

## **Duração e Simultaneidade**

*«Sobre a Teoria de Einstein»*

# Índice

## 1. Introdução

 Professora de história Jimena Canales

### 1.1. Contradição de Einstein

### 1.2. Contradição de Bergson

#### 1.2.1. Bergson e o Absoluto

### 1.3. Confissão

## 2. Duração e Simultaneidade

## 3. Prefácio

## 4. A semi-relatividade

### 4.1. A experiência de Michelson-Morley

### 4.2. A relatividade «*unilateral*»

### 4.3. Dilatação do Tempo

### 4.4. Dislocação da Simultaneidade

### 4.5. Contração longitudinal

### 4.6. Significação concreta dos termos que entram nas fórmulas de Lorentz

## 5. A relatividade completa

### 5.1. Da reciprocidade do movimento

### 5.2. Movimento relativo e movimento absoluto

### 5.3. De Descartes a Einstein

### 5.4. Propagação e transporte

### 5.5. Sistemas de referência

## 6. Da Natureza do Tempo

### 6.1. Sucessão e Consciência

### 6.2. Origem da Ideia de um Tempo Universal

### 6.3. A Duração real e o tempo mensurável

### 6.4. Da simultaneidade imediatamente percebida: simultaneidade de fluxos e simultaneidade no instante

### 6.5. Da simultaneidade indicada pelos relógios

### 6.6. O tempo que se desenrola

### 6.7. O tempo desenrolado e a quarta dimensão

### 6.8. Por que sinal se reconhecerá que um Tempo é real

## 7. Da Pluralidade dos Tempos

### 7.1. Os Tempos Múltiplos e Desacelerados da Teoria da Relatividade

### 7.2. Como são compatíveis com um Tempo único e universal

### 7.3. Exame dos paradoxos relativos ao tempo

### 7.4. A hipótese do viajante encerrado num projectil

### 7.5. A simultaneidade «*erudita*», dissecável em sucessão

### 7.6. Como ela é compatível com a simultaneidade «*intuitiva*»

- 7.7. O esquema de Minkowski
- 7.8. Confusão que está na origem de todos os paradoxos
- 8. As figuras de luz
  - 8.1. «Linhas de luz» e «linhas rígidas»
  - 8.2. A «figura de luz» e a figura de espaço
  - 8.3. Triplo efeito da dissociação
  - 8.4. Verdadeira natureza do Tempo de Einstein
  - 8.5. Transição para a teoria do Espaço-Tempo
- 9. O Espaço-Tempo a quatro dimensões
  - 9.1. Como se introduz a ideia de uma quarta dimensão
  - 9.2. A representação geral de um Espaço-e-Tempo a quatro dimensões
  - 9.3. Como a imobilidade se exprime em termos de movimento
  - 9.4. Como o Tempo parece assim amalgamar-se com o Espaço
  - 9.5. Dupla ilusão a que nos expomos
  - 9.6. Características particulares desta representação na teoria da Relatividade
  - 9.7. Ilusão especial que daí pode resultar
  - 9.8. O que representa realmente a amalgama Espaço-Tempo
- 10. Observação Final

*Impresso em 22 de novembro de 2025*

<https://pt.cosmicphilosophy.org/books/duration-and-simultaneity/>

## Introdução

### «Duração e Simultaneidade» por Henri Bergson

Esta publicação da primeira edição do livro de 1922 de Henri Bergson «Duração e Simultaneidade» faz parte de uma investigação sobre o debate Bergson-Einstein de 1922 que causaria «o grande revés para a filosofia» no século XX. A investigação está publicada no nosso blogue:

(2025) Debate Einstein-Bergson: Albert Einstein versus a filosofia sobre a natureza do tempo

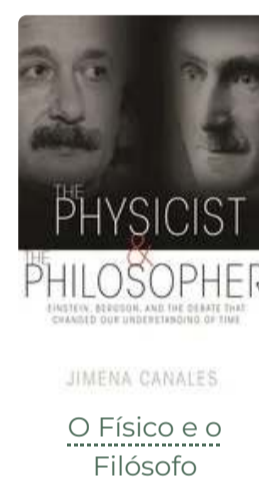
Fonte: [CosmicPhilosophy.org](https://cosmicphilosophy.org)



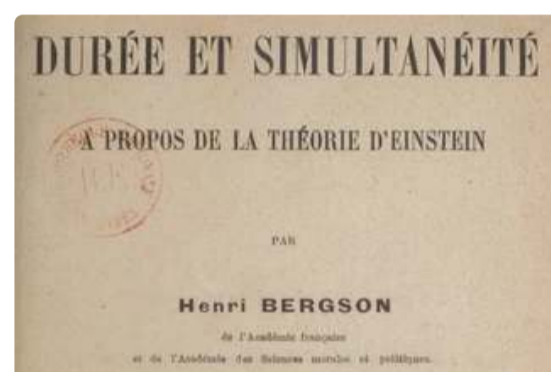
Jimena Canales, professora de história na Universidade de Illinois que escreveu um livro sobre o debate, descreveu o evento da seguinte forma:

“ O «diálogo entre o maior filósofo e o maior físico do século XX» foi diligentemente registado. Era um guião adequado para o teatro. O encontro e as palavras que proferiram seriam discutidos durante o resto do século.

Nos anos que se seguiram ao debate, ... as visões do cientista sobre o tempo passaram a dominar. ... Para muitos, a derrota do filósofo representou uma vitória da «racionalidade» contra a «intuição». ... Assim começou «a história do revés para a filosofia», ... e então começou o período em que a relevância da filosofia declinou face à crescente influência da ciência.



O livro de Bergson «Duração e Simultaneidade» foi uma resposta direta ao debate. A capa do seu livro referia-se especificamente a Einstein num sentido genérico e intitulava-se «Sobre a Teoria de Einstein».



Einstein venceria o debate ao apontar publicamente que Bergson não entendia a teoria corretamente. A vitória de Einstein no debate representou uma vitória para a ciência.

Bergson cometeu «erros óbvios» na sua crítica filosófica e os filósofos de hoje caracterizam os erros de Bergson como «um grande embaraço para a filosofia».


Por exemplo, o filósofo William Lane Craig escreveu o seguinte sobre o livro em 2016:



“ A queda meteórica de Henri Bergson do panteão filosófico do século XX deveu-se, sem dúvida, em parte à sua crítica equivocada, ou melhor, ao seu mal-entendido, da Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

A compreensão de Bergson sobre a teoria de Einstein foi simplesmente errada de forma embaraçosa e tendeu a trazer descrédito sobre as visões de Bergson acerca do tempo.

(2016) Bergson Tinha Razão sobre a Relatividade (bem, em parte)!

Fonte: [Reasonable Faith](https://reasonablefaith.com)

A publicação do livro em  CosmicPhilosophy.org foi traduzida para 42 idiomas a partir do texto francês original da primeira edição de 1922, utilizando as mais recentes tecnologias de IA de 2025. Para muitos idiomas, a publicação é uma estreia mundial.

O texto fonte francês foi obtido via  Archive.org que digitalizou uma cópia física do livro da biblioteca da Universidade de Ottawa,  Canadá e que publicou o texto extraído por OCR. Embora a qualidade da tecnologia OCR mais antiga não fosse ideal, a tecnologia moderna de IA tentou restaurar o texto francês original o mais próximo possível antes de ser traduzido. A matemática foi convertida para MathML.




As digitalizações do livro físico francês original que foram utilizadas para a extração de texto estão disponíveis em este PDF.

A nova tradução imparcial da primeira edição do livro pode ajudar a examinar as notas privadas contraditórias de Albert Einstein que afirmavam que Bergson «entendeu».

## CAPÍTULO 1.1.

# Contradição de Einstein


Enquanto Einstein atacava Bergson em público pelo seu fracasso em entender a teoria, em privado ele escrevia simultaneamente que Bergson <entendeu>, o que é uma contradição.

No dia 6 de abril de 1922, numa reunião de filósofos proeminentes em  Paris que contou com a presença de Henri Bergson, Einstein declarou essencialmente a emancipação da ciência da filosofia:

*Die Zeit der Philosophen ist vorbei.*


**Tradução:**

«O tempo dos filósofos acabou»

(2025) Debate Einstein-Bergson: Albert Einstein versus a filosofia sobre a natureza do  tempo

Fonte: [CosmicPhilosophy.org](https://cosmicphilosophy.org)

O livro de Bergson foi uma resposta direta ao evento da palestra em Paris e explica o título da capa «Sobre a Teoria de Einstein».

No seu diário enquanto viajava para o  Japão no final de 1922, meses após o evento da palestra em Paris e pouco depois da publicação do livro de Bergson, Einstein escreveu a seguinte nota privada:

*Bergson hat in seinem Buch scharfsinnig und tief die Relativitätstheorie bekämpft. Er hat also richtig verstanden.*

**Tradução:**

«Bergson desafiou a teoria da relatividade de forma inteligente e profunda no seu livro. Portanto, ele entendeu.»

Fonte: Canales, Jimena. *The Physicist & The Philosopher*, Princeton University Press, 2015. p. 177.

A nossa investigação, que está publicada no nosso blogue, revelou que as notas privadas de Einstein devem ser consideradas preponderantes para uma perspectiva sobre a compreensão real de

Bergson da teoria, apesar dos seus «erros embaraçosos». Esta publicação permite examinar os «erros óbvios» de Bergson.

## CAPÍTULO 1.2.

### Contradição de Bergson

Bergson minou fundamentalmente a sua própria filosofia neste livro ao propor um contexto de tempo Absoluto, um tempo universal partilhado por toda a consciência no cosmos. Bergson argumenta que todas as consciências humanas partilham uma duração comum e universal — um «tempo impessoal no qual todas as coisas passam». Ele argumenta mesmo que a relatividade de Einstein, contrariamente a eliminar um tempo universal, na verdade depende de um tempo partilhado.

A filosofia de Bergson adquiriu fama mundial especificamente porque minou a noção de um Absoluto eterno (seja na metafísica, ciência ou teologia).

Isto implica uma contradição:

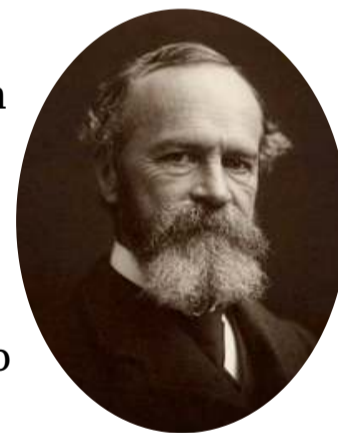
- ▶ Por um lado, Bergson postula neste livro um tempo universal partilhado por toda a consciência, uma realidade unificadora e abrangente ou «Absoluto».
- ▶ Por outro lado, todo o seu projeto filosófico é uma crítica aos Absolutos — a quaisquer totalidades fixas, imutáveis ou puramente conceptuais. A sua oposição ao conceito de Absoluto foi a causa direta da sua fama no mundo anglófono.

## CAPÍTULO 1.2.1.

### Bergson e o Absoluto

O filósofo William James estava envolvido no que chamou de «A Batalha do Absoluto» contra idealistas como F.H. Bradley e Josiah Royce, que defendiam um Absoluto eterno como a realidade última.

James via Bergson como o filósofo que finalmente impediu a ideia do Absoluto. A crítica de Bergson à abstração e a sua ênfase no fluxo, multiplicidade e experiência vivida forneceram a James as ferramentas para derrotar a reificação dos Absolutos. Como James escreveu:



«A contribuição essencial de Bergson para a filosofia é a sua crítica ao intelectualismo (o Absoluto). Na minha opinião, ele matou o intelectualismo definitivamente e sem esperança de recuperação.»

O «tempo universal» de Bergson neste livro é um Absoluto contraditório, incompatível tanto com os seus próprios princípios como com a relatividade de Einstein. Os seus erros «embaraçosos» físicos em Duração e Simultaneidade eram óbvios e criticados, mas quando os erros são corrigidos — quando a negação da simultaneidade absoluta pela relatividade é totalmente aceite — a sua noção de um tempo universal colapsa, revelando o absurdo de objetificar o tempo.

O paradoxo: ao introduzir um conceito Absoluto e revelar a sua insustentabilidade, arrastando a filosofia consigo para o que mais tarde foi descrito pelos historiadores como «o grande revés para a

*filosofia na história*», Bergson reforça indiretamente a sua mensagem central, sobre a qual James escreveu que era «a contribuição essencial de Bergson para a filosofia».

## CAPÍTULO 1.3.

### Confissão

Ao ler este livro, tenha em mente a <confissão> do Comité Nobel no dia em que rejeitaram o Prémio Nobel para a Teoria da Relatividade de Einstein.

«Não será segredo que o famoso filósofo Bergson, em Paris, desafiou esta teoria.»



O que o presidente Svante Arrhenius refere como fundamento para rejeitar o Prémio Nobel, é este livro «*Sobre a Teoria de Einstein*».

A professora de história Jimena Canales descreveu a situação da seguinte forma:

A explicação do Comité Nobel nesse dia certamente lembrou Einstein da [sua rejeição da filosofia] em Paris, que iria desencadear um conflito com Bergson.

---

(2025) Debate Einstein-Bergson: Albert Einstein versus a filosofia sobre a natureza do tempo

Fonte: [CosmicPhilosophy.org](https://www.CosmicPhilosophy.org)

## CAPÍTULO 2.

# Duração e Simultaneidade

## Sobre a Teoria de Einstein

primeira edição, 1922

Henri Bergson  
da Academia Francesa  
e da Academia de Ciências Morais e Políticas.

Paris  
Livraria Félix Alcan  
108, Boulevard Saint-Germain  
1922

## CAPÍTULO 3.

# Prefácio

Algumas palavras sobre a origem deste trabalho esclarecerão a sua intenção. Empreendemo-lo exclusivamente para nós mesmos. Queríamos saber em que medida a nossa concepção da duração era compatível com as perspectivas de Einstein sobre o tempo. A nossa admiração por este físico, a convicção de que ele não nos trazia apenas uma nova física, mas também certas maneiras novas de pensar, a ideia de que a ciência e a filosofia são disciplinas diferentes mas feitas para se completarem, tudo isto nos inspirava o desejo e até nos impunha o dever de proceder a um confronto. Mas a nossa investigação logo nos pareceu oferecer um interesse mais geral. A nossa concepção da duração traduzia, de facto, uma experiência direta e imediata. Sem implicar como consequência necessária a hipótese de um Tempo universal, harmonizava-se com essa crença de forma muito natural. Eram, portanto, um pouco as ideias de toda a gente que íamos confrontar com a teoria de Einstein. E o aspeto pelo qual esta teoria parece chocar o senso comum passou então para primeiro plano: teríamos de nos debruçar sobre os «*paradoxos*» da teoria da Relatividade, sobre os Tempos múltiplos que fluem mais ou menos depressa, sobre as simultaneidades que se tornam sucessões e as sucessões que se tornam simultaneidades quando se muda de ponto de vista. Estas teses têm um sentido físico bem definido: exprimem o que Einstein leu, por uma intuição genial, nas equações de Lorentz. Mas qual é o seu significado filosófico? Para o saber, tomámos as fórmulas de Lorentz termo a termo, e procurámos a que realidade concreta, a que coisa percebida ou perceptível, cada termo correspondia. Este exame deu-nos um resultado bastante inesperado. Não só as teses de Einstein já não pareciam contradizer, como ainda confirmavam, acompanhando de uma prova inicial, a crença natural dos homens num Tempo único e universal. Deviam simplesmente a um mal-entendido o seu aspeto paradoxal. Uma confusão parecia ter-se produzido, não certamente no próprio Einstein, nem nos físicos que usavam fisicamente o seu método, mas em alguns que erigiam essa física, tal qual, em filosofia. Duas concepções diferentes da relatividade, uma abstrata e outra imagética, uma incompleta e outra acabada, coexistiam no seu espírito e interferiam entre si. Dissipando a confusão, fazia-se cair o paradoxo. Pareceu-nos útil dizê-lo. Contribuiríamos assim para esclarecer, aos olhos do filósofo, a teoria da Relatividade.

Tais são as duas razões que nos determinam a publicar o presente estudo. Ele incide, como se vê, sobre um objeto nitidamente delimitado. Cortámos da teoria da Relatividade o que dizia respeito ao

tempo; deixámos de lado os outros problemas. Permanecemos assim no quadro da Relatividade restrita. A teoria da Relatividade generalizada vem, aliás, colocar-se aí ela própria, quando pretende que uma das coordenadas represente efetivamente o tempo.

#### CAPÍTULO 4.

## A semi-relatividade

### A experiência de Michelson-Morley

A teoria da Relatividade, mesmo «restrita», não está precisamente fundada na experiência de Michelson-Morley, uma vez que exprime de maneira geral a necessidade de conservar às leis do eletromagnetismo uma forma invariável quando se passa de um sistema de referência para outro. Mas a experiência de Michelson-Morley tem a grande vantagem de colocar em termos concretos o problema a resolver, e de pôr também sob os nossos olhos os elementos da solução. Ela materializa, por assim dizer, a dificuldade. É dela que o filósofo deve partir, é a ela que deverá reportar-se constantemente, se quiser apreender o verdadeiro sentido das considerações sobre o tempo na teoria da Relatividade. Quantas vezes não foi descrita e comentada! Contudo, temos de a comentar, de a descrever ainda, porque não vamos adotar de imediato, como habitualmente se faz, a interpretação que hoje a teoria da Relatividade lhe dá. Queremos preparar todas as transições entre o ponto de vista psicológico e o ponto de vista físico, entre o Tempo do senso comum e o de Einstein. Para isso, devemos colocar-nos no estado de espírito em que se poderia estar na origem, quando se acreditava no éter imóvel, em repouso absoluto, e era preciso contudo dar conta da experiência de Michelson-Morley. Obteremos assim uma certa concepção do Tempo que é relativista pela metade, por um lado apenas, que ainda não é a de Einstein, mas que julgamos essencial conhecer. A teoria da Relatividade, por muito que não leve em conta nas suas deduções propriamente científicas, sofre contudo a sua influência, cremos, logo que deixa de ser uma física para se tornar uma filosofia. Os paradoxos que tanto assustaram uns, tanto seduziram outros, parecem-nos vir daí. Eles devem-se a uma ambiguidade. Nascem do facto de duas representações diferentes da relatividade, uma abstrata e outra imagética, uma incompleta e outra acabada, coexistirem no nosso espírito sem o sabermos e interferirem juntas, e do conceito sofrer a contaminação da imagem.

