

# **NOCIONS ELEMENTALS SOBRE LA RELATIVITAT (1)**

*"No sé pas què en farem de l'Albert més endavant, pràcticament no aprèn res" (de la carta d'una mare preocupada a un amic - era la mare d'Albert Einstein)*

## **2005, any d'aniversari**

Aquest any 2005 es compleixen els 50 anys de la mort d'Albert Einstein, però jo encara trobo més interessant que en aquest mateix any també es compleix el centenari de la publicació del seu article "Sobre l'electrodinàmica dels cossos en moviment", on es formula públicament i per primera vegada la teoria de la relativitat especial o restringida.

Aquesta teoria, ampliada 10 anys més tard al tema de la gravitació va suscitar un interès general, no pas només entre la comunitat científica, sinó també curiosament entre el públic en general. Una mostra d'aquesta popularitat inusitada d'Einstein es veu en una carta de 1929 d'Arthur Eddington on diu "Us divertirà saber que un dels nostres grans magatzems de Londres (Selfridges) ha enganxat a l'aparador el vostre treball (les sis pàgines enganxades, l'una al costat de l'altra) de manera que els vianants el puguin llegir tot passant. S'hi apleguen gentades a llegir-lo!" [L'article esmentat tractava de la teoria del camp unificat, tema no gaire fàcil per al simple transeünt!].

## **Introducció**

Un autor, comenta que la teoria de la relativitat s'ha considerat difícil d'entendre, no pas per la seva dificultat intrínseca sinó perquè les seves prediccions són difícils de creure. Aquesta opinió ja il·lustra que la nova teoria trencava amb una manera de concebre el món físic molt profundament arrelada i assumida per tothom.

Estudiant la relativitat entrem en un món, on no tenim cap experiència prèvia perquè els seus efectes només són observables a gran velocitat, i per això ens resulta ple de sorpreses. La nostra intuïció, basada en l'entorn de cada dia, falla estrepitosament, i els fenòmens descrits ens semblen estranys i que desafien el sentit comú.

Nosaltres, en aquestes sessions de l'Agrupació Astronòmica no podem pas pretendre explicar ni entendre a fons aquesta teoria, jo mateix no sé pas prou matemàtiques per arribar-hi, i tot el que podem fer és mirar una mica pel forat del pany per ensumar més o menys de què va la cosa.

Com ja ens podíem imaginar amb el temps que portem parlant de física, l'origen o causa de la teoria de la relativitat és el mateix que el de totes altres, o sigui la necessitat ineludible d'adaptar les teories a la realitat dels fets observats. Ja he dit en altres ocasions que els teoremes de matemàtiques es demostren o es dedueixen a partir d'uns axiomes i romanen com a permanents dintre d'aquell sistema, mentre que les teories físiques sempre són explicacions provisionals que es van adaptant contínuament als fets observats, mentre això és possible.

Avui intentarem simplement veure el per què d'aquesta teoria, d'on va sortir, quins fets van provocar que una persona com Einstein fes aquest pas, i també reflexionar una mica sobre els principis generals que la caracteritzen i sobre el canvi de mentalitat que ens ha imposat a tots, de grat o per força. Per fer-ho començarem examinant l'evolució de la física en els segles anteriors, des de Galilei i Newton cap endavant.

## **El principi de la inèrcia de Galilei**

Tots els cossos romanen en un estat de repòs o de moviment uniforme i en línia recta, llevat que una força exterior no els obligui a canviar d'estat.

## **Els Principia de Newton (1687)**

El temps absolut, veritable i matemàtic, per si mateix i per la seva pròpia naturalesa, flueix d'una manera uniforme i sense cap relació amb res extern ...

L'espai absolut, per la seva pròpia naturalesa i sense cap relació amb res extern, roman sempre similar i immovible ...

### El principi de relativitat galileà

Pensem en el principi de la inèrcia de Galilei i suposem que l'estem investigant en una cambra tancada fent rodar esferes llises sobre una taula molt llisa, sense fregament. Si la cambra es posa gradualment a girar sense que ens n'adonem, veurem que les coses ocorren de manera molt diferent, i ens semblarà que el principi de la inèrcia ja no és vàlid, però si ens avisen que la cambra s'ha posat a girar, aleshores sí que sabrem explicar la situació mitjançant la introducció de les forces d'inèrcia, forces que es pot considerar fictícies o no, segons des d'on ens ho mirem, si des de fora o des de dintre de la cambra.

