangt man auf rein deduktivem Wege zu der Theorie, die heute als „Relativitätstheorie“ bezeichnet wird. Diese Theorie hat sich als Hilfsmittel für die theoretische Reduktion von Naturgesetzen bereits bewährt. Ihre Bedeutung liegt darin, daß sie eine Verbindung liefert, der jedes allgemeine Naturgesetz zu genügen hat. Denn sie lehrt, daß das Geschehen in der Natur berart ist, daß die Gesetze nicht abhängen vom Bewegungszustande des Beobachters, auf den die Erscheinungen räumlich und zeitlich bezogen werden.

Von den Hauptergebnissen der Relativitätstheorie seien hier zwei erwähnt, die auch den Laien interessieren müssen. Das erste derselben liegt darin, daß die Hypothese von der Existenz eines raumerfüllenden, der Lichtfortpflanzung dienenden Mediums, des Lichtäthers, fallen gelassen werden muß. Das Licht erscheint nach dieser Theorie nicht mehr als Bewegungszustand eines unbekanntem Trägers, sondern als physikalisches Geschehen, dem eine durchaus selbständige physikalische Existenz zuzuschreiben ist. Zweitens ergibt die Theorie, daß die Trägheit eines Körpers keine absolut unveränderliche Konstante ist, sondern mit dem Energie-Inhalte wächst. Die wichtigen Erhaltungssätze von der Masse und von der Energie verschmelzen so zu einem einzigen Satz: die Energie eines Körpers ist zugleich bestimmend für die Masse desselben.

Ist die im vorigen skizzierte Relativitätstheorie im wesentlichen fertig oder stellt sie nur einen ersten Schritt einer weitergehenden Entwicklung dar? Hierüber sind die Ansichten auch derjenigen Physiker, welche die Relativitätstheorie schufen, noch geteilt. Es sprechen aber jedenfalls gewichtige Argumente für die letztere Auffassung. Oben wurde gesagt, daß die Naturgesetze für einen „gleichförmig bewegten“ Beobachter genau dieselben sind wie für einen „ruhenden“. D. h. es ist für den Beobachter unmöglich, irgendwelche Kriterien aufzustellen, nach denen er entscheiden könnte, ob er sich im Zustand der Ruhe oder im Zustande gleichförmiger Bewegung befindet; „Ruhe“ und „gleichförmige Bewegung“ sind physikalisch gleichwertig. Da drängt sich die Frage auf, ob dies Prinzip der Relativität auf die gleichförmige Bewegung beschränkt ist. Sind nicht vielleicht die Naturgesetze so beschaffen, daß sie für zwei Beobachter auch dann übereinstimmen, wenn diese relativ zueinander in ungleichförmiger Bewegung sind? Es hat sich in den letzten Jahren ergeben, daß sich eine derartige Erweiterung der Relativitätstheorie durchführen läßt, und daß sie auf eine allgemeine Theorie der Gravitation führt, welche die Newtonsche Theorie als erste Annäherung enthält. Nach dieser Theorie erfahren die Lichtstrahlen in einem Gravitationsfelde eine Krümmung, die zwar sehr gering, aber der astronomischen Messung gerade noch zugänglich wäre. Die Zukunft wird lehren, ob diese verallgemeinerte Relativitätstheorie, welche in erkenntnistheoretischer Beziehung sehr befriedigend ist, der Wirklichkeit entspricht.

«Sobre el principi de relativitat»  
Vossische Zeitung, 1914

«Encara que no és possible formar-se una visió completa de la teoria de la relativitat sense un esforç considerable, aquells que la contemplen de lluny poden tanmateix fer-se una idea dels mètodes i resultats d'aquesta nova branca de la investigació teòrica»

Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die im Nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als "Relativitätstheorie" bezeichneten Theorie, die nicht im folgenden, <sup>als erste von der ersten</sup> speziellen Relativitätstheorie und setze sie als bekannt voraus. Diese Verallgemeinerung wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen <sup>Koordinaten</sup> und der Zeitkoordinate hier erkannt und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel lagen fertig bereit in dem "absoluten Differentialkalkül", welcher auf den Forschungen von Gauss, ~~und~~ Riemann und Christoffel über nicht-euklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits ~~für~~ auf Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei den Physikern nicht als bekannt vorausgesetzten mathematischen Hilfsmittel ~~entwikkelt~~ <sup>entwickelt</sup> in möglichst einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, sodass ein Studierender mathematischer Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung nicht erforderliche ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann gedacht, der mir ~~ich~~ durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Durchlesen nach den Feldgleichungen der Gravitation ~~unterstützte~~ <sup>unterstützte</sup>.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Das spezielle Relativitätstheorie <sup>Postulat</sup> liegt ~~im~~ <sup>folgendes</sup> Postulat zugrunde, welches auch durch die Galilei-Newton'sche Mechanik George geleistet wird: Wird ein Koordinatensystem  $K$  so gewählt, dass in bezug auf dasselbe die physikalischen Gesetze in ihrer einfachsten Form gelten, so gelten dieselben Gesetze auch in bezug auf jedes andere Koordinatensystem  $K'$ , das relativ zu  $K$  in gleichförmiger Translationsbewegung begriffen ist. Das Postulat nennen wir  $R_0$  "spezielles Relativitätsprinzip". Durch das Wort "speziell" soll angedeutet werden, dass das Prinzip auf dem