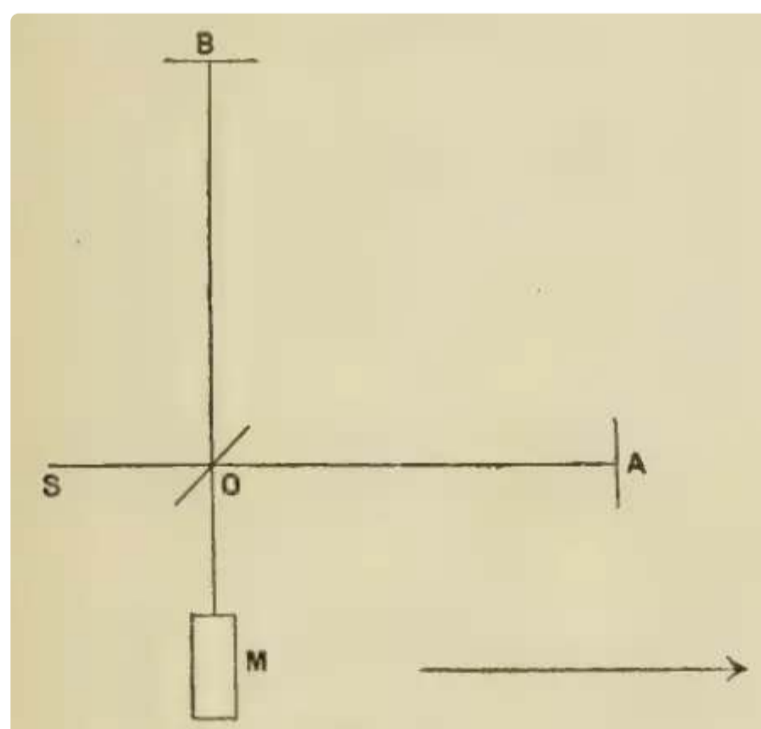


Figura 1

Descrevamos, portanto, esquematicamente a experiência instituída em 1881 pelo físico americano Michelson, repetida por ele e Morley em 1887, recomeçada com mais cuidado ainda por Morley e Miller em 1905. Um raio de luz  $SO$  (fig. 1) partido da fonte  $S$  é dividido, no ponto  $O$ , por uma lâmina de vidro inclinada a  $45^\circ$  sobre a sua direção, em dois raios, um dos quais é refletido

perpendicularmente a  $SO$  na direção  $OB$ , enquanto o outro continua o seu caminho no prolongamento  $OA$  de  $SO$ . Nos pontos  $A$  e  $B$ , que suporemos equidistantes de  $O$ , encontram-se dois espelhos planos perpendiculares a  $OA$  e a  $OB$ . Os dois raios, refletidos pelos espelhos  $B$  e  $A$  respetivamente, regressam a  $O$ : o primeiro, atravessando a lâmina de vidro, segue a linha  $OM$ , prolongamento de  $BO$ ; o segundo é refletido pela lâmina segundo a mesma linha  $OM$ . Superpõem-se assim um ao outro e produzem um sistema de franjas de interferência que se pode observar, do ponto  $M$ , numa luneta dirigida segundo  $MO$ .

Suponhamos por um instante que o aparelho não está em translação no éter. É evidente, primeiro, que, se as distâncias  $OA$  e  $OB$  são iguais, o tempo gasto pelo primeiro raio para ir de  $O$  a  $A$  e voltar é igual ao tempo gasto pelo segundo raio para ir de  $O$  a  $B$  e voltar, uma vez que o aparelho está imóvel num meio onde a luz se propaga com a mesma velocidade em todos os sentidos. O aspeto das franjas de interferência permanecerá, portanto, o mesmo para qualquer rotação do dispositivo. Será o mesmo, em particular, para uma rotação de 90 graus que fará permutar os braços  $OA$  e  $OB$  um com o outro.

Mas, na realidade, o aparelho é arrastado no movimento da Terra na sua órbita<sup>(1)</sup>. É fácil ver que, nestas condições, a dupla viagem do primeiro raio não deveria ter a mesma duração que a dupla viagem do segundo<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Pode-se considerar o movimento da Terra como uma translação retilínea e uniforme durante a duração da experiência.

<sup>(2)</sup> Não se deve esquecer, em tudo o que se segue, que as radiações emitidas pela fonte  $S$  são depositadas imediatamente no éter imóvel e, a partir daí, independentes, quanto à sua propagação, do movimento da fonte.

Calculemos, de facto, segundo a cinemática habitual, a duração de cada uma das viagens duplas. Para simplificar a exposição, admitiremos que a direção  $SA$  do raio luminoso foi escolhida de modo a ser a mesma do movimento da Terra através do éter. Chamaremos  $v$  à velocidade da Terra,  $c$  à velocidade da luz,  $l$  ao comprimento comum das duas linhas  $OA$  e  $OB$ . A velocidade da luz em relação ao aparelho, no percurso de  $O$  a  $A$ , será de  $c - v$ . Será de  $c + v$  no regresso. O tempo que a luz leva para ir de  $O$  a  $A$  e voltar será, portanto, igual a  $\frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v}$ , ou seja, a  $\frac{2lc}{c^2 - v^2}$ , e o caminho percorrido por este raio no éter será  $\frac{2lc^2}{c^2 - v^2}$  ou  $\frac{2l}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Consideremos agora o percurso do raio que vai da placa de vidro  $O$  ao espelho  $B$  e que volta. A luz movendo-se de  $O$  para  $B$  com a velocidade  $c$ , mas, por outro lado, o aparelho deslocando-se com a velocidade  $v$  na direção  $OA$  perpendicular a  $OB$ , a velocidade relativa da luz é aqui  $\sqrt{c^2 - v^2}$ , e, conseqüentemente, a duração do percurso total é  $\frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$ .

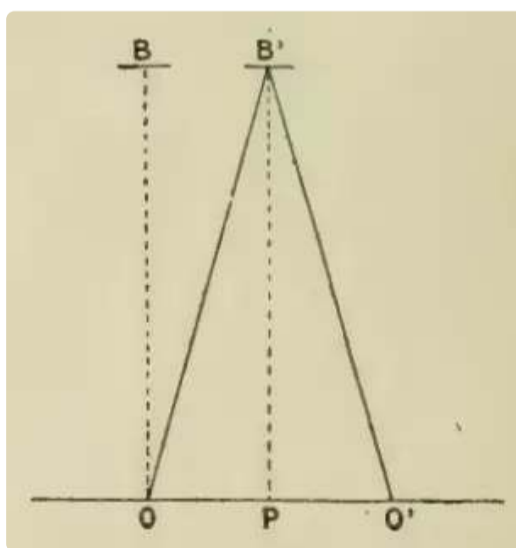


Figura 2

Eis então a explicação proposta por Lorentz, explicação que outro físico, Fitzgerald, também tivera a ideia. A linha  $O'$  contrair-se-ia pelo efeito do seu movimento, de modo a restabelecer a igualdade entre as duas viagens duplas. Se o comprimento de  $O'$ , que era  $B'$  em repouso, se torna  $O'B'$  quando esta linha se move com a velocidade  $OO'$ , o caminho percorrido pelo raio no éter já não será medido por  $B'P$ , mas por  $\frac{O'B'O'}{c} = \frac{OO'}{v}$ , e os dois percursos encontrar-se-ão efetivamente

iguais. Será necessário, portanto, admitir que um corpo qualquer que se move com uma velocidade qualquer  $OO'$  sofre, no sentido do seu movimento, uma contração tal que a sua nova dimensão esteja para a antiga na razão de  $\frac{OB'}{c} = \frac{OP}{v}$  para a unidade. Esta contração, naturalmente, atinge tanto a régua com que se mede o objeto como o próprio objeto. Escapa assim ao observador terrestre. Mas aperceber-se-ia dela se adotasse um observatório imóvel, o éter <sup>(2)</sup>.

## CAPÍTULO 4.2.

### A relatividade «unilateral»

Eis então a explicação proposta por Lorentz, explicação que outro físico, Fitzgerald, também tivera a ideia. A linha  $OA$  contrair-se-ia pelo efeito do seu movimento, de modo a restabelecer a igualdade entre as duas viagens duplas. Se o comprimento de  $OA$ , que era  $l$  em repouso, se torna  $l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  quando esta linha se move com a velocidade  $v$ , o caminho percorrido pelo raio no éter já não será medido por  $\frac{2l}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , mas por  $\frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , e os dois percursos encontrar-se-ão efetivamente iguais. Será necessário, portanto, admitir que um corpo qualquer que se move com uma velocidade qualquer  $v$  sofre, no sentido do seu movimento, uma contração tal que a sua nova dimensão esteja para a antiga na razão de  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  para a unidade. Esta contração, naturalmente, atinge tanto a régua com que se mede o objeto como o próprio objeto. Escapa assim ao observador terrestre. Mas aperceber-se-ia dela se adotasse um observatório imóvel, o éter <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Ela comporta, aliás, condições de precisão tais que a diferença entre os dois percursos de luz, se existisse, não poderia deixar de se manifestar.

<sup>(2)</sup> Parece, à primeira vista, que em vez de uma contração longitudinal se poderia igualmente supor uma dilatação transversal, ou ainda uma e outra ao mesmo tempo, na proporção conveniente. Sobre este ponto, como sobre muitos outros, somos obrigados a deixar de lado as explicações dadas pela teoria da Relatividade. Limitamo-nos ao que interessa à nossa presente investigação.

Mais geralmente, chamemos  $S$  a um sistema imóvel no éter, e  $S'$  a outro exemplar deste sistema, um duplo, que inicialmente não era mais do que um com ele e que depois se separa em linha reta com a velocidade  $v$ . Logo que partiu,  $S'$  contrai-se no sentido do seu movimento. Tudo o que não é perpendicular à direção do movimento participa na contração. Se  $S$  fosse uma esfera,  $S'$  seria um elipsoide. Por esta contração explica-se que a experiência de Michelson-Morley dê os mesmos resultados que se a luz tivesse uma velocidade constante e igual a  $c$  em todas as direções.

Mas seria preciso saber também por que razão nós próprios, por nossa vez, medindo a velocidade da luz por experiências terrestres como as de Fizeau ou de Foucault, encontramos sempre o mesmo número  $c$ , qualquer que seja a velocidade da Terra em relação ao éter <sup>(1)</sup>. O observador imóvel no éter vai explicá-lo assim. Neste tipo de experiências, o raio de luz faz sempre o percurso duplo de ida e volta entre o ponto  $O$  e outro ponto,  $A$  ou  $B$ , da Terra, como na experiência Michelson-Morley. Aos olhos do observador que participa no movimento da Terra, o comprimento deste percurso duplo é, portanto,  $2l$ . Ora, dizemos que ele encontra invariavelmente para a luz a mesma velocidade  $c$ . É, portanto, porque invariavelmente o relógio consultado pelo experimentador no ponto  $O$  indica que um mesmo intervalo  $t$ , igual a  $\frac{2l}{c}$ , decorreu entre a partida e o regresso do raio. Mas o espectador estacionado no éter, que segue com os olhos o percurso efetuado nesse meio pelo raio, sabe bem que a distância percorrida é na realidade  $\frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Ele vê que o relógio móvel, se medisse o tempo como o relógio imóvel que guarda ao seu lado, marcaria um intervalo  $\frac{2l}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Visto que, no entanto, só marca  $\frac{2l}{c}$ , é porque o seu Tempo flui mais lentamente. Se, num mesmo intervalo entre dois acontecimentos, um relógio conta um menor número de segundos, cada um deles dura mais. O segundo do relógio ligado à Terra em movimento é,

portanto, mais longo do que o do relógio estacionário no éter imóvel. A sua duração é de  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Mas o habitante da Terra não o sabe.

---

<sup>(1)</sup> É importante, de facto, notar (muitas vezes omitiu-se fazê-lo) que não basta a contração de Lorentz para estabelecer, do ponto de vista do éter, a teoria completa da experiência de Michelson-Morley feita na Terra. É preciso juntar-lhe o alongamento do Tempo e o deslocamento das simultaneidades, tudo o que vamos reencontrar, após transposição, na teoria de Einstein. O ponto foi bem posto em evidência num interessante artigo de C. D. Broad, *Euclid, Newton and Einstein* (*Hibbert Journal*, abril de 1921).

### CAPÍTULO 4.3.

## Dilatação do Tempo

Mais geralmente, chamemos ainda  $S$  a um sistema imóvel no éter, e  $S'$  a um duplo deste sistema, que inicialmente coincidia com ele e depois se separa em linha reta com a velocidade  $v$ . Enquanto  $S'$  se contrai no sentido do seu movimento, o seu Tempo dilata-se. Uma personagem ligada ao sistema  $S$ , avistando  $S'$  e fixando a sua atenção num segundo do relógio de  $S'$  no momento preciso da duplicação, veria o segundo de  $S$  alongar-se sobre  $S'$  como um fio elástico que se puxa, como um traço que se olha com lupa. Entendamo-nos: nenhuma alteração se produziu no mecanismo do relógio, nem no seu funcionamento. O fenómeno não tem nada comparável ao alongamento de um pêndulo. Não é porque os relógios andam mais devagar que o Tempo se alongou; é porque o Tempo se alongou que os relógios, mantendo-se como estavam, se encontram a andar mais devagar. Pelo efeito do movimento, um tempo mais longo, estirado, dilatado, vem preencher o intervalo entre duas posições do ponteiro. Mesmo abrandamento, aliás, para todos os movimentos e todas as alterações do sistema, uma vez que cada um deles poderia igualmente tornar-se representativo do Tempo e erigir-se em relógio.

É verdade que supusemos que o observador terrestre acompanhava a ida e a volta do raio luminoso de  $O$  para  $A$  e de  $A$  para  $O$ , medindo a velocidade da luz sem consultar outro relógio além do situado no ponto  $O$ . O que aconteceria se medíssemos essa velocidade apenas na ida, consultando então dois relógios <sup>(1)</sup> colocados respectivamente nos pontos  $O$  e  $A$ ? Na verdade, em todas as medições terrestres da velocidade da luz, mede-se o percurso duplo do raio. Portanto, a experiência de que falamos nunca foi realizada. Mas nada prova que seja irrealizável. Vamos mostrar que ainda assim daria o mesmo valor para a velocidade da luz. Mas, para isso, recordemos em que consiste a concordância dos nossos relógios.

---

<sup>(1)</sup> Obviamente, chamamos relógio, neste parágrafo, a qualquer dispositivo que permita medir um intervalo de tempo ou situar exatamente dois instantes um em relação ao outro. Nas experiências relativas à velocidade da luz, a roda dentada de Fizeau, o espelho giratório de Foucault são relógios. Mais geral ainda será o sentido da palavra no conjunto deste estudo. Aplicar-se-á igualmente a um processo natural. Relógio será a Terra que gira.

Por outro lado, quando falamos do zero de um relógio e da operação pela qual se determinará a posição do zero noutra relógio para obter a concordância entre ambos, é apenas para fixar ideias que introduzimos mostradores e ponteiros. Dados dois dispositivos quaisquer, naturais ou artificiais, que sirvam para medir o tempo, e portanto dois movimentos, poderemos chamar zero a qualquer ponto, escolhido arbitrariamente como origem, da trajetória do primeiro móvel. A fixação do zero no segundo dispositivo consistirá simplesmente em marcar, no percurso do segundo móvel, o ponto que se considerará corresponder ao mesmo instante. Em suma, a «fixação do zero» deverá ser entendida no que se segue como a operação real ou ideal, efetuada ou simplesmente pensada, pela qual terão sido marcados respetivamente, nos dois dispositivos, dois pontos que denotam uma primeira simultaneidade.

### CAPÍTULO 4.4.

## Dislocação da Simultaneidade

Como se sincronizam dois relógios situados em lugares diferentes? Por uma comunicação estabelecida entre as duas pessoas encarregadas do ajuste. Ora, não há comunicação instantânea; e, como toda a transmissão leva tempo, foi necessário escolher a que se efetua em condições invariáveis. Apenas os sinais lançados através do éter respondem a esta exigência: toda a

transmissão por matéria ponderável depende do estado desta matéria e das mil circunstâncias que a modificam a cada instante. É, portanto, por sinais óticos, ou mais geralmente eletromagnéticos, que os dois operadores tiveram de comunicar entre si. A pessoa em  $O$  enviou à pessoa em  $A$  um raio de luz destinado a regressar imediatamente. E as coisas passaram-se como na experiência Michelson-Morley, com a diferença, porém, de que os espelhos foram substituídos por pessoas. Ficaram combinados entre os dois operadores em  $O$  e em  $A$  que o segundo marcaria zero no ponto onde estivesse o ponteiro do seu relógio no instante preciso em que o raio lhe chegasse. Desde então, o primeiro só teve de anotar no seu relógio o início e o fim do intervalo ocupado pela dupla viagem do raio: foi no meio do intervalo que situou o zero do seu relógio, já que queria que os dois zeros marcassem momentos «simultâneos» e que os dois relógios ficassem doravante sincronizados.