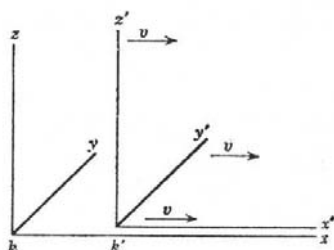
El nostre SR habitual és la terra en rotació, i experiments precisos demostren que les lleis de la mecànica no són rigorosament vàlides en un SR rígidament connectat a la Terra. Això mostra que els resultats dels experiments mecànics poden dependre del SR escollit.

Ara bé, l'experiència també mostra que les lleis de la mecànica que són vàlides per a un SR també ho són per a qualsevol SR que es mogui uniformement respecte al primer. Aquest és el que s'anomena principi de relativitat galileà, i els sistemes on es compleix aquest principi, són anomenats sistemes inercials.

Potser no hi ha cap SR que compleixi del tot aquestes condicions, però si n'hi ha un, aleshores n'hi ha infinits, perquè ho seran tots aquells que tinguin un moviment rectilini i uniforme respecte al primer.

### La transformació de Galilei o transformació clàssica

Es tracta d'un grup senzill de fórmules que relacionen les coordenades d'un punt respecte a dos SR diferents que es mouen amb velocitat uniforme l'un respecte a l'altre.



Per a una major simplificació, posarem els respectius eixos de les x coincidents en la mateixa direcció i sentit que la velocitat relativa entre els dos SR.

D'aquesta manera tenim:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

### La concepció mecànica de la natura

Seguint el progrés de la física, des de Galilei i Newton hom tenia una concepció mecànica del món físic o naturalesa. Es partia de la matèria i la seva interacció, és a dir de les masses, forces, posició dels cossos, velocitats, acceleracions, etc. La llum també es considerava formada per corpúsculs o partícules.

Paral·lelament es va desenvolupar l'estudi de la calor i l'energia. Ja des de Rumford es va determinar que la calor no era una substància amb massa, i Joule va trobar l'equivalent mecànic de la calor. La concepció mecànica de la naturalesa va arribar al seu cim amb la teoria cinètica de la matèria.

La matèria i l'energia doncs, eren els dos pilars fonamentals de la física clàssica i hi havia dues lleis de conservació paral·leles i independents. La llei de la conservació de la massa i la llei de la conservació de l'energia.

Amb l'aparició en escena de l'electricitat i el magnetisme la cosa ja es va complicar una mica més, però al principi encara semblava que aquests fenòmens es podrien entendre en termes de partícules, de manera que a principis del s. XIX semblava que tot es podia explicar sobre la base de 7 partícules elementals:

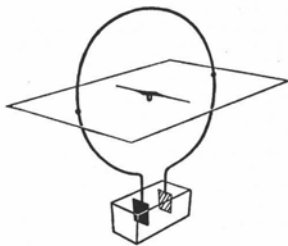
- 1/ La matèria ponderable o matèria amb massa.
- 2/ Els corpúsculs de llum.
- 3/ Les partícules de calor, sense massa.
- 4 i 5/ Les càrregues elèctriques, positives i negatives.
- 6 i 7/ Unes partícules magnètiques, de polaritat nord o sud.

Tant les càrregues elèctriques com les magnètiques semblaven ser també com una mena de corpuscles sui generis, sense massa, que interaccionaven entre elles mateixes segons unes lleis com la de Coulomb, que era formalment molt semblant a la de la gravitació de Newton.

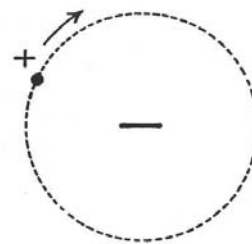
Fins i tot Lord Kelvin havia dit que "per entendre una cosa cal poder-ne construir un model mecànic". Tanmateix, si per explicar cada fenomen nou calia postular l'existència d'un nou tipus de partícules, sembla que la cosa no pot durar gaire més per aquest camí.