# Proximitat temporal entre investigació i divulgació

«[Si no escric un llibre de divulgació sobre relativitat] la teoria no serà entesa, encara que en el fons és molt senzilla»  
Einstein a Michele Besso (3-1-1916)

Divulgació per la divulgació?  
Legitimació i formació integral (*Bildung*)

finden, d. h. einen Wert der kleiner ist als  $\pi$ , und zwar umso erheblicher, je grösser der Radius des Kreises <sup>im Vergleich</sup> zum Radius  $R$  der "Kugelwelt" ist. Aus dieser Beziehung können die Kugelgeschöpfe den Radius  $R$  ihrer Welt bestimmen, auch wenn ihnen nur ein relativ geringer Teil <sup>ihres</sup> der Kugelwelt für ihre Messungen zur Verfügung steht. Ist aber dieser Teil <sup>so</sup> klein, so können sie <sup>schon</sup> nicht mehr konstatieren, dass sie sich auf einer Kugelwelt und nicht auf einer <sup>ebenen</sup> befinden; ein kleines Stück einer Kugelfläche unterscheidet sich ~~von~~ wenig von einem gleich grossen Stück einer Ebene.

A. Einstein Archive  
1-005

Wenn also die Kugelgeschöpfe auf einem Planeten wohnen, dessen Sonnensystem nur einen verschwindend kleinen Teil der Kugelwelt einnimmt, so haben sie keine Möglichkeit, <sup>den</sup> zu entscheiden, ob sie in einer endlichen Welt oder einer unendlichen Welt leben, weil das Stück Welt, was ~~ihnen~~ ihrer Erfahrung <sup>zugänglich</sup> ist, in beiden Fällen geometrisch eben, bzw. euklidisch ist.

~~Wenn wir von der~~ Die Anschauung zeigt unmittelbar, dass für unsere Kugelgeschöpfe der Kreisumfang mit dem Radius gemächert wächst, und dann bis zum "Weltumfang" wächst, und dann bei noch weiter wachsendem Radius allmählich wieder bis zu null abzunehmen. Die Kreisfläche wächst dabei immer mehr, bis sie schlussendlich gleich wird der Gesamtfläche der ganzen Kugelwelt.

Vielleicht wird sich der Leser wundern, dass wir unsere Geschöpfe gerade auf eine Kugel und nicht auf eine andere geschlossene Fläche gesetzt haben. Aber dies hat seine Berechtigung, weil die Kugel durch die Eigenschaft gegenüber allen anderen geschlossenen Flächen durch die Eigenschaft ausgezeichnet ist, dass all ihre Punkte gleichwertig sind. Das Verhältnis ~~des~~ <sup>des</sup> Umfangs ~~zu~~ <sup>zu</sup> einer Kreisfläche ~~ist~~ <sup>ist</sup> ~~ein~~ <sup>ein</sup> ~~von~~ <sup>von</sup> ~~dem~~ <sup>dem</sup> Radius  $r$  ist zwar von  $r$  abhängig, aber bei gegebenem  $r$  für alle Kugeln Punkte der Kugelwelt desgleichen, die Kugelwelt ist eine "Fläche konstanter Krümmung".

Es gibt zu dieser zweidimensionalen Kugelwelt ein dreidimensionales Analogon, welches der dreidimensionalen sphärischen Raum, welcher von ~~dem~~ <sup>dem</sup> ~~dreidimensionalen~~ <sup>dreidimensionalen</sup> sphärischen Raum entdeckt worden ist. Seine Punkte sind ebenfalls alle von ~~dem~~ <sup>dem</sup> ~~gleichen~~ <sup>gleichen</sup> ~~Art~~ <sup>Art</sup> und bilden ein endliches Volumen, welches durch seinen ~~Umfang~~ <sup>Umfang</sup> ~~als~~ <sup>als</sup> ~~einen~~ <sup>einen</sup> ~~sphärischen~~ <sup>sphärischen</sup> ~~Raum~~ <sup>Raum</sup> ~~entdeckt~~ <sup>entdeckt</sup> ~~wurde~~ <sup>wurde</sup>.