Aliás, seria perfeito se o percurso do sinal fosse o mesmo na ida e na volta, ou, por outras palavras, se o sistema ao qual os relógios  $O$  e  $A$  estão fixos estivesse imóvel no éter. Mesmo no sistema em movimento, ainda seria perfeito para o ajuste de dois relógios  $O$  e  $B$  situados numa linha perpendicular à direção do percurso: sabemos de facto que, se o movimento do sistema leva  $O$  a  $O'$ , o raio de luz percorre o mesmo caminho de  $O$  a  $B'$  que de  $B'$  a  $O'$ , sendo o triângulo  $OB'O'$  isósceles. Mas não é o mesmo para a transmissão do sinal de  $O$  para  $A$  e vice-versa. O observador que está em repouso absoluto no éter vê bem que os percursos são desiguais, pois, na primeira viagem, o raio lançado do ponto  $O$  tem de correr atrás do ponto  $A$  que foge, enquanto na viagem de regresso o raio reenviado do ponto  $A$  encontra o ponto  $O$  que vem ao seu encontro. Ou, se preferir, apercebe-se de que a distância  $OA$ , suposta idêntica nos dois casos, é percorrida pela luz com uma velocidade relativa  $c - v$  na primeira,  $c + v$  na segunda, de modo que os tempos de percurso estão entre si na razão de  $c + v$  para  $c - v$ . Ao marcar o zero no meio do intervalo que o ponteiro do relógio percorreu entre a partida e o regresso do raio, coloca-se, aos olhos do nosso observador imóvel, demasiado perto do ponto de partida. Calculemos o montante do erro. Dissemos há pouco que o intervalo percorrido pelo ponteiro no mostrador durante o percurso duplo de ida e volta do sinal é  $\frac{2l}{c}$ . Se, portanto, no momento da emissão do sinal, se marcou um zero provisório no ponto onde estava o ponteiro, é no ponto  $\frac{l}{c}$  do mostrador que se terá colocado o zero definitivo  $M$  que corresponde, diz-se, ao zero definitivo do relógio em  $A$ . Mas o observador imóvel sabe que o zero definitivo do relógio em  $O$ , para corresponder realmente ao zero do relógio em  $A$ , para lhe ser simultâneo, deveria ter sido colocado num ponto que dividisse o intervalo  $\frac{2l}{c}$  não em partes iguais, mas em partes proporcionais a  $c + v$  e  $c - v$ . Chamemos  $x$  à primeira destas duas partes. Teremos

$$\frac{x}{\frac{2l}{c} - x} = \frac{c + v}{c - v}$$

e, portanto,

$$x = \frac{l}{c} + \frac{lv}{c^2}.$$

O que equivale a dizer que, para o observador imóvel, o ponto  $M$  onde se marcou o zero definitivo está  $\frac{lv}{c^2}$  demasiado perto do zero provisório, e que, se se quiser deixá-lo onde está, dever-se-ia, para ter uma simultaneidade real entre os zeros definitivos dos dois relógios, recuar  $\frac{lv}{c^2}$  o zero definitivo do relógio em  $A$ . Em suma, o relógio em  $A$  está sempre atrasado de um intervalo de mostrador  $\frac{lv}{c^2}$  em relação à hora que deveria marcar. Quando o ponteiro está no ponto que convencionaremos chamar  $t'$  (reservamos a designação  $t$  para o tempo dos relógios imóveis no éter), o observador imóvel diz para si que, se estivesse realmente sincronizado com o relógio em  $O$ , marcaria  $t' + \frac{lv}{c^2}$ .

Então, o que acontecerá quando operadores colocados respetivamente em  $O$  e em  $A$  quiserem medir a velocidade da luz anotando, nos relógios sincronizados que estão nesses dois pontos, o momento da partida, o momento da chegada e, portanto, o tempo que a luz leva a percorrer o intervalo?

Acabámos de ver que os zeros dos dois relógios foram colocados de tal forma que um raio de luz parecesse sempre, para quem considerasse os relógios concordantes, demorar o mesmo tempo a ir de  $O$  para  $A$  e a voltar. Os nossos dois físicos encontrarão, portanto, naturalmente que o tempo da viagem de  $O$  para  $A$ , contado através dos dois relógios colocados respetivamente em  $O$  e em  $A$ , é igual à metade do tempo total, contado apenas no relógio em  $O$ , da viagem completa de ida e volta. Ora, sabemos que a duração desta viagem dupla, contada no relógio em  $O$ , é sempre a mesma, qualquer que seja a velocidade do sistema. Será, portanto, o mesmo para a duração da viagem única, contada por este novo processo com dois relógios: constatar-se-á, conseqüentemente, mais uma vez a constância da velocidade da luz. O observador imóvel no éter seguirá, aliás, ponto por ponto o que se passou. Aperceber-se-á de que a distância percorrida pela luz de  $O$  para  $A$  está para a distância percorrida de  $A$  para  $O$  na razão de  $c + v$  para  $c - v$ , em vez de lhe ser igual. Constatará que, o zero do segundo relógio não concordando com o do primeiro, os tempos de ida e de volta, que parecem iguais quando se comparam as indicações dos dois relógios, estão na realidade na razão de  $c + v$  para  $c - v$ . Houve, portanto, dirá ele, erro sobre o comprimento do percurso e erro sobre a duração da viagem, mas os dois erros compensam-se, porque é o mesmo duplo erro que presidiu outrora ao acerto dos dois relógios um com o outro.

Assim, quer se conte o tempo num único relógio, num lugar determinado, quer se utilizem dois relógios distantes um do outro; em ambos os casos obter-se-á, no interior do sistema móvel  $S'$ , o mesmo número para a velocidade da luz. Os observadores ligados ao sistema móvel julgarão que a segunda experiência confirma a primeira. Mas o espectador imóvel, sentado no éter, concluirá simplesmente que tem duas correções a fazer, em vez de uma, para tudo o que diz respeito ao tempo indicado pelos relógios do sistema  $S'$ . Já tinha constatado que esses relógios andavam demasiado devagar. Dir-se-á agora que os relógios escalonados ao longo da direção do movimento atrasam-se ainda uns em relação aos outros. Suponhamos mais uma vez que o sistema móvel  $S'$  se destacou, como um duplo, do sistema imóvel  $S$ , e que a dissociação ocorreu no momento em que um relógio  $H'_0$  do sistema móvel  $S'$ , coincidindo com o relógio  $H_0$  do sistema  $S$ , marcava zero como ele. Consideremos então no sistema  $S'$  um relógio  $H'_1$ , colocado de tal forma que a reta  $\overrightarrow{H'_0 H'_1}$  indique a direção do movimento do sistema, e chamemos  $l$  o comprimento dessa reta. Quando o relógio  $H'_1$  marca a hora  $t'$ , o observador imóvel diz agora com razão que, o relógio  $H'_1$  atrasando-se de um intervalo de mostrador  $\frac{lv}{c^2}$  em relação ao relógio  $H'_0$  deste sistema, decorreu na realidade um número  $t' + \frac{lv}{c^2}$  de segundos do sistema  $S'$ . Mas já sabia que, visto o abrandamento do tempo pelo efeito do movimento, cada um desses segundos aparentes vale, em segundos reais,  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Calculará, portanto, que se o relógio  $H'_1$  der a indicação  $t'$ , o tempo realmente decorrido é  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}(t' + \frac{lv}{c^2})$ . Consultando, aliás, nesse momento um dos relógios do seu sistema imóvel, verificará que a hora  $t'$  marcada por ele é precisamente esse número.

Mas, mesmo antes de se ter apercebido da correção a fazer para passar do tempo  $t'$  para o tempo  $t$ , teria percebido o erro que se comete, no interior do sistema móvel, na apreciação da simultaneidade. Tê-lo-ia apanhado em flagrante ao assistir ao acerto dos relógios. Consideremos, com efeito, sobre a linha  $H'_0 H'_1$  indefinidamente prolongada deste sistema, um grande número de relógios  $H'_0, H'_1, H'_2 \dots$  etc., separados uns dos outros por intervalos iguais  $l$ . Quando  $S'$  coincidia com  $S$  e encontrava-se, portanto, imóvel no éter, os sinais óticos que iam e vinham entre dois relógios consecutivos faziam percursos iguais em ambos os sentidos. Se todos os relógios assim acordados entre si marcavam a mesma hora, era realmente no mesmo instante. Agora que  $S'$  se destacou de  $S$  pelo efeito da dissociação, a personagem interior a  $S'$ , que não sabe que está em

movimento, deixa os seus relógios  $H'_0, H'_1, H'_2 \dots$  etc. como estavam; acredita em simultaneidades reais quando os ponteiros indicam o mesmo número do mostrador. Além disso, se tiver uma dúvida, procede novamente ao acerto: encontra simplesmente a confirmação do que tinha observado na imobilidade. Mas o espectador imóvel, que vê como o sinal ótico faz agora mais caminho para ir de  $H'_0$  para  $H'_1$ , de  $H'_1$  para  $H'_2$ , etc., do que para voltar de  $H'_1$  para  $H'_0$ , de  $H'_2$  para  $H'_1$ , etc., apercebe-se de que, para haver simultaneidade real quando os relógios marcam a mesma hora, seria necessário que o zero do relógio  $H'_1$  fosse recuado de  $\frac{lv}{c^2}$ , que o zero do relógio  $H'_2$  fosse recuado de  $\frac{2lv}{c^2}$ , etc. De real, a simultaneidade tornou-se nominal. Curvou-se em sucessão.

#### CAPÍTULO 4.5.

### Contração longitudinal

Em resumo, acabámos de procurar como a luz podia ter a mesma velocidade para o observador fixo e para o observador em movimento: o aprofundamento deste ponto revelou-nos que um sistema  $S'$ , resultante da duplicação de um sistema  $S$  e movendo-se em linha reta com uma velocidade  $v$ , sofria modificações singulares. Formulá-las-íamos assim:

1. Todos os comprimentos de  $S'$  contraíram-se no sentido do seu movimento. O novo comprimento está para o antigo na razão de  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  para a unidade.
2. O Tempo do sistema dilatou-se. O novo segundo está para o antigo na razão da unidade para  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ .
3. O que era simultaneidade no sistema  $S$  tornou-se geralmente sucessão no sistema  $S'$ . Só permanecem contemporâneos em  $S'$  os acontecimentos, contemporâneos em  $S$ , que estão situados num mesmo plano perpendicular à direção do movimento. Quaisquer outros dois acontecimentos, contemporâneos em  $S$ , estão separados em  $S'$  por  $\frac{lv}{c^2}$  segundos do sistema  $S'$ , se designarmos por  $l$  a sua distância contada na direção do movimento do seu sistema, ou seja, a distância entre os dois planos, perpendiculares a essa direção, que passam respetivamente por cada um deles.

Em suma, o sistema  $S'$ , considerado no Espaço e no Tempo, é um duplo do sistema  $S$  que se contraiu, quanto ao espaço, no sentido do seu movimento; que dilatou, quanto ao tempo, cada um dos seus segundos; e que, finalmente, no tempo, deslocou em sucessão toda a simultaneidade entre dois acontecimentos cuja distância se estreitou no espaço. Mas estas mudanças escapam ao observador que faz parte do sistema móvel. Só o observador fixo se apercebe delas.

#### CAPÍTULO 4.6.

### Significação concreta dos termos que entram nas fórmulas de Lorentz

Suponho então que estes dois observadores, Pierre e Paul, possam comunicar entre si. Pierre, que sabe como as coisas estão, diria a Paul: «No momento em que te separaste de mim, o teu sistema achatou-se, o teu Tempo inchou, os teus relógios desacetaram-se. Eis as fórmulas de correção que te permitirão regressar à verdade. A ti cabe ver o que deves fazer com elas». É evidente que Paul responderia: «Não farei nada, porque, prática e cientificamente, tudo se tornaria incoerente dentro do

meu sistema. Dizes que os comprimentos se contraíram? Mas o mesmo aconteceu então ao metro que uso para os medir; e como a medição desses comprimentos, dentro do meu sistema, é a sua relação com o metro assim deslocado, essa medição deve manter-se como estava». O Tempo, dizes ainda, dilatou-se, e contas mais de um segundo onde os meus relógios marcam apenas um? Mas se supusermos que  $S$  e  $S'$  são dois exemplares do planeta Terra, o segundo de  $S'$ , como o de  $S$ , é por definição uma certa fração determinada do tempo de rotação do planeta; e por muito que não tenham a mesma duração, cada uma delas não deixa de ser um segundo. Simultaneidades tornaram-se sucessões? Relógios situados nos pontos  $H'_1, H'_2, H'_1$  indicam todos a mesma hora quando há três momentos diferentes? Mas, nos momentos diferentes em que marcam no meu sistema a mesma hora, ocorrem nos pontos  $H'_1, H'_2, H'_1$  do meu sistema acontecimentos que, no sistema  $S$ , eram legitimamente assinalados como contemporâneos: convenho então em continuar a chamar-lhes contemporâneos, para não ter de considerar de uma nova maneira as relações destes acontecimentos entre si primeiro, e depois com todos os outros. Assim conservarei todas as tuas sequências, todas as tuas relações, todas as tuas explicações. Se denominasse sucessão o que eu chamava simultaneidade, teria um mundo incoerente, ou construído sobre um plano absolutamente diferente do teu. Assim todas as coisas e todas as relações entre coisas conservarão a sua grandeza, permanecerão nos mesmos quadros, enquadrar-se-ão nas mesmas leis. Posso portanto agir como se nenhum dos meus comprimentos tivesse encolhido, como se o meu Tempo não se tivesse dilatado, como se os meus relógios estivessem acertados. Isto, pelo menos, no que diz respeito à matéria ponderável, aquela que arrasto comigo no movimento do meu sistema: mudanças profundas ocorreram nas relações temporais e espaciais que as suas partes mantêm entre si, mas não me apercebo disso e não tenho de me aperceber.

Agora, devo acrescentar que considero estas mudanças benéficas. Deixemos, com efeito, a matéria ponderável. Qual não seria a minha situação face à luz, e mais genericamente aos fenómenos eletromagnéticos, se as minhas dimensões de espaço e tempo tivessem permanecido o que eram! Estes acontecimentos não são arrastados, eles, no movimento do meu sistema. Ondas luminosas, perturbações eletromagnéticas podem muito bem ter origem num sistema móvel: a experiência prova que não adotam o seu movimento. O meu sistema móvel deposita-as ao passar, por assim dizer, no éter imóvel, que desde então se encarrega delas. Mesmo que o éter não existisse, inventá-lo-íamos para simbolizar este facto experimentalmente constatado, a independência da velocidade da luz em relação ao movimento da fonte que a emitiu. Ora, neste éter, perante estes fenómenos óticos, no meio destes acontecimentos eletromagnéticos, tu estás sentado, imóvel. Mas eu atravesso-os, e o que tu observas do teu observatório fixo no éter arriscava aparecer-me, a mim, de modo totalmente diferente. A ciência do eletromagnetismo, que tão laboriosamente construístes, teria de ser refeita para mim; teria de modificar as minhas equações, uma vez estabelecidas, para cada nova velocidade do meu sistema. Que teria eu feito num universo assim construído? Ao preço de que liquefação de toda a ciência teria sido comprada a solidez das relações temporais e espaciais! Mas graças à contração dos meus comprimentos, à dilatação do meu Tempo, à deslocação das minhas simultaneidades, o meu sistema torna-se, face aos fenómenos eletromagnéticos, a contrafação exata de um sistema fixo. Por mais que corra à vontade ao lado de uma onda luminosa: esta conservará sempre para ele a mesma velocidade, ele será como imóvel face a ela. Tudo está portanto para o melhor, e é um bom génio que assim dispôs as coisas.

Há, no entanto, um caso em que terei de ter em conta as tuas indicações e modificar as minhas medições. É quando se tratar de construir uma representação matemática integral do universo, quero dizer de tudo o que acontece em todos os mundos que se movem em relação a ti com todas as velocidades. Para estabelecer esta representação que nos daria, uma vez completa e perfeita, a relação de tudo com tudo, será necessário definir cada ponto do universo pelas suas distâncias  $x, y, z$  a três planos retangulares determinados, que se declararão imóveis, e que se cruzarão segundo os

eixos  $OX, OY, OZ$ . Por outro lado, os eixos  $OX, OY, OZ$  que se escolherão de preferência a todos os outros, os únicos eixos realmente e não convencionalmente imóveis, são os que se darão no teu sistema fixo. Ora, no sistema em movimento onde me encontro, refiro as minhas observações a eixos  $O'X', O'Y', O'Z'$  que este sistema arrasta consigo, e é pelas distâncias  $x', y', z'$  aos três planos que se cruzam segundo estas linhas que se define aos meus olhos qualquer ponto do meu sistema. Uma vez que é do teu ponto de vista, imóvel, que se deve construir a representação global do Todo, é necessário que eu encontre o meio de referir as minhas observações aos teus eixos  $OX, OY, OZ$ , ou, por outras palavras, que estabeleça de uma vez por todas fórmulas mediante as quais poderei, conhecendo  $x', y'$  e  $z'$ , calcular  $x, y$  e  $z$ . Mas isso será-me fácil, graças às indicações que acabas de me fornecer. Primeiro, para simplificar as coisas, suporei que os meus eixos  $O'X', O'Y', O'Z'$  coincidem com os teus antes da dissociação dos dois mundos  $S$  e  $S'$  (que valerá a pena, para a clareza da presente demonstração, tornar desta vez completamente diferentes um do outro), e suporei também que  $OX$ , e conseqüentemente  $O'X'$ , marcam a direção exata do movimento de  $S'$ . Nestas condições, é claro que os planos  $Z'O'X', X'O'Y'$ , apenas deslizam respetivamente sobre os planos  $ZOX, XOY$ , que coincidem sem cessar com eles, e que por conseguinte  $y$  e  $y'$  são iguais,  $z$  e  $z'$  também. Resta então calcular  $x$ . Se, desde o momento em que  $O'$  deixou  $O$ , contei no relógio que está no ponto  $x', y', z'$  um tempo  $t'$ , represento naturalmente a distância do ponto  $x', y', z'$  ao plano  $ZOY$  como igual a  $x' + vt'$ . Mas, dada a contração que me assinalas, este comprimento  $x' + vt'$  não coincidiria com o teu  $x$ ; coincidiria com  $x\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . E por consequência o que tu chamas  $x$  é  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}(x' + vt')$ . Eis o problema resolvido. Não esquecerei, além disso, que o tempo  $t'$ , que decorreu para mim e que me indica o meu relógio colocado no ponto  $x', y', z'$ , é diferente do teu. Quando este relógio me deu a indicação  $t'$ , o tempo  $t$  contado pelos teus é, como dizias,  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}(t' + \frac{vx'}{c^2})$ . Tal é o tempo  $t$  que te assinalarei. Para o tempo como para o espaço, terei passado do meu ponto de vista para o teu.