### Electricitat i magnetisme

Des de principis del s. XIX van anar apareixent nous fenòmens i noves consideracions que van anar minant gradualment la solidesa d'aquesta concepció mecànica, p. ex. l'aparició de la pila voltaica i de l'electroquímica en general, el descobriment de la connexió entre l'electricitat i el magnetisme per Oersted (desviació d'una brúixola posada dintre d'una espira amb corrent) i Rowland (el mateix efecte produït per una càrrega elèctrica en moviment circular), i fenòmens òptics com la refracció de la llum, l'enigma dels diferents colors i els fenòmens de difracció i interferència.



Esquema de l'experiment d'Oersted



Esquema de l'experiment de Rowland

Sabem que aquests darrers fenòmens es van explicar satisfactòriament mitjançant la teoria ondulatoria, però amb l'afany de mantenir la concepció mecànica de la natura, i tenint en compte que la llum es transmet en el buit, hom va suposar l'existència d'un medi transparent que inundava tot l'univers, anomenat èter, i que la llum consistia en un moviment ondulatori d'aquest èter. Ara ja tenim una nova substància a la llista!

El desenvolupament de la física moderna és el resultat dels treballs de Faraday (descobriments de la inducció), Maxwell (equacions del camp) i Hertz (producció d'ones), que han donat lloc a nous conceptes i a una nova imatge de la realitat. Un d'aquests conceptes és el concepte de camp, p. ex. de camp gravitatori. Les línies del camp indiquen la direcció de la força d'atracció i la seva densitat o proximitat indica la intensitat del camp.

Situant-nos en el terreny de l'electricitat i el magnetisme, una cosa és el camp elèctric, produït per càrregues elèctriques i que només exerceix força sobre les càrregues elèctriques, i una altra cosa diferent és el camp magnètic, produït per imants i per corrents elèctrics (= per càrregues elèctriques en moviment) que exerceix força sobre imants i corrents elèctrics (= sobre les càrregues elèctriques en moviment). Ambdós camps són coses diferents i independents, en el sentit que p. ex. no hi ha interacció entre càrregues elèctriques i imants (quan un camp elèctric no varia en el temps es diu que és un camp electrostàtic).

Ara bé, el canvi o variació d'un camp elèctric produït pel desplaçament d'una càrrega, produeix un camp magnètic, que serà més intens si la càrrega elèctrica és més gran i/o es mou més de pressa. Dit d'altra manera: Com més ràpidament canvia el camp elèctric, més intens és el camp magnètic que l'acompanya.

Anàlogament, el canvi o variació d'un camp magnètic produeix un camp elèctric, tal com ho demostren els fenòmens d'inducció i d'autoinducció.

Quan els dos camps varien conjuntament i periòdicament, el camp resultant és el camp electromagnètic, que equival a una radiació o transport d'energia (sense fils!) i que va ser descrit matemàticament per les equacions de Maxwell.

Considerem ara, el camp electromagnètic produït per una càrrega elèctrica que oscil·la ràpidament i periòdicament. Si la càrrega oscil·lant s'atura, el camp esdevé electrostàtic, però les ones electromagnètiques emeses prèviament ja tenen una existència independent i continuen desplaçant-se per l'espai a la velocitat de la llum.

Que la velocitat de les ones electromagnètiques sigui igual a la velocitat de la llum ja fa sospitar alguna relació entre els dos fenòmens, i alguns experiments posteriors van determinar que la llum consistia en ones electromagnètiques dintre una determinada gamma de freqüències.

### La hipòtesi de l'èter estacionari

Ja hem dit que dintre de la concepció mecànica de la natura es buscava l'èter, com a fluid de suport de la llum en particular i de les ones electromagnètiques en general. Aquest medi material havia d'impregnar tot l'univers i fins i tot els cosos sòlids, o almenys els que fossin transparents o translúcids. Aquest medi va ser anomenat èter, però es desconeixia en què consistia i les seves propietats.

La teoria de Maxwell (1887) sobre les ones electromagnètiques, causades per la vibració o moviment de les càrregues elèctriques, encara va enfortir la creència que l'èter havia d'existir. Primerament es creia que l'èter era fix en l'univers (però respecte a què?) i que els astres i tots els cosos en general "navegaven immersos" en ell. Aleshores els científics es van dedicar a investigar la velocitat de la Terra respecte a l'èter, que és el que s'anomenava "vent de l'èter".