*La teoria de la relativitat a l'abast  
de tothom*  
Berlín, 1917

# Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie

(Gemeinverständlich)

Von

A. EINSTEIN

Mit 3 Figuren



Braunschweig

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn

1917

# Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

Text especialitzat o popular? El tren de les 7h

«Si volem descriure el moviment d'un punt material, donem els valors de les seves coordenades en funció del temps. Fixem-nos, però, que aquesta descripció matemàtica només té un sentit físic si abans s'ha aclarit què s'ha d'entendre per temps. Hem de tenir en compte que tot judici en què intervé el temps és sempre un judici sobre esdeveniments simultanis. Si dic, per exemple, "el tren arriba aquí a les 7 hores", el que vull dir si fa no fa és que "el pas de l'agulla petita del meu rellotge pel 7 i l'arribada del tren són esdeveniments simultanis"».

A. Einstein «Sobre l'electrodinàmica dels cossos en moviment»,  
*Annalen der Physik*, 1905

# Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

## Les experiències mentals

«Imaginem un ampli fragment d'espai buit tan allunyat dels estels i d'altres masses de consideració, que ens trobem molt aproximadament en el cas previst per la llei fonamental de Galileu [...] Imaginem que el cos de referència és una gran caixa en forma d'habitació, on es troba un observador proveït d'aparells.

Naturalment, la gravetat no existeix per a ell. S'ha de lligar al terra si no vol que el menor cop contra el terra l'envii contra el sostre lentament.

«Suposem que al mig del sostre de la caixa, per la part exterior, s'ha fixat un ganxo amb una corda, i que un ésser inespecífic comença a tibar-ne amb una força constant. La caixa i l'observador s'enlairen conjuntament amb un moviment uniformement accelerat cap «amunt», i amb el temps assoliran una velocitat fantàstica, cas que ho observem tot des d'un altre cos de referència del qual no es tiba amb cap corda.

## Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

«Ara bé, com jutja l'esdeveniment l'home de la caixa? El terra li transmet per reacció l'acceleració de la caixa, de forma que ha de resistir aquesta pressió amb les cames si no vol acabar a terra. Així, l'home s'està dret a la caixa igual que un altre s'estaria dret a una habitació d'una casa sobre la Terra. Si deixa anar un cos que té a la mà, l'acceleració de la caixa deixarà de transmetre-s'hi i el cos s'aproparà al terra amb un moviment relatiu accelerat. L'observador es convencerà, a més, que l'acceleració del cos cap al terra és sempre la mateixa, sigui quin sigui el cos amb el qual faci l'experiment.

«Basant-se en els seus coneixements del camp gravitatori [...] l'home de la caixa arribarà a la conclusió que tant ell com la caixa es troben en un camp gravitatori constant en el temps. Per uns moments se sorprendrà que la caixa no caigui en aquest camp, fins que descobreixi el ganxo del sostre i la corda tibant que hi és fixada, concloent lògicament que la caixa penja en repòs dins el camp gravitatori.



## Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

«Tindríem cap dret de riure'ns de l'home i dir que la seva interpretació és errònia? Crec que no, si volem ser conseqüents, havent de reconèixer en canvi que la seva manera de veure les coses no falta a la raó ni a les lleis de la mecànica que coneixem. Encara que la caixa acceleri respecte de l'«espai galileà» que hem considerat primer, bé podríem considerar que està en repòs. Tenim doncs bones raons per estendre el principi de relativitat a cossos de referència accelerats els uns respecte dels altres, i disposem així d'un argument poderós a favor d'un postulat de relativitat generalitzat.»

A. Einstein, *La teoria de la relativitat*, 1917

# Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

Valor de la història (I). Claredat i emoció:

«No manquen els autors capaços de presentar amb claredat una teoria, però gairebé sempre ofereixen al lector un producte acabat, la qual cosa no permet sentir l'emoció de la investigació i el descobriment, el curs viu del pensament, comprendre amb claredat les circumstàncies que van fer que es preferís un camí i no un altre. La lectura d'aquest llibre, en canvi, permetrà al lector seguir el desenvolupament del pensament»

Ressenya de H. A. Lorentz, *Das Relativitätsprinzip* (Leipzig, 1914)  
*Die Naturwissenschaften*, 2, 1914, p. 1018

# Proximitat conceptual entre investigació i divulgació

Valor de la història (II). Interès sostingut:

«Ara conduiré al lector pel camí indirecte i aspre que jo mateix he recorregut, perquè aquesta és l'única esperança que tinc que el resultat final pugui interessar-lo»

«Consideracions cosmològiques sobre la teoria de la relativitat general»

*Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften*, Berlin,  
*Sitzungsberichte*, 1917, p. 142–152