Assim falaria Paul. E ao mesmo tempo teria estabelecido as famosas «*equações de transformação*» de Lorentz, equações que, aliás, se nos colocarmos do ponto de vista mais geral de Einstein, não implicam que o sistema  $S$  seja definitivamente fixo. Mostraremos, com efeito, dentro em pouco como, segundo Einstein, se pode fazer de  $S$  um sistema qualquer, provisoriamente imobilizado pelo pensamento, e como será então necessário atribuir a  $S'$ , considerado do ponto de vista de  $S$ , as mesmas deformações temporais e espaciais que Pierre atribuía ao sistema de Paul. Na hipótese, sempre admitida até agora, de um Tempo único e de um Espaço independente do Tempo, é evidente que se  $S'$  se move em relação a  $S$  com a velocidade constante  $v$ , se  $x', y', z'$  são as distâncias de um ponto  $M'$  do sistema  $S'$  aos três planos determinados pelos três eixos retangulares, tomados dois a dois,  $O'X', O'Y', O'Z'$ , e se enfim  $x, y, z$  são as distâncias desse mesmo ponto aos três planos retangulares fixos com os quais os três planos móveis se confundiam inicialmente, tem-se:

$$\begin{aligned}x &= x' + vt' \\y &= y' \\z &= z'\end{aligned}$$

Como, além disso, o mesmo tempo se desenrola invariavelmente para todos os sistemas, tem-se:

$$t = t'.$$

Mas se o movimento determina contrações de comprimento, um abrandamento do tempo, e faz com que, no sistema com tempo dilatado, os relógios não marquem mais do que uma hora local, resulta das explicações trocadas entre Pierre e Paul que se terá:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x' + vt') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( t' + \frac{vx'}{c^2} \right) \end{aligned}$$

①

Daí uma nova fórmula para a composição das velocidades. Suponhamos, com efeito, que o ponto  $M'$  se mova com um movimento uniforme, no interior de  $S'$ , paralelamente a  $O'X'$ , com uma velocidade  $v'$ , medida naturalmente por  $\frac{x'}{t'}$ . Qual será a sua velocidade para o espectador sentado em  $S$  e que reporta as posições sucessivas do móvel aos seus eixos  $OX, OY, OZ$ ? Para obter essa velocidade  $v''$ , medida por  $\frac{x''}{t''}$ , devemos dividir membro a membro a primeira e a quarta das equações acima, e teremos:

$$v'' = \frac{v + v'}{1 + \frac{vv'}{c^2}}$$

ao passo que até aqui a mecânica estabelecia:

$$v'' = v + v'$$

Portanto, se  $S$  é a margem de um rio e  $S'$  um barco que avança com a velocidade  $v$  em relação à margem, um viajante que se desloca no convés do barco na direção do movimento com a velocidade  $v'$  não tem, aos olhos do espectador imóvel na margem, a velocidade  $v + v'$ , como se dizia até agora, mas uma velocidade inferior à soma das duas velocidades componentes. Pelo menos é assim que as coisas parecem à primeira vista. Na realidade, a velocidade resultante é bem a soma das duas velocidades componentes, se a velocidade do viajante no barco for medida da margem, como a velocidade do próprio barco. Medida do barco, a velocidade  $v'$  do viajante é  $\frac{x'}{t'}$ , se chamarmos, por exemplo,  $x'$  o comprimento que o viajante encontra no barco (comprimento para ele invariável, visto que o barco está sempre em repouso para ele) e  $t'$  o tempo que leva para o percorrer, ou seja, a diferença entre as horas que marcam à sua partida e à sua chegada dois relógios colocados respetivamente na popa e na proa (supomos um barco imensamente longo cujos relógios só poderiam ter sido acordados entre si por sinais transmitidos à distância). Mas, para o espectador imóvel na margem, o barco contraiu-se quando passou do repouso ao movimento, o Tempo dilatou-se nele, os relógios já não estão de acordo. O espaço percorrido aos seus olhos pelo viajante no barco não é, portanto, mais  $x'$  (se  $x'$  era o comprimento do cais com o qual o barco imóvel coincidia), mas  $x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ; e o tempo gasto para percorrer esse espaço não é  $t'$ , mas  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( t' + \frac{vx'}{c^2} \right)$ . Concluirá então que a velocidade a adicionar a  $v$  para obter  $v''$  não é  $v'$ , mas

$$\frac{x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( t' + \frac{vx'}{c^2} \right)}$$

, ou seja,

$$\frac{v' \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)}{1 + \frac{vv'}{c^2}}$$

. Terá então:

$$v'' = v + \frac{v' \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{1 + \frac{vv'}{c^2}} = \frac{v + v'}{1 + \frac{vv'}{c^2}}$$

Pelo que se vê que nenhuma velocidade poderia exceder a da luz, toda a composição de uma velocidade qualquer  $v'$  com uma velocidade  $v$  suposta igual a  $c$  dando sempre por resultante essa mesma velocidade  $c$ .

Tais são, portanto, para retomar a nossa primeira hipótese, as fórmulas que Paul terá presentes no espírito se quiser passar do seu ponto de vista para o de Pierre e obter assim — todos os observadores ligados a todos os sistemas móveis  $S''$ ,  $S'''$ , etc. tendo feito o mesmo — uma representação matemática integral do universo. Se tivesse podido estabelecer as suas equações diretamente, sem intervenção de Pierre, tê-las-ia igualmente fornecido a Pierre para lhe permitir, conhecendo  $x, y, z, t, v''$ , calcular  $x', y', z', t', v'$ . Resolvamos, com efeito, as equações ① em relação a  $x', y', z', t', v'$ ; delas tiramos imediatamente:

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$

$$v' = \frac{v - v''}{1 - \frac{vv''}{c^2}}$$

equações que se dão mais habitualmente para a transformação de Lorentz<sup>(1)</sup>. Mas pouco importa para o momento. Queríamos apenas, ao reencontrar estas fórmulas termo a termo, ao definir as percepções de observadores colocados num ou noutro sistema, preparar a análise e demonstração que são o objeto do presente trabalho.

<sup>(1)</sup> Importa notar que, se acabamos de reconstituir as fórmulas de Lorentz comentando a experiência Michelson-Morley, é com o objetivo de mostrar o significado concreto de cada um dos termos que as compõem. A verdade é que o grupo de transformação descoberto por Lorentz assegura, de uma maneira geral, a invariância das equações do eletromagnetismo.

## CAPÍTULO 5.

# A relatividade completa

Deslizámos por um instante do ponto de vista que chamaremos o da «relatividade unilateral» para o da reciprocidade, que é próprio de Einstein. Apresse-mo-nos a retomar a nossa posição. Mas digamos desde já que a contração dos corpos em movimento, a dilatação do seu Tempo, a dislocação da simultaneidade em sucessão, serão conservadas tais quais na teoria de Einstein: não haverá nada a mudar nas equações que acabamos de estabelecer, nem mais genericamente no que dissemos do sistema  $S'$  nas suas relações temporais e espaciais com o sistema  $S$ . Apenas estas contrações de extensão, estas dilatações de Tempo, estas rupturas de simultaneidade tornar-se-ão explicitamente recíprocas (já o são implicitamente, pela própria forma das equações), e o observador em  $S'$  repetirá de  $S$  tudo o que o observador em  $S$  tinha afirmado de  $S'$ . Por aí se esvanecerá, como também mostraremos, o que havia de paradoxal na teoria da Relatividade: pretendemos que o Tempo único e a Extensão independente da duração subsistem na hipótese de Einstein tomada no seu estado puro: permanecem o que sempre foram para o senso comum. Mas é

quase impossível chegar à hipótese de uma relatividade dupla sem passar pela da relatividade simples, onde ainda se coloca um ponto de referência absoluto, um éter imóvel. Mesmo quando se *concebe* a relatividade no segundo sentido, ainda se a vê um pouco no primeiro; porque por mais que se diga que só existe o movimento recíproco de  $S$  e  $S'$  um em relação ao outro, não se estuda essa reciprocidade sem adotar um dos dois termos,  $S$  ou  $S'$ , como «*sistema de referência*»: ora, assim que um sistema foi assim imobilizado, torna-se provisoriamente um ponto de referência absoluto, um sucedâneo do éter. Em suma, o repouso absoluto, expulso pelo entendimento, é restabelecido pela imaginação. Do ponto de vista matemático, isso não tem inconveniente. Que o sistema  $S$ , adotado como sistema de referência, esteja em repouso absoluto no éter, ou que esteja apenas em repouso em relação a todos os sistemas com que se comparará, em ambos os casos o observador colocado em  $S$  tratará da mesma maneira as medidas do tempo que lhe forem transmitidas de todos os sistemas como  $S'$ ; em ambos os casos aplicará-lhes as fórmulas de transformação de Lorentz. As duas hipóteses equivalem-se para o matemático. Mas não é o mesmo para o filósofo. Porque se  $S$  está em repouso absoluto, e todos os outros sistemas em movimento absoluto, a teoria da Relatividade implicará efetivamente a existência de Tempos múltiplos, todos no mesmo plano e todos reais. Mas se, pelo contrário, nos colocarmos na hipótese de Einstein, os Tempos múltiplos subsistirão, mas nunca haverá mais do que um real, como nos propomos demonstrar: os outros serão ficções matemáticas. É por isso, a nosso ver, que todas as dificuldades filosóficas relativas ao tempo se esvanecem se nos ativermos estritamente à hipótese de Einstein, mas também todas as estranhezas que desnortearam tantos espíritos. Não precisamos, portanto, de nos alongar sobre o sentido a dar à «*deformação dos corpos*», ao «*ralentamento do tempo*» e à «*ruptura da simultaneidade*» quando se acredita no éter imóvel e no sistema privilegiado. Bastar-nos-á procurar como se devem compreender na hipótese de Einstein. Lançando então um olhar retrospectivo sobre o primeiro ponto de vista, reconhecer-se-á que era necessário colocar-se nele primeiro, julgar-se-á natural a tentação de a ele voltar mesmo depois de adotado o segundo; mas ver-se-á também como os falsos problemas surgem do simples facto de imagens serem emprestadas a um para sustentar as abstrações correspondentes ao outro.

## CAPÍTULO 5.1.

### Da reciprocidade do movimento

Imaginámos um sistema  $S$  em repouso no éter imóvel, e um sistema  $S'$  em movimento em relação a  $S$ . Ora, o éter nunca foi percebido; foi introduzido na física para servir de suporte a cálculos. Pelo contrário, o movimento de um sistema  $S'$  em relação a um sistema  $S$  é para nós um facto de observação. Deve considerar-se também como um facto, até nova ordem, a constância da velocidade da luz para um sistema que muda de velocidade como quiser, e cuja velocidade pode descer consequentemente até zero. Retomemos então as três afirmações de onde partimos: 1º  $S'$  desloca-se em relação a  $S$ ; 2º a luz tem a mesma velocidade para um e para o outro; 3º  $S$  estaciona num éter imóvel. É claro que duas delas enunciam factos, e a terceira uma hipótese. Rejeitemos a hipótese: ficamos apenas com os dois factos. Mas então o primeiro não se formulará mais da mesma maneira. Anunciávamos que  $S'$  se desloca em relação a  $S$ : por que não diríamos igualmente que era  $S$  que se deslocava em relação a  $S'$ ? Simplesmente porque  $S$  era suposto participar na imobilidade absoluta do éter. Mas já não há éter<sup>(1)</sup>, nem fixidez absoluta em parte alguma. Poderemos portanto dizer, à vontade, que  $S'$  se move em relação a  $S$ , ou que  $S$  se move em relação a  $S'$ , ou melhor que  $S$  e  $S'$  se movem um em relação ao outro. Em suma, o que é realmente dado é uma reciprocidade de deslocamento. Como poderia ser de outro modo, já que o movimento percebido no espaço não é mais do que uma variação contínua de distância? Se

considerarmos dois pontos *A* e *B* e o deslocamento de «*um deles*», tudo o que o olho observa, tudo o que a ciência pode notar, é a mudança de comprimento do intervalo<sup>(2)</sup>. A linguagem exprimirá o facto dizendo que *A* se move, ou que é *B*. Tem a escolha; mas estaria mais próximo ainda da experiência dizendo que *A* e *B* se movem um em relação ao outro, ou mais simplesmente que o afastamento entre *A* e *B* diminui ou aumenta. A «*reciprocidade*» do movimento é portanto um facto de observação. Poder-se-ia reconhecê-la *a priori* como uma condição da ciência, porque a ciência opera apenas sobre medidas, a medida incide geralmente sobre comprimentos, e, quando um comprimento cresce ou decresce, não há razão para privilegiar uma das extremidades: tudo o que se pode afirmar é que o afastamento aumenta ou diminui entre as duas<sup>(3)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Falamos, bem entendido, apenas de um éter fixo, constituindo um sistema de referência privilegiado, único, absoluto. Mas a hipótese do éter, convenientemente emendada, pode muito bem ser retomada pela teoria da Relatividade. Einstein é dessa opinião (Ver a sua conferência de 1920 sobre «O Éter e a Teoria da Relatividade»). Já, para conservar o éter, se tinha procurado utilizar certas ideias de Larmor. (Cf. Cunningham, *The Principle of Relativity*, Cambridge, 1911, cap. xvi).

<sup>(2)</sup> Sobre este ponto, e sobre a «reciprocidade» do movimento, chamámos a atenção em *Matéria e Memória*, Paris, 1896, cap. IV, e na *Introdução à Metafísica* (*Revista de Metafísica e Moral*, janeiro de 1903).

<sup>(3)</sup> Ver sobre este ponto, em *Matéria e Memória*, as páginas 214 e seguintes.

## CAPÍTULO 5.2.

### Movimento relativo e movimento absoluto

Certamente, está longe de ser que todo o movimento se reduza ao que dele é percebido no espaço. Além dos movimentos que observamos apenas exteriormente, há aqueles que sentimos produzir em nós mesmos. Quando Descartes falava da reciprocidade do movimento<sup>(1)</sup>, não foi sem razão que Morus lhe respondeu: «*Se estou sentado tranquilo, e que outro, afastando-se mil passos, fique vermelho de fadiga, é bem ele que se move e sou eu que descanso*<sup>(2)</sup>.» Tudo o que a ciência nos poderá dizer sobre a relatividade do movimento percebido pelos nossos olhos, medido pelas nossas régua e relógios, deixará intacto o sentimento profundo que temos de realizar movimentos e de fornecer esforços de que somos os dispensadores. Que a personagem de Morus, «*sentada muito tranquila*», tome a resolução de correr por sua vez, que se levante e corra: por mais que se sustente que a sua corrida é um deslocamento recíproco do seu corpo e do solo, que ele se move se o nosso pensamento imobiliza a Terra, mas que é a Terra que se move se decretarmos imóvel o corredor, ele nunca aceitará o decreto, sempre declarará que percebe imediatamente o seu ato, que esse ato é um facto, e que o facto é unilateral. Esta consciência que ele tem de movimentos decididos e executados, todos os outros homens e a maioria sem dúvida dos animais possuem-na igualmente. E, dado que os seres vivos realizam assim movimentos que são deles próprios, que se ligam unicamente a eles, que são percebidos interiormente, mas que, considerados exteriormente, já não aparecem aos olhos senão como uma reciprocidade de deslocamento, pode-se conjecturar que assim acontece com os movimentos relativos em geral, e que uma reciprocidade de deslocamento é a manifestação aos nossos olhos de uma mudança interna, absoluta, que se produz algures no espaço. Insistimos neste ponto num trabalho que intitulámos *Introdução à Metafísica*. Tal nos parecia ser a função do metafísico: deve penetrar no interior das coisas; e a essência verdadeira, a realidade profunda de um movimento nunca lhe pode ser melhor revelada do que quando realiza o movimento ele mesmo, quando o percebe sem dúvida ainda exteriormente como todos os outros movimentos, mas o apreende além disso interiormente como um esforço, do qual apenas o traço era visível. Porém, o metafísico só obtém esta percepção direta, interior e segura, para os movimentos que ele próprio realiza. Só desses pode garantir que são atos reais, movimentos absolutos. Já para os movimentos realizados por outros seres vivos, não é em virtude de uma percepção direta, é por simpatia, é por razões de analogia que os erigirá em realidades independentes. E dos movimentos da matéria em geral nada poderá dizer, senão que há provavelmente mudanças internas, análogas ou não a esforços, que se realizam não se sabe onde e

que se traduzem aos nossos olhos, como os nossos próprios atos, por deslocamentos recíprocos de corpos no espaço. Não temos, portanto, de ter em conta o movimento absoluto na construção da ciência: só excepcionalmente sabemos onde ele se produz, e, mesmo então, a ciência nada teria a ver com isso, pois não é mensurável e a ciência tem por função medir. A ciência não pode e não deve reter da realidade senão o que está desdobrado no espaço, homogêneo, mensurável, visual. O movimento que estuda é, portanto, sempre relativo e só pode consistir numa reciprocidade de deslocamento. Enquanto Morus falava como metafísico, Descartes marcava com uma precisão definitiva o ponto de vista da ciência. Ia mesmo muito além da ciência do seu tempo, além da mecânica newtoniana, além da nossa, formulando um princípio que estava reservado a Einstein dar-lhe a demonstração.