### Efecte del vent de l'èter

Suposem que l'èter és fix respecte a un sistema de referència privilegiat (que deuria ser aquell respecte al qual l'èter té velocitat zero). Enfocant amb el telescopi una estrella situada just en la mateixa direcció de la velocitat orbital de la Terra i amb la Terra acostant-se cap a l'estrella, els raigs de llum que entren per la boca del telescopi són refractats per la lent objectiu i convergeixen en un focus.

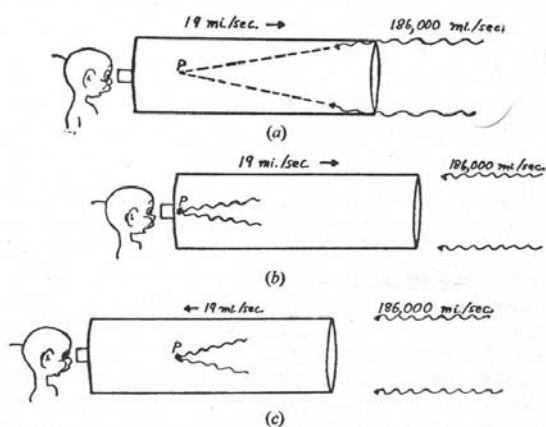


Figure 5. Expected Change in Focus of a Telescope Due to Motion through the Ether

Mentre els raigs de llum baixen pel tub, el fons del telescopi s'acosta a l'estrella i la imatge es forma en un punt determinat del tub. Mig any més tard, tornem a mirar la mateixa estrella però aleshores la Terra se n'està apartant. Els raigs de llum baixen pel tub i també convergeixen en un focus, però com que durant el trajecte de baixada dels raigs de llum el fons del telescopi s'aparta de l'estrella, la imatge s'ha de formar en un punt diferent del tub del de mig any abans. Si conservéssim l'ocular en el mateix lloc de mig any abans, la imatge s'hauria de veure desenfocada. Tanmateix, aquest efecte no es va observar mai.

### L'arrossegament de l'èter

Fresnel va intentar trobar una explicació dient que potser els cosos arrossegaven una part de l'èter amb ells, disminuint així l'efecte del vent. Aquest arrossegament es va definir en forma d'un "coeficient d'arrossegament".

Vegem un exemple de com influeix la velocitat d'arrossegament de l'aire en la velocitat absoluta (respecte a terra) d'un avió que vola d'anada i tornada en la mateixa direcció del vent o en una direcció perpendicular.

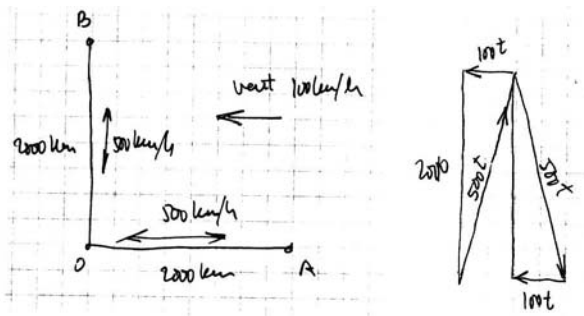
Suposem un trajecte de 2.000 km, amb una velocitat de l'avió de 500 km/h, i una velocitat del vent de 100 km/h.

En la direcció del vent i amb el vent en contra dura:  $2.000 / (500-100) = 5$  hores i amb el vent a favor, el trajecte dura  $2.000 / (500+100) = 3,33$  hores, en total 8,33 hores.

En la direcció perpendicular al vent, un trajecte simple dura  $\sqrt{[2.000^2 / (500^2-100^2)]} = 4,08$  hores, en total anada i tornada 8,16 hores < 8,33 hores.

Calculant-ho algebricament es demostra que anant de través respecte al vent sempre es tarda menys temps que anant i tornant en la mateixa direcció, tant si primer es va a favor i després en contra com al revés.

Si diem  $v$  = velocitat del vent,  $c$  = velocitat de l'avió i  $L$  = llargada de trajecte, en el cas dels vols transversals resulta  $T = [2L/c] * [1/\sqrt{(1-v^2/c^2)}]$  fórmula que ja és una premonició del que veurem més endavant.



### Comparació amb les ones sonores

Comparant la transmissió de la llum amb la de les ones sonores, imaginem un experiment fet dintre d'una cambra tancada hermèticament i amb les parets transparents per poder fer també observacions des de fora. Si som a dintre i emetem un so, veurem que aquest so es propaga a la mateixa velocitat en totes direccions. Si tot d'una aquesta habitació es posa a viatjar en l'espai, des de dintre tot ens semblaria igual i sense variació de cap mena, ja que que la velocitat del so en un gas qualsevol depèn de la seva pressió i temperatura, però no depèn de la velocitat del focus emissor respecte al gas, la qual només influeix en la freqüència (efecte Doppler).

En aquest mateix experiment un observador exterior, trobaria que p. ex. respecte a terra la velocitat del so dintre la cambra és més gran en el sentit del moviment que en sentit contrari perquè la cambra arrossega l'aire i per a ell, l'efecte seria com si la velocitat del so depengués del moviment del focus emissor.

Si no hi hagués cambra hermètica però la massa d'aire es desplaçés per efecte del vent, aleshores veuríem que en realitat la velocitat del so no és constant respecte al focus emissor sinó que ho és respecte a la massa d'aire que li dona suport material. La conclusió és que al moviment del so se li pot aplicar la transformació de Galilei o transformació clàssica (en aquesta composició de velocitats la velocitat absoluta és la velocitat del so respecte a terra, la velocitat relativa és la velocitat del so respecte a l'aire en moviment i la velocitat d'arrossegament és la velocitat de l'aire -vent- respecte a terra) i això ens obre un interrogant. Aquesta transformació també és aplicable als fenòmens òptics i elèctrics?

Fent el mateix experiment però ara amb senyals lluminosos, què passa? Si la cambra és hermètica respecte a l'èter i l'arrossega en el seu moviment talment com en l'experiment anterior arrossegava l'aire, les observacions haurien de donar el mateix resultat que en el cas del so, i des de fora de la cambra hauria de semblar que la velocitat de la llum depèn de la velocitat del focus emissor, és a dir, que és constant respecte a aquest focus. Sense cambra, això és el que passaria també si l'èter fos solidari amb la Terra, o sigui si no hi hagués vent de l'èter,

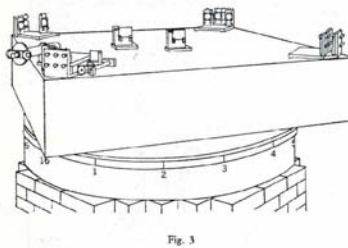
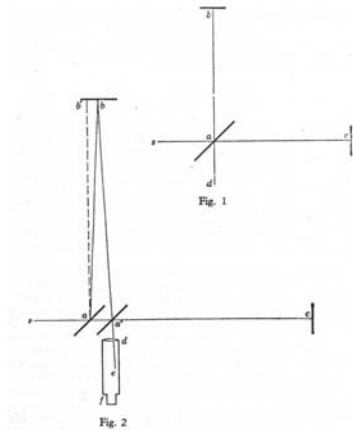
El cas contrari seria considerar que un fluid subtil com l'èter no és solidari amb la Terra i que impregna tot l'univers, fins i tot l'interior dels cossos (ja que hi ha ones electromagnètiques com els raigs X que es transmeten dintre dels cossos) i que res no és hermètic o impermeable a aquest èter. En aquest cas la cambra en moviment ja no arrossegaria l'èter, hi hauria sempre i a

tot arreu un vent de l'èter. El moviment de la cambra només voldria dir que respecte a l'èter la font de llum es mou i aleshores la velocitat de la llum respecte a la font emissora ja no seria constant.

Calia doncs comprovar experimentalment quina d'aquestes dues possibilitats era la que es donava en la realitat del món físic, saber això era crucial.

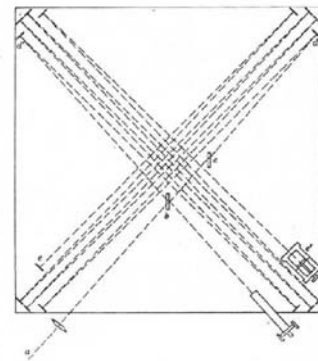
### L'experiment de Michelson i Morley

El 1887 es va fer aquest famós experiment a Cleveland (Ohio), a base d'emetre uns raigs de llum que es dividien en dos sentits perpendiculars i que després d'una sèrie de reflexions es tornaven a ajuntar i donaven unes franges d'interferència.