---

<sup>(1)</sup> *Descartes, Principes, ii, 29.*

<sup>(2)</sup> *H. Morus, Scripta philosophica, 1679, t. II, p. 218.*

## CAPÍTULO 5.3.

### De Descartes a Einstein

Pois é um facto notável que a relatividade radical do movimento, postulada por Descartes, não tenha podido ser afirmada categoricamente pela ciência moderna. A ciência, tal como é entendida desde Galileu, desejava sem dúvida que o movimento fosse relativo. De bom grado, declarava-o como tal. Mas era de forma fraca e incompleta que o tratava em consequência. Havia duas razões para isso. Primeiro, a ciência só choca o senso comum na medida do estritamente necessário. Ora, se todo o movimento retilíneo e não acelerado é evidentemente relativo, se portanto, aos olhos da ciência, a via está tão bem em movimento em relação ao comboio como o comboio em relação à via, o sábio não deixará de dizer que a via está imóvel; falará como toda a gente quando não tiver interesse em exprimir-se de outro modo. Mas aí não está o essencial. A razão pela qual a ciência nunca insistiu na relatividade radical do movimento uniforme é que se sentia incapaz de estender essa relatividade ao movimento acelerado: pelo menos teve de renunciar provisoriamente. Mais de uma vez, ao longo da sua história, sofreu uma necessidade deste género. De um princípio imanente ao seu método, sacrifica algo a uma hipótese imediatamente verificável e que dá logo resultados úteis: se a vantagem se mantiver, será que a hipótese era verdadeira por um lado, e desde então essa hipótese talvez um dia tenha contribuído definitivamente para estabelecer o princípio que tinha provisoriamente feito afastar. É assim que o dinamismo newtoniano pareceu cortar o desenvolvimento do mecanismo cartesiano. Descartes colocava que tudo o que releva da física está estendido em movimento no espaço: por aí dava a fórmula ideal do mecanismo universal. Mas manter-se nessa fórmula teria sido considerar globalmente a relação de tudo com tudo; não se podia obter uma solução, ainda que provisória, dos problemas particulares sem recortar e isolar mais ou menos artificialmente partes no conjunto: ora, desde que se negligencia a relação, introduz-se força. Esta introdução não era senão essa mesma eliminação; exprimia a necessidade em que se encontra a inteligência humana de estudar a realidade parte por parte, impotente que é para formar de uma só vez uma concepção ao mesmo tempo sintética e analítica do conjunto. O dinamismo de Newton podia portanto ser — e revelou-se ser de facto — um encaminhamento para a demonstração completa do mecanismo cartesiano, que talvez tenha realizado Einstein. Ora, este dinamismo implicava a existência de um movimento absoluto. Podia ainda admitir-se a relatividade do movimento no caso da translação retilínea não acelerada; mas o aparecimento de forças centrífugas no movimento de rotação parecia atestar que se tinha a ver aqui com um absoluto verdadeiro; e era preciso também considerar como absoluto qualquer outro movimento acelerado. Tal é a teoria que permaneceu clássica até Einstein. Não podia, no entanto, haver aí senão uma concepção provisória. Um historiador da mecânica, Mach, tinha assinalado a sua

insuficiência<sup>(1)</sup>, e a sua crítica contribuiu certamente para suscitar as ideias novas. Nenhum filósofo podia contentar-se totalmente com uma teoria que considerava a mobilidade como uma simples relação de reciprocidade no caso do movimento uniforme, e como uma realidade imanente a um móvel no caso do movimento acelerado. Se julgávamos necessário, quanto a nós, admitir uma mudança absoluta em todo o lado onde se observa um movimento espacial, se estimávamos que a consciência do esforço revela o carácter absoluto do movimento concomitante, acrescentávamos que a consideração deste movimento absoluto interessa unicamente o nosso conhecimento do interior das coisas, isto é, uma psicologia que se prolonga em metafísica<sup>(2)</sup>. Acrescentávamos que para a física, cujo papel é estudar as relações entre dados visuais no espaço homogéneo, todo o movimento *deve* ser relativo. E, no entanto, certos movimentos não *podiam* sê-lo. Podem-no agora. Não fosse senão por esta razão, a teoria da Relatividade generalizada marca uma data importante na história das ideias. Não sabemos que sorte definitiva a física lhe reserva. Mas, aconteça o que acontecer, a concepção do movimento espacial que encontramos em Descartes, e que se harmoniza tão bem com o espírito da ciência moderna, terá sido tornada por Einstein cientificamente aceitável no caso do movimento acelerado como no do movimento uniforme.

---

<sup>(1)</sup> Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, II. vi

<sup>(2)</sup> *Matéria e Memória*, loc. cit. Cf. *Introdução à Metafísica (Rev. de Metafísica e de Moral, janeiro de 1903)*

É verdade que esta parte da obra de Einstein é a última. É a teoria da Relatividade «generalizada». As considerações sobre o tempo e a simultaneidade pertenciam à teoria da Relatividade «restrita», e esta só dizia respeito ao movimento uniforme. Mas na teoria restrita havia como que uma exigência da teoria generalizada. Porque, por mais que fosse *restrita*, isto é, limitada ao movimento uniforme, não deixava de ser *radical*, na medida em que fazia da mobilidade uma reciprocidade. Ora, porque não se tinha ido explicitamente até aí? Porque, mesmo ao movimento uniforme, que se declarava relativo, não se aplicava senão fracamente a ideia de relatividade? Porque se sabia que a ideia já não conviria ao movimento acelerado. Mas, desde que um físico considerava como radical a relatividade do movimento uniforme, devia procurar encarar como relativo o movimento acelerado. Não fosse senão por esta razão ainda, a teoria da Relatividade restrita chamava a si a da Relatividade generalizada, e não podia mesmo ser convincente aos olhos do filósofo se não se prestasse a esta generalização.

Ora, se todo o movimento é relativo e se não há ponto de referência absoluto, nenhum sistema privilegiado, o observador interior a um sistema não terá evidentemente nenhum meio de saber se o seu sistema está em movimento ou em repouso. Digamos melhor: teria razão em não o perguntar, porque a questão já não tem sentido; não se coloca nestes termos. É livre de decretar o que lhe aprouver: o seu sistema estará imóvel, por definição mesmo, se o fizer seu «sistema de referência» e nele instalar o seu observatório. Não podia ser assim, mesmo no caso do movimento uniforme, quando se acreditava num éter imóvel. Não podia ser assim, de maneira alguma, quando se acreditava no carácter absoluto do movimento acelerado. Mas desde que se afastam as duas hipóteses, um sistema qualquer está em repouso ou em movimento, à vontade. Será naturalmente preciso manter-se na escolha uma vez feita do sistema imóvel, e tratar os outros em consequência.

#### CAPÍTULO 5.4.

### Propagação e transporte

Não gostaríamos de alongar esta introdução além da medida. No entanto, devemos recordar o que dissemos outrora sobre a ideia de corpo, e também sobre o movimento absoluto: esta dupla série de considerações permitia concluir pela relatividade radical do movimento enquanto deslocamento no espaço. O que é imediatamente dado à nossa percepção, explicávamos, é uma continuidade

extensa sobre a qual se desdobram qualidades: é mais especificamente uma continuidade de extensão visual, e por conseguinte de cor. Aqui nada de artificial, de convencional, de simplesmente humano. As cores aparecer-nos-iam sem dúvida de forma diferente se o nosso olho e a nossa consciência tivessem outra conformação: não deixaria de haver, sempre, algo de inabalavelmente real que a física continuaria a resolver em vibrações elementares. Em suma, enquanto falamos apenas de uma continuidade qualificada e qualitativamente modificada, tal como a extensão colorida e mudando de cor, exprimimos imediatamente, sem convenção humana interposta, o que percebemos: não temos nenhuma razão para supor que não estamos aqui perante a própria realidade. Toda a aparência deve ser reputada realidade enquanto não tiver sido demonstrada ilusória, e esta demonstração nunca foi feita para o caso atual: julgou-se fazê-la, mas era uma ilusão; pensamos tê-lo provado<sup>(1)</sup>. A matéria é-nos, portanto, apresentada imediatamente como uma realidade. Mas será assim com tal ou qual corpo, erigido em entidade mais ou menos independente? A percepção visual de um corpo resulta de um fracionamento que fazemos da extensão colorida; foi recortada por nós na continuidade da extensão. É muito verosímil que esta fragmentação seja efetuada diversamente pelas diversas espécies animais. Muitas são incapazes de a realizar; e as que são capazes regem-se, nesta operação, pela forma da sua atividade e pela natureza das suas necessidades. «Os corpos, escrevíamos, são talhados no tecido da natureza por uma *percepção* cujas tesouras seguem o tracejado das linhas por onde a *ação* passaria»<sup>(2)</sup>. Eis o que diz a análise psicológica. E a física confirma-o. Ela resolve o corpo num número quase indefinido de corpúsculos elementares; e ao mesmo tempo mostra-nos este corpo ligado aos outros corpos por mil ações e reações recíprocas. Ela introduz assim nele tanta descontinuidade, e por outro lado estabelece entre ele e o resto das coisas tanta continuidade, que se adivinha o que deve haver de artificial e convencional na nossa repartição da matéria em corpos. Mas se cada corpo, tomado isoladamente e parado onde os nossos hábitos de percepção o terminam, é em grande parte um ser de convenção, como não seria o mesmo com o movimento considerado como afetando este corpo isoladamente? Só há um movimento, dizíamos, que é percebido de dentro, e do qual sabemos que constitui por si mesmo um acontecimento: é o movimento que traduz aos nossos olhos o nosso esforço. Noutros casos, quando vemos um movimento produzir-se, tudo de que temos a certeza é que se cumpre alguma modificação no universo. A natureza e mesmo o lugar preciso desta modificação escapam-nos; só podemos notar certas mudanças de posição que são o seu aspeto visual e superficial, e estas mudanças são necessariamente recíprocas. Todo o movimento — mesmo o nosso enquanto percebido de fora e visualizado — é, portanto, relativo. Vai de si, aliás, que se trata unicamente do movimento da matéria ponderável. A análise que acabamos de fazer mostra-o suficientemente. Se a cor é uma realidade, deve ser o mesmo com as oscilações que se cumprem de certo modo no seu interior: deveríamos, já que têm um carácter absoluto, chamá-lhes ainda movimentos? Por outro lado, como colocar no mesmo plano o ato pelo qual estas oscilações reais, elementos de uma qualidade e participantes do que há de absoluto na qualidade, se propagam através do espaço, e o deslocamento totalmente relativo, necessariamente recíproco, de dois sistemas S e S' recortados mais ou menos artificialmente na matéria? Fala-se, aqui e ali, de movimento; mas a palavra terá o mesmo sentido nos dois casos? Digamos antes *propagação* no primeiro, e *transporte* no segundo: resultará das nossas antigas análises que a propagação se deve distinguir profundamente do transporte. Mas então, a teoria da emissão sendo rejeitada, a propagação da luz não sendo uma translação de partículas, não se esperará que a velocidade da luz em relação a um sistema varie consoante este esteja «*em repouso*» ou «*em movimento*». Por que razão teria ela em conta uma certa maneira toda humana de perceber e de conceber as coisas?

---

(1) *Matéria e Memória*, p. 225 e seg. Cf. todo o primeiro capítulo

(2) *A Evolução Criadora*, 1907, p. 12-13. Cf. *Matéria e Memória*, 1896, cap. I inteiro; e cap. IV, p. 218 e seg

## Sistemas de referência

Coloquemo-nos então francamente na hipótese da reciprocidade. Devemos agora definir de maneira geral certos termos cujo sentido nos pareceu suficientemente indicado até aqui, em cada caso particular, pelo próprio uso que deles fazíamos. Chamaremos, portanto, «*sistema de referência*» ao triedro tri-retângulo em relação ao qual se convencionou situar, indicando as suas distâncias respectivas aos três planos, todos os pontos do universo. O físico que constrói a Ciência estará ligado a este triedro. O vértice do triedro servirá-lhe geralmente de observatório. Necessariamente, os pontos do sistema de referência estarão em repouso uns em relação aos outros. Mas é preciso acrescentar que, na hipótese da Relatividade, o sistema de referência estará ele próprio imóvel durante todo o tempo em que for utilizado para referir. Que pode ser, com efeito, a fixidez de um triedro no espaço, senão a propriedade que lhe é outorgada, a situação momentaneamente privilegiada que lhe é assegurada, ao adotá-lo como sistema de referência? Enquanto se conserva um éter estacionário e posições absolutas, a imobilidade pertence de facto a coisas; ela não depende do nosso decreto. Uma vez desaparecido o éter com o sistema privilegiado e os pontos fixos, não há mais do que movimentos relativos de objetos uns em relação aos outros; mas como não se pode mover em relação a si mesmo, a imobilidade será, por definição, o estado do observatório onde nos colocamos pelo pensamento: aí está precisamente o triedro de referência. Certamente, nada impedirá de supor, num dado momento, que o sistema de referência está ele próprio em movimento. A física tem frequentemente interesse em fazê-lo, e a teoria da Relatividade coloca-se de bom grado nesta hipótese. Mas quando o físico põe em movimento o seu sistema de referência, é porque escolhe provisoriamente outro, o qual se torna então imóvel. É verdade que este segundo sistema pode ser posto em movimento pelo pensamento por sua vez, sem que o pensamento eleja necessariamente domicílio num terceiro. Mas então ele oscila entre os dois, imobilizando-os alternadamente por idas e vindas tão rápidas que pode dar a ilusão de os deixar ambos em movimento. É neste sentido preciso que falaremos de um «*sistema de referência*».

Por outro lado, chamaremos «*sistema invariável*», ou simplesmente «*sistema*», a todo o conjunto de pontos que conservam as mesmas posições relativas e que, por conseguinte, estão imóveis uns em relação aos outros. A Terra é um sistema. Sem dúvida que uma multidão de deslocamentos e mudanças se manifestam à sua superfície e se escondem no seu interior; mas estes movimentos mantêm-se num quadro fixo: quero dizer que se podem encontrar na Terra tantos pontos fixos quantos se queira, imóveis uns em relação aos outros, e ater-se apenas a eles, passando então os acontecimentos que se desenrolam nos intervalos ao estado de simples representações: não seriam mais do que imagens que se pintariam sucessivamente na consciência de observadores imóveis nesses pontos fixos.

Agora, um «*sistema*» poderá geralmente ser erigido em «*sistema de referência*». Deverá entender-se por isso que se convém localizar nesse sistema o sistema de referência que se terá escolhido. Por vezes será necessário indicar o ponto particular do sistema onde se coloca o vértice do triedro. Na maioria das vezes será inútil. Assim, o sistema Terra, quando não levarmos em conta senão o seu estado de repouso ou de movimento relativamente a outro sistema, poderá ser considerado por nós como um simples ponto material; este ponto tornar-se-á então o vértice do nosso triedro. Ou então, deixando à Terra a sua dimensão, subentenderemos que o triedro está colocado em qualquer lugar sobre ela.

Aliás, a transição do «*sistema*» ao «*sistema de referência*» é contínua se nos colocarmos na teoria da Relatividade. É essencial, com efeito, a esta teoria espalhar no seu «*sistema de referência*» um número indefinido de relógios acertados uns com os outros e, conseqüentemente, de observadores. O sistema de referência não pode portanto ser um simples triedro munido de um único observador. Quero bem que «*relógios*» e «*observadores*» não tenham nada de material: por «*relógio*» entende-

se simplesmente aqui um registo ideal da hora segundo leis ou regras determinadas, e por «*observador*» um leitor ideal da hora idealmente registada. Não é menos verdade que se representa agora a possibilidade de relógios materiais e de observadores vivos em todos os pontos do sistema. A tendência para falar indiferentemente do «*sistema*» ou do «*sistema de referência*» foi aliás imanente à teoria da Relatividade desde a origem, pois foi immobilizando a Terra, tomando este sistema global como sistema de referência, que se explicou a invariabilidade do resultado da experiência de Michelson–Morley. Na maioria dos casos, a assimilação do sistema de referência a um sistema global deste género não apresenta qualquer inconveniente. E pode ter grandes vantagens para o filósofo, que procurará por exemplo em que medida os Tempos de Einstein são Tempos reais, e que será obrigado para isso a colocar observadores em carne e osso, seres conscientes, em todos os pontos do sistema de referência onde haja «*relógios*».

Tais são as considerações preliminares que queríamos apresentar. Demos-lhes muito espaço. Mas é por não se ter definido com rigor os termos empregues, por não se ter habituado suficientemente a ver na relatividade uma reciprocidade, por não se ter tido constantemente presente no espírito a relação da relatividade radical com a relatividade atenuada e por não se ter precavido contra uma confusão entre elas, enfim por não se ter examinado de perto a passagem do físico ao matemático que se errou tão gravemente sobre o sentido filosófico das considerações de tempo na teoria da Relatividade. Acrescente-se que pouco mais se preocupou com a natureza do tempo em si mesmo. É por aí, no entanto, que se deveria ter começado. Detenhamo-nos sobre este ponto. Com as análises e distinções que acabamos de fazer, com as considerações que vamos apresentar sobre o tempo e a sua medida, tornar-se-á fácil abordar a interpretação da teoria de Einstein.

## CAPÍTULO 6.

# Da Natureza do Tempo

## Sucessão e Consciência

Não há dúvida de que o tempo se confunde primeiro para nós com a continuidade da nossa vida interior. O que é esta continuidade? A de um fluir ou de uma passagem, mas de um fluir e de uma passagem que se bastam a si mesmos, o fluir não implicando uma coisa que flui e a passagem não pressupondo estados por onde se passa: a *coisa* e o *estado* não são mais do que instantâneos artificialmente tirados da transição; e esta transição, só naturalmente experimentada, é a duração mesma. Ela é memória, mas não memória pessoal, exterior ao que retém, distinta de um passado de que asseguraria a conservação; é uma memória interior à própria mudança, memória que prolonga o antes no depois e os impede de serem puros instantâneos que aparecem e desaparecem num presente que renasceria sem cessar. Uma melodia que escutamos de olhos fechados, pensando apenas nela, está muito perto de coincidir com este tempo que é a fluidez mesma da nossa vida interior; mas tem ainda demasiadas qualidades, demasiada determinação, e seria preciso apagar primeiro a diferença entre os sons, depois abolir os caracteres distintivos do próprio som, não reter dele senão a continuação do que precede no que segue e a transição ininterrupta, multiplicidade sem divisibilidade e sucessão sem separação, para reencontrar enfim o tempo fundamental. Tal é a duração imediatamente percebida, sem a qual não teríamos nenhuma ideia do tempo.