A l'esquerra, influència del vent de l'èter en el recorregut dels raigs de llum.

A dalt, dibuix de la taula de l'experiment, giratòria i flotant sobre mercuri.



Recorregut real dels raigs de llum durant l'experiment.

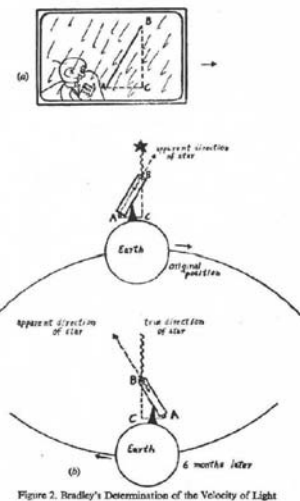
Si hi havia vent de l'èter, la velocitat dels raigs que poguessin anar en la mateixa direcció d'aquest vent havia de quedar afectada d'una manera diferent de la dels que anaven en la direcció perpendicular (com en l'exemple dels avions). Ara bé, com que la direcció del vent de l'èter no se sabia quina era, el que van fer va ser repetir l'experiment girant tot l'aparell 90° i aleshores les franges d'interferència haurien de canviar de posició. Això és així perquè aleshores els temps de desplaçament dels raigs de llum que anaven en una direcció o bé en la direcció perpendicular haurien variat relativament l'un respecte a l'altre.

Si no hi havia vent de l'èter, el resultat de l'experiment, o sigui la posició de les franges d'interferència, havia de ser el mateix en qualsevol orientació de l'aparell i això és el que va ocórrer en la pràctica. La conclusió va ser que no hi havia cap moviment relatiu entre la Terra i l'èter, o bé que en tot cas aquest moviment era molt petit. Aquesta conclusió s'ha confirmat posteriorment amb experiments de moltíssima més precisió fets amb llum de raigs làser.

Les possibles explicacions al resultat de l'experiment de Michelson i Morley, en principi podien ser quatre:

a/ Que l'èter era solidari amb la Terra. Tinguem en compte que la velocitat de la Terra canvia constantment de direcció en l'espai i que la Terra mateixa està en rotació. Aleshores, caldria suposar que tot l'èter de l'univers és enterament solidari amb el globus terrestre, inclòs amb la seva rotació. Això és absurd perquè no hi ha cap raó per sostenir que la Terra és l'objecte principal o privilegiat de l'univers.

b/ Que la Terra arrossegava totalment l'èter en les seves proximitats però no més enllà, com si fos per una mena d'efecte de viscositat, però tant en aquest cas com en l'anterior no s'hauria observat l'efecte de l'aberració de la llum de Bradley, que és un fet cert i comprovat.



c/ Que la velocitat de la llum sempre era constant respecte a la font que l'ha emesa, encara que aquesta font es mogués respecte a l'èter, en el qual cas no seria constant respecte a l'èter (el seu medi portador). Per això l'experiment de Michelson i Morley sempre donaria el mateix resultat en qualsevol orientació de l'aparell. Però, de més a més, l'observació de les estrelles dobles també demostra que la velocitat de la llum és independent respecte a la font emissora. En efecte: Si quan n'observem dues des del seu mateix pla de rotació la velocitat de la llum se sumés a la de l'estrella que s'acosta o que s'aparta, aleshores ens semblaria que l'estrella que s'acosta gira més de pressa que la que s'aparta, i quan les seves posicions s'haguessin intercanviat ens semblaria al revés. En conjunt semblaria que la rotació d'aquestes estrelles s'anés accelerant i frenant periòdicament, però l'observació demostra que sempre giren a velocitat constant. Remarquem aquest fet aparentment inexplicable: Un experiment nostra que la velocitat de la llum és constant respecte al focus emissor però una observació astronòmica mostra que és independent de la seva velocitat.

d/ Una explicació més complicada va ser la de la contracció de Fitzgerald-Lorentz, segons la qual els objectes es podrien contreure en la direcció del seu moviment a través de l'èter en la proporció d'1 a  $\sqrt{(1-v^2/c^2)}$ . Aleshores el braç de l'aparell de Michelson i Morley paral·lel al vent de l'èter s'hauria pogut escurçar anul·lant l'efecte del major temps esperat en el raig de llum. El mateix Lorentz no deia que aquesta fos l'explicació real dels fets, sinó només que això podria explicar matemàticament el resultat de l'experiment, però experiments posteriors, fets amb aparells amb braços de diferent llargada i no perpendiculars van anul·lar aquesta possibilitat.