## CAPÍTULO 6.2.

# Origem da Ideia de um Tempo Universal

Como passamos deste tempo interior ao tempo das coisas? Percebemos o mundo material, e essa percepção parece-nos, com razão ou sem ela, estar simultaneamente em nós e fora de nós: por um lado, é um estado de consciência; por outro, é uma película superficial de matéria onde coincidiriam o sentiente e o sentido. A cada momento da nossa vida interior corresponde assim um momento do nosso corpo, e de toda a matéria circundante, que lhe seria «*simultâneo*»: essa matéria parece então participar da nossa duração consciente<sup>(1)</sup>. Gradualmente estendemos essa duração ao conjunto do mundo material, porque não vemos nenhuma razão para a limitar à vizinhança imediata do nosso corpo: o universo parece-nos formar um todo único; e se a parte que nos rodeia dura à nossa maneira, deve ser o mesmo, pensamos, com a parte que a rodeia, e assim sucessivamente indefinidamente. Assim nasce a ideia de uma Duração do universo, ou seja, de uma consciência impessoal que seria o elo entre todas as consciências individuais, tal como entre essas consciências e o resto da natureza<sup>(2)</sup>. Tal consciência captaria numa única percepção, instantânea, múltiplos eventos situados em pontos diversos do espaço; a simultaneidade seria precisamente a possibilidade de dois ou mais eventos entrarem numa percepção única e instantânea. O que há de verdadeiro, o que há de ilusório nesta maneira de representar as coisas? O que importa no momento não é fazer a distinção entre verdade e erro, mas perceber claramente onde termina a experiência e onde começa a hipótese. Não há dúvida de que a nossa consciência se sente durar, nem de que a nossa percepção faz parte da nossa consciência, nem de que algo do nosso corpo e da matéria que nos rodeia entra na nossa percepção<sup>(3)</sup>: assim, a nossa duração e uma certa participação sentida, vivida, do nosso entorno material nesta duração interior são factos de experiência. Mas, em primeiro lugar, como mostrámos outrora, a natureza dessa participação é desconhecida: poderia dever-se a uma propriedade que as coisas exteriores teriam, sem durarem elas próprias, de se manifestarem na nossa duração enquanto agem sobre nós e assim marcar ou balizar o curso da nossa vida consciente<sup>(4)</sup>. Depois, mesmo supondo que esse entorno «*dura*», nada prova rigorosamente que encontremos a mesma duração quando mudamos de entorno: durações diferentes, quero dizer ritmadas diversamente, poderiam coexistir. Fizemos outrora uma hipótese deste tipo no que diz respeito às espécies vivas. Distinguíamos durações com tensão mais ou menos elevada, características dos diversos graus de consciência, que se escalonariam ao longo do reino animal. Contudo, não percebíamos então, nem vemos ainda hoje, qualquer razão para estender ao universo material esta hipótese de uma multiplicidade de durações. Tínhamos deixado em aberto a questão de saber se o universo era divisível ou não em mundos independentes uns dos outros; o nosso mundo, com o impulso particular que nele manifesta a vida, bastava-nos. Mas se tivéssemos de decidir a questão, optaríamos, no estado atual dos nossos conhecimentos, pela hipótese de um Tempo material único e universal. É apenas uma hipótese, mas funda-se num raciocínio por analogia que devemos considerar conclusivo enquanto não nos for oferecida nada mais satisfatória. Este raciocínio quase inconsciente formular-se-ia, cremos, da seguinte maneira. Todas as consciências humanas são da mesma natureza, percecionam da mesma maneira, caminham por assim dizer ao mesmo passo e vivem a mesma duração. Ora, nada nos impede de imaginar tantas consciências humanas quanto quisermos, disseminadas aqui e ali pela totalidade do universo, mas suficientemente próximas umas das outras para que duas consecutivas, escolhidas ao acaso, partilhem a porção extrema do campo da sua experiência exterior. Cada uma dessas duas experiências exteriores participa na duração de cada uma das duas consciências. E como as duas consciências têm o mesmo ritmo de duração, o mesmo deve acontecer com as duas experiências. Mas as duas experiências têm uma parte comum. Por este elo, então, reúnem-se numa experiência única, desenrolando-se numa duração única que será, à vontade, a de uma ou da outra das duas consciências. O mesmo raciocínio podendo repetir-se passo a passo, uma mesma duração reunirá ao longo do seu percurso os eventos da totalidade do mundo material; e poderemos então eliminar as consciências humanas que inicialmente dispusemos aqui e ali como tantos elos para o movimento do nosso pensamento: restará apenas o tempo impessoal onde tudo flui. Ao formular assim a crença da humanidade, talvez lhe demos mais precisão do que convém.

Cada um de nós contenta-se geralmente em alargar indefinidamente, por um vago esforço de imaginação, o seu entorno material imediato, o qual, sendo por ele percebido, participa na duração da sua consciência. Mas assim que este esforço se precisa, assim que procuramos legitimá-lo, surpreendemo-nos a duplicar e multiplicar a nossa consciência, transportando-a para os confins extremos da nossa experiência exterior, depois para o limite do campo de experiência novo que assim lhe oferecemos, e assim sucessivamente indefinidamente: são realmente consciências múltiplas saídas da nossa, semelhantes à nossa, que encarregamos de fazer a cadeia através da imensidão do universo e de atestar, pela identidade das suas durações internas e a contiguidade das suas experiências exteriores, a unidade de um Tempo impessoal. Tal é a hipótese do senso comum. Pretendemos que poderia igualmente ser a de Einstein, e que a teoria da Relatividade está antes feita para confirmar a ideia de um Tempo comum a todas as coisas. Esta ideia, hipotética em todos os casos, parece-nos mesmo ganhar um rigor e uma consistência particulares na teoria da Relatividade, entendida como deve ser. Tal é a conclusão que se desprenderá do nosso trabalho de análise. Mas este não é o ponto importante no momento. Deixemos de lado a questão do Tempo único. O que queremos estabelecer é que não se pode falar de uma realidade que dura sem nela introduzir consciência. O metafísico fará intervir diretamente uma consciência universal. O senso comum pensá-la-á vagamente. O matemático, é verdade, não terá de se ocupar dela, pois interessar-se pela medida das coisas e não pela sua natureza. Mas se se perguntasse o que mede, se fixasse a sua atenção no tempo em si, necessariamente representar-se-ia a sucessão, e conseqüentemente o antes e o depois, e conseqüentemente uma ponte entre os dois (caso contrário, haveria apenas um dos dois, puro instantâneo): ora, mais uma vez, é impossível imaginar ou conceber um elo entre o antes e o depois sem um elemento de memória, e conseqüentemente de consciência.

---

<sup>(1)</sup> Para o desenvolvimento das perspectivas aqui apresentadas, ver *Ensaio sobre os Dados Imediatos da Consciência*, Paris, 1889, principalmente os cap. II e III; *Matéria e Memória*, Paris, 1896, cap. I e IV; *A Evolução Criadora*, passim. Cf. *Introdução à Metafísica*, 1903; e *A Percepção da Mudança*, Oxford, 1911

<sup>(2)</sup> Cf. os nossos trabalhos que acabamos de citar

<sup>(3)</sup> Ver *Matéria e Memória*, cap. I

<sup>(4)</sup> Cf. *Ensaio sobre os Dados Imediatos da Consciência*, em particular p. 82 e seguintes

Talvez se repugne ao uso da palavra se lhe atribuirmos um sentido antropomórfico. Mas não é necessário, para representar uma coisa que dura, tomar a nossa própria memória e transportá-la, mesmo atenuada, para o interior da coisa. Por mais que se diminua a sua intensidade, arrisca-se a deixar nela algum grau da variedade e riqueza da vida interior; conservar-se-á assim o seu carácter pessoal, em todo o caso humano. É o caminho inverso que se deve seguir. Deve-se considerar um momento do desenrolar do universo, isto é, um instantâneo que existiria independentemente de qualquer consciência, depois tentar evocar conjuntamente outro momento tão próximo quanto possível desse, e assim introduzir no mundo um mínimo de tempo sem deixar passar com ele o mais fraco clarão de memória. Ver-se-á que é impossível. Sem uma memória elementar que ligue os dois instantes um ao outro, haverá apenas um ou outro dos dois, um instante único conseqüentemente, sem antes e depois, sem sucessão, sem tempo. Pode-se conceder a essa memória apenas o estritamente necessário para fazer a ligação; será, se se quiser, essa própria ligação, simples prolongamento do antes no depois imediato com um esquecimento perpetuamente renovado do que não é o momento imediatamente anterior. Não se terá deixado de introduzir memória. A verdade é que é impossível distinguir entre a duração, por mais curta que seja, que separa dois instantes e uma memória que os ligaria um ao outro, porque a duração é essencialmente uma continuação do que já não é no que é. Eis o tempo real, quero dizer percebido e vivido. Eis também qualquer tempo concebido, pois não se pode conceber um tempo sem o

representar percebido e vivido. A duração implica portanto consciência; e pomos consciência no fundo das coisas pelo simples facto de lhes atribuirmos um tempo que dura.

### CAPÍTULO 6.3.

## A Duração real e o tempo mensurável

Que o deixemos em nós ou que o coloquemos fora de nós, o tempo que dura não é mensurável. A medida que não é puramente convencional implica de facto divisão e sobreposição. Ora, não se podem sobrepor durações sucessivas para verificar se são iguais ou desiguais; por hipótese, uma já não existe quando a outra aparece; a ideia de igualdade constatável perde aqui todo o significado. Por outro lado, se a duração real se torna divisível, como veremos, pela solidariedade que se estabelece entre ela e a linha que a simboliza, ela consiste ela própria num progresso indivisível e global. Ouçam a melodia de olhos fechados, pensando apenas nela, sem sobrepor num papel ou num teclado imaginário as notas que assim conservavam umas para as outras, que aceitavam então tornar-se simultâneas e renunciavam à sua continuidade de fluidez no tempo para se congelarem no espaço: reencontrarão indivisa, indivisível, a melodia ou a porção de melodia que tiverem recolocado na duração pura. Ora, a nossa duração interior, considerada do primeiro ao último momento da nossa vida consciente, é algo como essa melodia. A nossa atenção pode desviar-se dela e, conseqüentemente, da sua indivisibilidade; mas, quando tentamos cortá-la, é como se passássemos bruscamente uma lâmina através de uma chama: dividimos apenas o espaço ocupado por ela. Quando assistimos a um movimento muito rápido, como o de uma estrela cadente, distinguimos muito nitidamente a linha de fogo, divisível à vontade, da mobilidade indivisível que ela sustenta: é essa mobilidade que é duração pura. O Tempo impessoal e universal, se existe, por mais que se prolongue sem fim do passado ao futuro: é todo de uma peça; as partes que nele distinguimos são simplesmente as de um espaço que traça o seu rasto e que se torna aos nossos olhos o seu equivalente; dividimos o desenrolado, mas não o desenrolamento. Como passamos primeiro do desenrolamento ao desenrolado, da duração pura ao tempo mensurável? É fácil reconstituir o mecanismo desta operação.

Se passar o dedo sobre uma folha de papel sem a olhar, o movimento que realizo, percebido de dentro, é uma continuidade de consciência, algo do meu próprio fluxo, enfim da duração. Se agora abro os olhos, vejo que o meu dedo traça na folha de papel uma linha que se conserva, onde tudo é justaposição e não mais sucessão; tenho aí o desenrolado, que é o registo do efeito do movimento, e que será também o seu símbolo. Ora, esta linha é divisível, é mensurável. Dividindo-a e medindo-a, poderei então dizer, se me for conveniente, que divido e meço a duração do movimento que a traça.

É pois bem verdade que o tempo se mede através do movimento. Mas é preciso acrescentar que, se esta medição do tempo pelo movimento é possível, é sobretudo porque somos capazes de realizar movimentos nós mesmos e que esses movimentos têm então um duplo aspeto: como sensação muscular, fazem parte da corrente da nossa vida consciente, duram; como percepção visual, descrevem uma trajetória, dão-se um espaço. Digo "sobretudo", porque se poderia, à rigueur, conceber um ser consciente reduzido à percepção visual e que chegaria, no entanto, a construir a ideia de tempo mensurável. Seria então necessário que a sua vida se passasse na contemplação de um movimento exterior que se prolongasse sem fim. Seria também necessário que pudesse extrair do movimento percebido no espaço, e que participa da divisibilidade da sua trajetória, a mobilidade pura, quero dizer a solidariedade ininterrupta do antes e do depois que é dada à consciência como um facto indivisível: fazíamos há pouco esta distinção quando falávamos da linha de fogo traçada pela estrela cadente. Tal consciência teria uma continuidade de vida constituída pelo sentimento ininterrupto de uma mobilidade exterior que se desenrolaria indefinidamente. E a ininterrupção do desenrolamento permaneceria ainda distinta do traço divisível deixado no espaço, que é ainda

desenrolado. Este divide-se e mede-se porque é espaço. O outro é duração. Sem o desenrolamento contínuo, não haveria mais do que o espaço, e um espaço que, não sustentando mais uma duração, não representaria mais tempo.

Ora, nada impede supor que cada um de nós trace no espaço um movimento ininterrupto do começo ao fim da sua vida consciente. Poderia caminhar noite e dia. Realizaria assim uma viagem coextensiva à sua vida consciente. Toda a sua história desenrolar-se-ia então num Tempo mensurável.

É a tal viagem que pensamos quando falamos do Tempo impessoal? Não exatamente, porque vivemos uma vida social e até cósmica, tanto quanto, ou mais do que, uma vida individual. Substituímos naturalmente a viagem que faríamos pela viagem de qualquer outra pessoa, depois por qualquer movimento ininterrupto que lhe fosse contemporâneo. Chamo "contemporâneos" dois fluxos que são para a minha consciência *um* ou *dois* indiferentemente, a minha consciência percebendo-os juntos como um único fluir se lhe aprouver dar um ato indiviso de atenção, distinguindo-os pelo contrário ao longo do percurso se preferir dividir a atenção entre eles, fazendo mesmo ambos ao mesmo tempo se decidir dividir a atenção e ainda assim não a cortar em dois. Chamo "simultâneas" duas percepções instantâneas que são captadas num único e mesmo ato do espírito, a atenção podendo aqui novamente fazer delas uma ou duas, conforme a vontade. Isto posto, é fácil ver que temos todo o interesse em tomar como "desenrolar do tempo" um movimento independente do do nosso próprio corpo. Na verdade, já o encontramos adotado. A sociedade adotou-o por nós. É o movimento de rotação da Terra. Mas se o aceitamos, se compreendemos que seja tempo e não apenas espaço, é porque uma viagem do nosso próprio corpo está sempre lá, virtual, e que *teria* podido ser para nós o desenrolar do tempo.

#### CAPÍTULO 6.4.

### **Da simultaneidade imediatamente percebida: simultaneidade de fluxos e simultaneidade no instante**

Pouco importa, aliás, que seja um móvel ou outro que adotemos como contador do tempo, desde que tenhamos exteriorizado a nossa própria duração em movimento no espaço, o resto segue-se. Doravante o tempo aparecer-nos-á como o desenrolar de um fio, isto é, como o trajeto do móvel encarregado de o contar. Teremos medido, diremos, o tempo desse desenrolar e conseqüentemente também o do desenrolar universal.

Mas todas as coisas não nos pareceriam desenrolar-se com o fio, cada momento atual do universo não seria para nós a ponta do fio, se não tivéssemos à nossa disposição o conceito de simultaneidade. Ver-se-á mais adiante o papel deste conceito na teoria de Einstein. Por agora, gostaríamos de bem marcar a sua origem psicológica, de que já dissemos uma palavra. Os teóricos da Relatividade falam apenas da simultaneidade de dois instantes. Antes desta, porém, há outra, cuja ideia é mais natural: a simultaneidade de dois fluxos. Diríamos que é da própria essência da nossa atenção poder dividir-se sem se partir. Quando estamos sentados à beira de um rio, o fluir da água, o deslizar de um barco ou o voo de um pássaro, o murmúrio ininterrupto da nossa vida profunda são para nós três coisas diferentes ou uma só, conforme a vontade. Podemos interiorizar o todo, lidar com uma percepção única que arrasta, confundidos, os três fluxos no seu curso; ou podemos deixar externos os dois primeiros e dividir então a nossa atenção entre o interior e o exterior; ou, melhor ainda, podemos fazer ambos ao mesmo tempo, a nossa atenção ligando e ainda assim separando os três cursos, graças ao singular privilégio que possui de ser una e múltipla. Tal é a nossa primeira ideia de simultaneidade. Chamamos então simultâneos dois fluxos externos que ocupam a mesma duração porque ambos se mantêm na duração de um mesmo

terceiro, o nosso: esta duração é apenas nossa quando a nossa consciência só olha para nós, mas torna-se igualmente deles quando a nossa atenção abraça os três fluxos num único ato indivisível.

Agora, da simultaneidade de dois fluxos nunca passaríamos à de dois instantes se permanecêssemos na duração pura, porque toda a duração é espessa: o tempo real não tem instantes. Mas formamos naturalmente a ideia de instante, e também a de instantes simultâneos, logo que adquirimos o hábito de converter o tempo em espaço. Pois se uma duração não tem instantes, uma linha termina em pontos<sup>(1)</sup>. E, desde que fazemos corresponder uma linha a uma duração, as porções da linha deverão corresponder "porções de duração", e a uma extremidade da linha uma "extremidade de duração": tal será o instante — algo que não existe atualmente, mas virtualmente. O instante é o que terminaria uma duração se ela parasse. Mas ela não para. O tempo real não pode, portanto, fornecer o instante; este provém do ponto matemático, isto é, do espaço. E, no entanto, sem o tempo real, o ponto seria apenas ponto, não haveria instante. A instantaneidade implica assim duas coisas: uma continuidade de tempo real, quero dizer de duração, e um tempo espacializado, quero dizer uma linha que, descrita por um movimento, se tornou por isso simbólica do tempo: este tempo espacializado, que comporta pontos, repercute-se no tempo real e faz surgir nele o instante. Isto não seria possível, sem a tendência — fértil em ilusões — que nos leva a aplicar o movimento *contra* o espaço percorrido, a fazer coincidir a trajetória com o trajeto, e a decompor então o movimento percorrendo a linha como decomparamos a linha em si: se nos aprouve distinguir pontos na linha, esses pontos tornar-se-ão então "posições" do móvel (como se este, movendo-se, pudesse alguma vez *coincidir* com algo que é repouso! como se não renunciasse assim de imediato a mover-se!). Então, tendo marcado no trajeto do movimento posições, isto é, extremidades de subdivisões da linha, fazemo-las corresponder a "instantes" da continuidade do movimento: meras paragens virtuais, puras visões do espírito. Descrevemos outrora o mecanismo desta operação; mostrámos também como as dificuldades levantadas pelos filósofos em torno da questão do movimento se desvanecem logo que se percebe a relação do instante com o tempo espacializado, e deste com a duração pura. Limitemo-nos aqui a assinalar que a operação, por mais erudita que pareça, é natural ao espírito humano; praticamo-la instintivamente. A receita está depositada na linguagem.