El fet és que l'experiment de Michelson i Morley va acabar en la pràctica les discussions sobre la cerca i existència de l'èter i van donar pas a la teoria de la relativitat, sobre la base de desestimar les explicacions a/ b/ i d/ i donar per bona la c/. En efecte: sobre la taula de l'experiment, la velocitat de la llum sempre era la mateixa, independentment del desplaçament de la taula respecte a qualsevol altre SR, sigui un hipotètic èter, la Terra o qualsevol altre.

Si la velocitat de la llum és constant respecte a la font emissora i no ho és respecte a l'èter, resulta que l'èter ja no fa cap falta i és suficient acceptar que l'espai buit té la propietat física de transmetre les ones electromagnètiques. Arran d'això sembla que a Einstein no li va caldre negar l'existència de l'èter i que va considerar suficient dir que, si existia, els seus efectes no es podrien mai detectar, de manera ja era irrellevant discutir si existia o no existia i que el podíem ignorar tranquil·lament.

A manca doncs d'un èter que podria definir un SR immòbil respecte a ell, i per tant un SR privilegiat o absolut, arribem a la relativitat del moviment, és a dir que el moviment d'un objecte només es pot considerar amb relació a un altre objecte. P. ex, si mirem córrer l'aigua a través d'una petita finestreta des de dalt d'un pont, o bé si mirem un vagó de tren des d'un altre vagó, no podem dir si es mou l'aigua, si es mou l'altre vagó o bé si ens movem nosaltres. Mirant un text a l'ordinador també és el mateix considerar que el text està escrit en paper continu i que l'anem llegint fent córrer avall una finestreta (la pantalla) o bé que la finestreta està quieta i és el text que va pujant cap amunt.

Sense un objecte o sistema de referència considerat com a "quiet", respecte al qual poguem mesurar la pròpia velocitat, no podem dir mai si ens movem o no. Tota velocitat s'ha de donar respecte a un altre objecte perquè tot moviment és relatiu. Tot això ja se sabia des del temps de Galilei, però la novetat rau a dir que aquesta relativitat del moviment es dona sempre i en tots els casos, ja cap objecte de l'univers no es pot considerar com a un sistema de referència privilegiat respecte al qual hom pugui referir tots els moviments, tal com ho podria ser un èter estacionari, si existís i pogués ser detectat.

Podem dir doncs, amb tota propietat, que la teoria de la relativitat va ser una conseqüència lògica i necessària a partir del resultat de l'experiment de Michelson i Morley. Einstein no va elaborar aquesta teoria pel gust de complicar les coses sinó perquè no hi havia altra manera d'explicar els fets observats.

## RESUM

- Newton va establir la noció de temps absolut i espai absolut, com a referència universal per a situar qualsevol punt de l'univers.
- El pas de coordenades d'un punt en un SR respecte a un altre es feia segons la transformació de Galilei.
- El principi de relativitat galileà establia que les lleis de la mecànica eren les mateixes per a qualsevol sistema inercial.
- La natura es concebia a base de partícules: matèria, llum, calor, electricitat i magnetisme eren corpuscles de diferents menes.
- En descobrir-se el caràcter ondulatori de la llum va caldre suposar l'existència de l'èter com a suport material de les ones lluminoses, atès que també es transmetien en el buit.
- Si l'èter inundava tot l'univers, hauria pogut servir de referència per a l'establiment de l'espai absolut de Newton, com a SR en repòs respecte a l'èter.
- Els físics van fer grans esforços per trobar el moviment de la Terra respecte a l'èter, però l'experiment de Michelson i Morley va demostrar que aquest vent de l'èter no existia i que la velocitat de la llum era constant respecte a la font emissora. Per tant, o bé la Terra era estacionària respecte a l'èter o bé l'èter no existia.
- Al mateix temps, fenòmens astronòmics com el de l'observació de les binàries eclipsants demostraven que la velocitat de la llum era independent de la velocitat del focus emissor.