---

<sup>(1)</sup> Que o conceito de ponto matemático seja, aliás, natural, bem o sabem os que ensinaram um pouco de geometria a crianças. Os espíritos mais refratários aos primeiros elementos representam logo, e sem dificuldade, linhas sem espessura e pontos sem dimensão.

A simultaneidade no instante e a simultaneidade de fluxo são portanto coisas distintas, mas que se complementam reciprocamente. Sem a simultaneidade de fluxo, não consideraríamos substituíveis um pelo outro estes três termos: continuidade da nossa vida interior, continuidade de um movimento voluntário que o nosso pensamento prolonga indefinidamente, continuidade de qualquer movimento através do espaço. A duração real e o tempo espacializado não seriam portanto equivalentes, e conseqüentemente não existiria para nós um tempo em geral; haveria apenas a duração de cada um de nós. Mas, por outro lado, este tempo só pode ser contado graças à simultaneidade no instante. É necessária esta simultaneidade no instante para: 1º notar a simultaneidade de um fenómeno e de um momento do relógio; 2º assinalar, ao longo da nossa própria duração, as simultaneidades desses momentos com momentos da nossa duração que são criados pelo próprio ato de assinalar. Destes dois atos, o primeiro é o essencial para a medição do tempo. Mas, sem o segundo, teríamos apenas uma medição qualquer, chegaríamos a um número representando seja o que for, não pensaríamos em tempo. É portanto a simultaneidade entre dois instantes de dois movimentos exteriores a nós que nos permite medir um intervalo de tempo; mas é a simultaneidade desses momentos com momentos marcados por eles ao longo da nossa duração interna que faz com que esta medição seja uma medição de tempo.

## Da simultaneidade indicada pelos relógios

Teremos de nos debruçar sobre estes dois pontos. Mas abramos primeiro um parêntese. Acabámos de distinguir duas «*simultaneidades no instante*»: nenhuma delas é a simultaneidade mais referida na teoria da Relatividade, refiro-me à simultaneidade entre indicações dadas por dois relógios distantes um do outro. Desta última falámos na primeira parte do nosso trabalho; ocupar-nos-emos especialmente dela mais adiante. Mas é claro que a própria teoria da Relatividade não poderá deixar de admitir as duas simultaneidades que acabámos de descrever: limitar-se-á a acrescentar-lhes uma terceira, aquela que depende de um acerto de relógios. Ora, mostraremos sem dúvida que as indicações de dois relógios  $H$  e  $H'$  distantes um do outro, acertados um com o outro e marcando a mesma hora, são ou não simultâneas consoante o ponto de vista. A teoria da Relatividade tem o direito de o afirmar — veremos em que condições. Mas ao fazê-lo, reconhece que um evento  $E$ , ocorrendo junto do relógio  $H$ , é dado em simultaneidade com uma indicação do relógio  $H$  num sentido totalmente diferente deste — no sentido que o psicólogo atribui à palavra simultaneidade. E o mesmo se aplica à simultaneidade do evento  $E'$  com a indicação do relógio «vizinha»  $H'$ . Pois se não se começasse por admitir uma simultaneidade deste género, absoluta e alheia a acertos de relógios, os relógios não serviriam para nada. Seriam mecanismos com que nos divertiríamos a comparar uns com os outros; não seriam usados para classificar eventos; em suma, existiriam para si mesmos e não para nos prestar serviço. Perderiam a sua razão de ser tanto para o teórico da Relatividade como para todos, pois ele também só as faz intervir para marcar o tempo de um evento. Ora, é muito verdade que a simultaneidade assim entendida só é constatável entre momentos de dois fluxos se os fluxos passarem «*no mesmo lugar*». É também muito verdade que o senso comum, e a própria ciência até agora, estenderam *a priori* esta conceção da simultaneidade a eventos separados por qualquer distância. Imaginavam sem dúvida, como dissemos acima, uma consciência coextensiva ao universo, capaz de abraçar os dois eventos numa perceção única e instantânea. Mas aplicavam sobretudo um princípio inerente a toda a representação matemática das coisas, e que se impõe igualmente à teoria da Relatividade. Encontrar-se-ia nele a ideia de que a distinção entre «pequeno» e «grande», «pouco distante» e «muito distante», não tem valor científico, e que se se pode falar de simultaneidade fora de qualquer acerto de relógios, independentemente de qualquer ponto de vista, quando se trata de um evento e de um relógio pouco distantes um do outro, tem-se igualmente o direito de o fazer quando a distância é grande entre o relógio e o evento, ou entre os dois relógios. Não há física, nem astronomia, nem ciência possível, se se recusar ao cientista o direito de figurar esquematicamente num papel a totalidade do universo. Admite-se portanto implicitamente a possibilidade de reduzir sem deformar. Considera-se que a dimensão não é um absoluto, que há apenas relações entre dimensões, e que tudo se passaria da mesma forma num universo reduzido à vontade se as relações entre as partes fossem conservadas. Mas como impedir então que a nossa imaginação, e até o nosso entendimento, tratem a simultaneidade das indicações de dois relógios muito distantes um do outro como a simultaneidade de dois relógios pouco distantes, ou seja, situados «*no mesmo lugar*»? Um micróbio inteligente encontraria entre dois relógios «vizinhos» um intervalo enorme; e não concederia a existência de uma simultaneidade absoluta, intuitivamente percebida, entre as suas indicações. Mais einsteiniano que Einstein, só falaria aqui de simultaneidade se tivesse podido notar indicações idênticas em dois relógios microbianos, acertados um com o outro por sinais óticos, que tivesse substituído aos nossos dois relógios «vizinhos». A simultaneidade que é absoluta aos nossos olhos seria relativa aos dele, pois reportaria a simultaneidade absoluta às indicações de dois relógios microbianos que visse por sua vez (que aliás teria igualmente errado em ver) «*no mesmo lugar*». Mas pouco importa para já: não estamos a criticar a conceção de Einstein; queremos apenas mostrar a que se deve a extensão natural que sempre se praticou da ideia de simultaneidade, depois de a ter extraído efetivamente da constatação de dois eventos «vizinhos».

Esta análise, que raramente foi tentada até agora, revela-nos um facto de que a teoria da Relatividade poderia aliás tirar partido. Vemos que, se o nosso espírito passa aqui com tanta facilidade de uma pequena distância para uma grande, da simultaneidade entre eventos vizinhos para a simultaneidade entre eventos distantes, se estende ao segundo caso o carácter absoluto do primeiro, é porque está habituado a crer que se podem modificar arbitrariamente as dimensões de todas as coisas, desde que se conservem as relações. Mas é tempo de fechar o parêntese. Voltemos à simultaneidade intuitivamente percebida de que falávamos inicialmente e às duas proposições que tínhamos enunciado: 1º é a simultaneidade entre dois instantes de dois movimentos exteriores a nós que nos permite medir um intervalo de tempo; 2º é a simultaneidade desses momentos com momentos assinalados por eles ao longo da nossa duração interna que faz com que esta medição seja uma medição de tempo.

## CAPÍTULO 6.6.

### O tempo que se desenrola

O primeiro ponto é evidente. Vimos acima como a duração interior se exterioriza em tempo espacializado e como este, mais espaço do que tempo, é mensurável. É doravante através dele que mediremos qualquer intervalo de tempo. Tendo-o dividido em partes correspondentes a espaços iguais e que são iguais por definição, teremos em cada ponto de divisão uma extremidade de intervalo, um instante, e tomaremos como unidade de tempo o próprio intervalo. Poderemos então considerar qualquer movimento que se realize ao lado desse movimento modelo, qualquer mudança: ao longo desse desenrolar assinalaremos «*simultaneidades no instante*». Quantas dessas simultaneidades constatarmos, tantas unidades de tempo contaremos para a duração do fenómeno. Medir o tempo consiste portanto em numerar simultaneidades. Qualquer outra medição implica a possibilidade de sobrepor direta ou indiretamente a unidade de medida ao objeto medido. Qualquer outra medição incide portanto sobre os intervalos entre as extremidades, mesmo quando nos limitamos, na prática, a contar essas extremidades. Mas, quando se trata do tempo, só podemos contar extremidades: *convencionar-se-á* simplesmente dizer que assim se mediu o intervalo. Se agora notarmos que a ciência opera exclusivamente sobre medições, aperceber-nos-emos de que, no que diz respeito ao tempo, a ciência conta instantes, regista simultaneidades, mas permanece sem controlo sobre o que acontece nos intervalos. Pode aumentar indefinidamente o número de extremidades, estreitar indefinidamente os intervalos; mas o intervalo escapa-lhe sempre, só lhe mostra as suas extremidades. Se todos os movimentos do universo se acelerassem subitamente na mesma proporção, incluindo o que serve para medir o tempo, algo mudaria para uma consciência que não fosse solidária com os movimentos moleculares intracerebrais; entre o nascer e o pôr do sol não receberia o mesmo enriquecimento; constataria portanto uma mudança; mesmo a hipótese de uma aceleração simultânea de todos os movimentos do universo só faz sentido se imaginarmos uma consciência espetadora cuja duração puramente qualitativa comporta o mais ou menos sem por isso ser acessível à medição<sup>(1)</sup>. Mas a mudança só existiria para essa consciência capaz de comparar o fluir das coisas com o da vida interior. Aos olhos da ciência nada teria mudado. Vamos mais longe. A rapidez de desenrolar desse Tempo exterior e matemático poderia tornar-se infinita, todos os estados passados, presentes e futuros do universo poderiam encontrar-se dados de uma só vez, em vez do desenrolar poderia haver apenas o desenrolado: o movimento representativo do Tempo ter-se-ia tornado uma linha; a cada uma das divisões dessa linha corresponderia a mesma parte do universo desenrolado que antes correspondia no universo que se desenrola; nada mudaria aos olhos da ciência. As suas fórmulas e cálculos permaneceriam o que são.

---

<sup>(1)</sup> É evidente que a hipótese perderia significado se se representasse a consciência como um «epifenómeno», sobreposto a fenómenos cerebrais dos quais não seria senão o resultado ou expressão. Não podemos insistir aqui sobre esta teoria da consciência-fenómeno, que se tende cada vez

mais a considerar como arbitrária. Discutimo-la em detalhe em vários dos nossos trabalhos, nomeadamente nos três primeiros capítulos de *Matéria e Memória* e em diversos ensaios de *A Energia Espiritual*. Limitamo-nos a recordar: 1º que esta teoria não se desprende de modo algum dos factos; 2º que se encontram facilmente as suas origens metafísicas; 3º que, tomada à letra, seria contraditória consigo mesma (sobre este último ponto, e sobre a oscilação que a teoria implica entre duas afirmações contrárias, ver as páginas 203-223 de *A Energia Espiritual*). No presente trabalho, tomamos a consciência tal como a experiência no-la dá, sem fazer hipóteses sobre a sua natureza e origens.

## CAPÍTULO 6.7.

### O tempo desenrolado e a quarta dimensão

É verdade que no preciso momento em que se passaria do desenrolar ao desenrolado, teria sido necessário dotar o espaço de uma dimensão suplementar. Notámos, há mais de trinta anos<sup>(1)</sup>, que o tempo espacializado é na realidade uma quarta dimensão do espaço. Só esta quarta dimensão nos permitirá justapor o que é dado em sucessão: sem ela, não teríamos lugar. Que um universo tenha três dimensões, ou duas, ou uma só, que não tenha nenhuma e se reduza a um ponto, sempre se poderá converter a sucessão indefinida de todos os seus acontecimentos em justaposição instantânea ou eterna pelo simples facto de lhe conceder uma dimensão adicional. Se não tiver nenhuma, reduzindo-se a um ponto que muda indefinidamente de qualidade, pode supor-se que a rapidez de sucessão das qualidades se torne infinita e que esses *pontos de qualidade* sejam dados de uma só vez, desde que a este mundo sem dimensão se traga uma linha onde os pontos se justaponham. Se já tivesse uma dimensão, se fosse linear, seriam necessárias duas dimensões para justapor as *linhas de qualidade* — cada uma indefinida — que eram os momentos sucessivos da sua história. A mesma observação ainda se tivesse duas, se fosse um universo superficial, tela indefinida sobre a qual se desenhasssem indefinidamente imagens planas ocupando-a cada uma inteiramente: a rapidez de sucessão dessas imagens poderá ainda tornar-se infinita, e de um universo que se desenrola passaremos ainda a um universo desenrolado, desde que nos seja concedida uma dimensão suplementar. Teremos então, empilhadas umas sobre as outras, todas as telas sem fim dando-nos todas as imagens sucessivas que compõem a história inteira do universo; possuí-las-emos juntas; mas de um universo plano teremos passado a um universo volumoso. Compreende-se portanto facilmente como o simples facto de atribuir ao tempo uma rapidez infinita, de substituir o desenrolado pelo desenrolar, nos obrigaria a dotar o nosso universo sólido de uma quarta dimensão. Ora, pelo simples facto de a ciência não poder especificar a «*rapidez de desenrolar*» do tempo, de contar simultaneidades mas deixar necessariamente de lado os intervalos, ela incide sobre um tempo do qual podemos igualmente supor a rapidez de desenrolar infinita, e por isso confere virtualmente ao espaço uma dimensão adicional.

---

<sup>(1)</sup> Ensaio sobre os dados imediatos da consciência, p. 83.

Imanente à nossa medida do tempo está portanto a tendência a esvaziar o seu conteúdo num espaço a quatro dimensões onde passado, presente e futuro estariam justapostos ou sobrepostos de toda a eternidade. Esta tendência exprime simplesmente a nossa impotência para traduzir matematicamente o tempo em si, a necessidade em que estamos de lhe substituir, para o medir, simultaneidades que contamos: estas simultaneidades são instantaneidades; não participam da natureza do tempo real; não duram. São simples visões do espírito, que assinala com paragens virtuais a duração consciente e o movimento real, utilizando para isso o ponto matemático que foi transportado do espaço para o tempo.

Mas se a nossa ciência assim só alcança o espaço, é fácil ver porque a dimensão espacial que veio substituir o tempo ainda se chama tempo. É que a nossa consciência está presente. Ela reinsufla a duração viva no tempo ressequido em espaço. O nosso pensamento, interpretando o tempo matemático, refaz em sentido inverso o caminho que percorreu para o obter. De a duração interior passara a um certo movimento indiviso que ainda estava estreitamente ligado a ela e que se tornara o movimento modelo, gerador ou contador do Tempo; daquilo que há de mobilidade pura

nesse movimento, e que é o traço de união entre o movimento e a duração, passou à trajetória do movimento, que é puro espaço: dividindo a trajetória em partes iguais, passou dos pontos de divisão dessa trajetória aos pontos de divisão correspondentes ou «*simultâneos*» da trajetória de qualquer outro movimento: a duração deste último movimento encontra-se assim medida; obtém-se um número determinado de simultaneidades; será a medida do tempo; será doravante o próprio tempo. Mas isso só é tempo porque podemos reportar-nos ao que fizemos. Das simultaneidades que balizam a continuidade dos movimentos estamos sempre prontos a remontar aos próprios movimentos, e por eles à duração interior que lhes é contemporânea, substituindo assim a uma série de simultaneidades no instante, que contamos mas que já não são tempo, a simultaneidade de fluxo que nos reconduz à duração interna, à duração real.

Alguns perguntar-se-ão se vale a pena voltar a isto, e se a ciência não terá precisamente corrigido uma imperfeição do nosso espírito, afastado uma limitação da nossa natureza, ao desdobrar a «*duração pura*» no espaço. Dirão: «*O tempo que é duração pura está sempre em vias de escoamento; só dele apreendemos o passado e o presente, que já é passado; o futuro parece fechado ao nosso conhecimento, precisamente porque o julgamos aberto à nossa ação — promessa ou expectativa de novidade imprevisível. Mas a operação pela qual convertemos o tempo em espaço para o medir informamos implicitamente sobre o seu conteúdo. A medida de uma coisa é por vezes reveladora da sua natureza, e a expressão matemática encontra aqui justamente uma virtude mágica: criada por nós ou surgida ao nosso apelo, faz mais do que lhe pedimos; pois não podemos converter em espaço o tempo já decorrido sem tratar da mesma forma o Tempo inteiro: o ato pelo qual introduzimos o passado e o presente no espaço desdobra aí, sem nos consultar, o futuro. Esse futuro permanece sem dúvida velado por um ecrã; mas temos-no agora ali, todo feito, dado com o resto. Mesmo, o que chamávamos escoamento do tempo não era mais do que o deslizar contínuo do ecrã e a visão gradualmente obtida daquilo que aguardava, globalmente, na eternidade. Tomemos então esta duração pelo que é, por uma negação, por um impedimento incessantemente recuado de tudo ver: os nossos próprios atos deixarão de nos aparecer como um aporte de novidade imprevisível. Fazem parte da trama universal das coisas, dada de uma só vez. Não os introduzimos no mundo; é o mundo que os introduz já feitos em nós, na nossa consciência, à medida que os alcançamos. Sim, somos nós que passamos quando dizemos que o tempo passa; é o movimento em frente da nossa visão que atualiza, momento a momento, uma história virtualmente dada na sua totalidade*» — Tal é a metafísica imanente à representação espacial do tempo. É inevitável. Distinta ou confusa, foi sempre a metafísica natural do espírito que especula sobre o devir. Não temos aqui que a discutir, muito menos substituí-la por outra. Dissemos noutra local porque vemos na duração a própria essência do nosso ser e de todas as coisas, e como o universo é aos nossos olhos uma continuidade de criação. Mantivemo-nos assim o mais próximo possível do imediato; não afirmámos nada que a ciência não pudesse aceitar e utilizar; recentemente ainda, num livro admirável, um matemático filósofo afirmava a necessidade de admitir um «*avanço da Natureza*» e relacionava essa conceção com a nossa <sup>(1)</sup>. Por agora, limitamo-nos a traçar uma linha de demarcação entre o que é hipótese, construção metafísica, e o que é dado puro e simples da experiência, pois queremos ater-nos à experiência. A duração real é vivida; constatamos que o tempo se desenrola, e por outro lado não o podemos medir sem o converter em espaço e supor desdobrado tudo o que dele conhecemos. Ora, é impossível espacializar pelo pensamento apenas uma parte; o ato, uma vez iniciado, pelo qual desdobramos o passado e abolimos assim a sucessão real arrasta-nos a um desdobramento total do tempo; fatalmente somos então levados a atribuir à imperfeição humana a nossa ignorância de um futuro que seria presente e a considerar a duração como uma pura negação, uma «*privação de eternidade*». Fatalmente regressamos à teoria platónica. Mas como esta conceção *deve* surgir do facto de não termos meio algum de limitar ao passado a nossa representação espacial do tempo decorrido, é possível que a conceção seja errónea, e é em todo o caso certo que é uma pura construção do espírito. Fiquemo-nos então pela experiência.

---

<sup>(1)</sup> Whitehead, *The Concept of Nature*, Cambridge, 1920. Esta obra (que tem em conta a teoria da Relatividade) é certamente uma das mais profundas que se escreveram sobre a filosofia da natureza.

Se o tempo tem uma realidade positiva, se o atraso da duração sobre a instantaneidade representa uma certa hesitação ou indeterminação inerente a uma certa parte das coisas que mantém suspenso todo o resto, enfim se há evolução criadora, compreendo muito bem que a parte já desenrolada do tempo apareça como justaposição no espaço e não mais como sucessão pura; concebo também que toda a parte do universo que está matematicamente ligada ao presente e ao passado — isto é, o desenrolar futuro do mundo inorgânico — seja representável pelo mesmo esquema (mostrámos outrora que, em matéria astronómica e física, a *previsão* é na realidade uma *visão*). Pressente-se que uma filosofia onde a duração é tida por real e até por atuante poderá muito bem admitir o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein (onde, aliás, a quarta dimensão denominada tempo já não é, como nos nossos exemplos anteriores, uma dimensão totalmente assimilável às outras). Pelo contrário, nunca se extrairá do esquema de Minkowski a ideia de um fluxo temporal. Não valerá então a pena manter-se, até nova ordem, o ponto de vista que não sacrifica nada da experiência e, conseqüentemente — para não prejudicar a questão — nada das aparências? Como, aliás, rejeitar totalmente a experiência interna se se é físico, se se opera sobre percepções e, por isso mesmo, sobre dados da consciência? É verdade que uma certa doutrina aceita o testemunho dos sentidos, isto é, da consciência, para obter termos entre os quais estabelecer relações, para depois conservar apenas as relações e considerar os termos como inexistentes. Mas isso é uma metafísica enxertada na ciência, não é ciência. E, a bem dizer, é por abstração que distinguimos termos, também por abstração que distinguimos relações: um contínuo fluente de onde extraímos ao mesmo tempo termos e relações e que, além de tudo isso, é fluidez, eis o único dado imediato da experiência.

Mas temos de fechar este parêntese demasiado longo. Acreditamos ter atingido o nosso objetivo, que era determinar as características de um tempo onde há efetivamente sucessão. Abolam-se essas características; já não há sucessão, mas justaposição. Pode-se dizer que ainda se está perante tempo — somos livres de dar às palavras o sentido que quisermos, desde que comecemos por o definir —, mas saberemos que já não se trata do tempo experimentado; estaremos perante um tempo simbólico e convencional, grandeza auxiliar introduzida com vista ao cálculo das grandezas reais. Talvez por não se ter analisado primeiro a nossa representação do tempo que flui, o nosso sentimento da duração real, é que se teve tanta dificuldade em determinar o significado filosófico das teorias de Einstein, quero dizer, a sua relação com a realidade. Os que se incomodavam com o aspeto paradoxal da teoria disseram que os Tempos múltiplos de Einstein eram puras entidades matemáticas. Mas os que gostariam de dissolver as coisas em relações, que consideram toda a realidade, mesmo a nossa, como matemática confusamente percebida, diriam de bom grado que o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein é a própria realidade, que todos os Tempos de Einstein são igualmente reais, tanto e talvez mais do que o tempo que flui connosco. De um lado e do outro, vai-se demasiado depressa. Acabámos de dizer, e mostraremos daqui a pouco com mais detalhe, por que razão a teoria da Relatividade não pode exprimir toda a realidade. Mas é impossível que não exprima alguma realidade. Porque o tempo que intervém na experiência Michelson-Morley é um tempo real; — real ainda o tempo a que regressamos com a aplicação das fórmulas de Lorentz. Se se parte do tempo real para chegar ao tempo real, talvez se tenham usado artifícios matemáticos no intervalo, mas esses artifícios devem ter alguma ligação com as coisas. É, portanto, a parte do real, a parte do convencional, que importa fazer. As nossas análises destinavam-se simplesmente a preparar este trabalho.

## CAPÍTULO 6.8.

### **Por que sinal se reconhecerá que um Tempo é real**

Mas acabámos de pronunciar a palavra «*realidade*»; e constantemente, no que se segue, falaremos do que é real, do que não o é. O que entenderemos por isso? Se tivéssemos de definir a realidade em geral, dizer por que sinal se reconhece, não o poderíamos fazer sem nos enquadrarmos numa escola: os filósofos não estão de acordo, e o problema recebeu tantas soluções quantas as nuances que o realismo e o idealismo comportam. Deveríamos, além disso, distinguir entre o ponto de vista da filosofia e o da ciência: aquela considera antes como real o concreto, carregado de qualidade; esta extrai ou abstrai um certo aspeto das coisas, e retém apenas o que é grandeza ou relação entre grandezas. Felizmente, em tudo o que se segue, só temos de nos ocupar de uma única realidade, o tempo. Nestas condições, será fácil seguirmos a regra que nos impusemos no presente ensaio: a de não avançar nada que não possa ser aceite por qualquer filósofo, qualquer cientista — nada mesmo que não esteja implícito em toda a filosofia e em toda a ciência.

Com efeito, toda a gente nos concederá que não se concebe tempo sem um *antes* e um *depois*: o tempo é sucessão. Ora, acabamos de mostrar que onde não há alguma memória, alguma consciência, real ou virtual, constatada ou imaginada, efetivamente presente ou idealmente introduzida, não pode haver um antes e um depois: há um *ou* o outro, não há os dois; e são precisos os dois para fazer tempo. Portanto, no que se segue, quando quisermos saber se estamos perante um tempo real ou fictício, teremos simplesmente de nos perguntar se o objeto que nos é apresentado poderia ou não ser percebido, tornar-se consciente. O caso é privilegiado; é mesmo único. Se se trata de cor, por exemplo, a consciência intervém sem dúvida no início do estudo para dar ao físico a perceção da coisa; mas o físico tem o direito e o dever de substituir o dado da consciência por algo de mensurável e numerável sobre o qual operará doravante, deixando-lhe apenas por comodidade o nome da perceção original. Pode fazê-lo, porque, eliminada essa perceção original, algo permanece ou pelo menos se supõe que permaneça. Mas o que restará do tempo se eliminarmos a sucessão? E o que resta da sucessão se afastarmos até a possibilidade de perceber um antes e um depois? Concedo-lhe o direito de substituir o tempo por uma linha, por exemplo, já que é preciso medi-lo. Mas uma linha só deverá chamar-se tempo onde a justaposição que nos oferece for convertível em sucessão; caso contrário, será de forma arbitrária, convencional, que deixará a essa linha o nome de tempo: será preciso avisar-nos, para não nos expormos a uma confusão grave. Que será, se introduzir nos seus raciocínios e cálculos a hipótese de que a coisa por si denominada «*tempo*» não pode, sob pena de contradição, ser percebida por uma consciência, real ou imaginária? Não será então, por definição, sobre um tempo fictício, irreal, que operará? Ora, tal é o caso dos tempos com que frequentemente nos depararemos na teoria da Relatividade. Encontraremos alguns percebidos ou perceptíveis; esses poderão ser considerados reais. Mas há outros aos quais a teoria proíbe, de certa forma, de serem percebidos ou de se tornarem perceptíveis: se o fossem, mudariam de grandeza — de tal modo que a medida, exata se incidir sobre o que não se percebe, seria falsa assim que se percebesse. Estes, como não declará-los irrealis, pelo menos enquanto «*temporais*»? Admito que o físico ache conveniente chamar-lhes ainda tempo; — ver-se-á mais adiante a razão. Mas se se assimilam estes Tempos ao outro, cai-se em paradoxos que certamente prejudicaram a teoria da Relatividade, ainda que tenham contribuído para a tornar popular. Não surpreenderá, portanto, que a propriedade de ser percebido ou perceptível seja exigida por nós, na presente investigação, para tudo o que nos for oferecido como real. Não decidiremos a questão de saber se toda a realidade possui este carácter. Tratar-se-á aqui apenas da realidade do tempo.

## CAPÍTULO 7.

# Da Pluralidade dos Tempos

## Os Tempos Múltiplos e Desacelerados da Teoria da Relatividade

Chegamos enfim ao Tempo de Einstein, e retomemos tudo o que tínhamos dito supondo primeiro um éter imóvel. Eis a Terra em movimento na sua órbita. O dispositivo Michelson-Morley está lá. Faz-se a experiência; repete-se em várias épocas do ano e, conseqüentemente, para velocidades variáveis do nosso planeta. Sempre o raio de luz se comporta como se a Terra estivesse imóvel. Tal é o facto. Onde está a explicação?

Mas, antes de mais, porque se fala das velocidades do nosso planeta? Estaria a Terra, em termos absolutos, em movimento através do espaço? Evidentemente não; estamos na hipótese da Relatividade e já não há movimento absoluto. Quando fala da órbita descrita pela Terra, coloca-se num ponto de vista arbitrariamente escolhido, o dos habitantes do Sol (de um Sol tornado habitável). Apraz-lhe adotar esse sistema de referência. Mas porque é que o raio de luz lançado contra os espelhos do aparelho Michelson-Morley teria em conta a sua fantasia? Se tudo o que se produz efetivamente é o deslocamento recíproco da Terra e do Sol, podemos tomar como sistema de referência o Sol, a Terra ou qualquer outro observatório. Escolhamos a Terra. O problema desaparece para ela. Já não há que perguntar porque é que as franjas de interferência conservam o mesmo aspeto, porque é que o mesmo resultado se observa em qualquer momento do ano. É simplesmente porque a Terra está imóvel.

É verdade que o problema reaparece então aos nossos olhos para os habitantes do Sol, por exemplo. Digo «aos nossos olhos», porque para um físico solar a questão já não diz respeito ao Sol: é agora a Terra que se move. Em suma, cada um dos dois físicos colocará ainda o problema para o sistema que não é o seu.

Cada um deles vai então encontrar-se em relação ao outro na situação em que Pierre estava há pouco perante Paul. Pierre estava estacionário no éter imóvel; habitava um sistema privilegiado  $S$ . Ele via Paul, arrastado no movimento do sistema móvel  $S'$ , fazer a mesma experiência que ele e encontrar a mesma velocidade que ele para a luz, quando essa velocidade deveria ser diminuída pela do sistema móvel. O facto explicava-se pelo abrandamento do tempo, as contrações de comprimento e as ruturas de simultaneidade que o movimento provocava em  $S'$ . Agora, não há mais movimento absoluto e, conseqüentemente, não há mais repouso absoluto: dos dois sistemas, que estão em estado de deslocamento recíproco, cada um será imobilizado por sua vez pelo decreto que o erige em sistema de referência. Mas, durante todo o tempo em que se mantiver esta convenção, poder-se-á repetir do sistema imobilizado o que se dizia há pouco do sistema verdadeiramente estacionário, e do sistema mobilizado o que se aplicava ao sistema móvel atravessando verdadeiramente o éter. Para fixar as ideias, chamemos novamente  $S$  e  $S'$  os dois sistemas que se deslocam um em relação ao outro. E, para simplificar as coisas, suponhamos o universo inteiro reduzido a estes dois sistemas. Se  $S$  é o sistema de referência, o físico colocado em  $S$ , considerando que o seu colega em  $S'$  encontra a mesma velocidade que ele para a luz, interpretará o resultado como fazíamos anteriormente. Ele dirá: «O sistema desloca-se com uma velocidade  $v$  em relação a mim, imóvel. Ora, a experiência de Michelson-Morley dá lá o mesmo resultado que aqui. É, portanto, que, devido ao movimento, ocorre uma contração no sentido do deslocamento do sistema; um comprimento  $l$  torna-se  $l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . A esta contração dos comprimentos, está aliás ligada uma dilatação do tempo: onde um relógio de  $S'$  conta um número de segundos  $t'$ , na realidade decorreram  $\frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Finalmente, quando os relógios de  $S'$ , escalonados ao longo da direção do seu movimento e separados uns dos outros por distâncias  $l$ , indicam a mesma hora, vejo que os sinais que vão e vêm entre dois relógios consecutivos não percorrem o mesmo trajeto na ida e na volta, como acreditaria um físico interior ao sistema  $S'$  e ignorando o seu movimento: onde esses relógios marcam para ele uma simultaneidade, indicam na realidade momentos sucessivos separados por  $\frac{lv}{c^2}$  segundos dos seus relógios e, conseqüentemente, por  $\frac{lv}{c^2\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  segundos dos meus». Tal seria o raciocínio do físico em  $S$ . E,

construindo uma representação matemática integral do universo, ele só utilizaria as medidas de espaço e tempo tiradas pelo seu colega do sistema  $S'$  depois de as submeter à transformação de Lorentz.

Mas o físico do sistema  $S'$  procederia exatamente da mesma maneira. Decretando-se imóvel, repetiria de  $S$  tudo o que o seu colega colocado em  $S$  teria dito de  $S'$ . Na representação matemática que construiria do universo, consideraria exatas e definitivas as medidas que ele próprio teria tirado no interior do seu sistema, mas corrigiria segundo as fórmulas de Lorentz todas as que tivessem sido tiradas pelo físico ligado ao sistema  $S$ .

Assim seriam obtidas duas representações matemáticas do universo, totalmente diferentes uma da outra se considerarmos os números que figuram, idênticas se tivermos em conta as relações que elas indicam por meio deles entre os fenômenos — relações que chamamos as leis da natureza. Esta diferença é aliás a condição mesma dessa identidade. Quando se tiram várias fotografias de um objeto girando à sua volta, a variabilidade dos detalhes não faz mais do que traduzir a invariabilidade das relações que os detalhes têm entre si, ou seja, a permanência do objeto.

Estamos então reconduzidos a Tempos múltiplos, a simultaneidades que seriam sucessões e a sucessões que seriam simultaneidades, a comprimentos que seria preciso contar diferentemente conforme são considerados em repouso ou em movimento. Mas desta vez estamos perante a forma definitiva da teoria da Relatividade. Devemos perguntar em que sentido as palavras são tomadas.

Consideremos primeiro a pluralidade dos Tempos, e retomemos os nossos dois sistemas  $S$  e  $S'$ . O físico colocado em  $S$  adota o seu sistema como sistema de referência. Eis então  $S$  em repouso e  $S'$  em movimento. No interior do seu sistema, considerado imóvel, o nosso físico institui a experiência Michelson-Morley. Para o objeto restrito que perseguimos neste momento, será útil cortar a experiência em dois e reter, se assim se pode exprimir, apenas metade. Suporemos portanto que o físico se ocupa unicamente do trajeto da luz na direção  $OB$  perpendicular à do movimento recíproco dos dois sistemas. Num relógio colocado no ponto  $O$ , ele lê o tempo  $t$  que o raio levou para ir de  $O$  a  $B$  e voltar de  $B$  a  $O$ . De que tempo se trata?

Evidentemente de um tempo real, no sentido que demos acima a esta expressão. Entre a partida e o regresso do raio, a consciência do físico viveu uma certa duração: o movimento dos ponteiros do relógio é um fluxo contemporâneo desse fluxo interior e que serve para o medir. Nenhuma dúvida, nenhuma dificuldade. Um tempo vivido e contado por uma consciência é real por definição.

Olhemos então para um segundo físico colocado em  $S'$ . Ele julga-se imóvel, tendo por hábito tomar o seu próprio sistema como sistema de referência. Ei-lo a fazer a experiência Michelson-Morley ou melhor, ele também, metade da experiência. Num relógio colocado em  $O'$ , ele anota o tempo que o raio de luz leva para ir de  $O'$  a  $B'$  e voltar. Qual é então esse tempo que ele conta? Evidentemente o tempo que ele vive. O movimento do seu relógio é contemporâneo do fluxo da sua consciência. É ainda um tempo real por definição.

## CAPÍTULO 7.2.

### Como são compatíveis com um Tempo único e universal

Assim, o tempo vivido e contado pelo primeiro físico no seu sistema, e o tempo vivido e contado pelo segundo no seu, são ambos tempos reais.

Serão, um e outro, um só e mesmo Tempo? São Tempos diferentes? Vamos demonstrar que se trata do mesmo Tempo em ambos os casos.

De facto, qualquer que seja o sentido em que se entendam os ralentamentos ou acelerações do tempo e, por conseguinte, os Tempos múltiplos de que fala a teoria da Relatividade, um ponto é certo: esses retardamentos e essas acelerações devem-se unicamente aos movimentos dos sistemas que se consideram e dependem apenas da velocidade que se supõe que cada sistema possui. Não mudaremos, portanto, nada em qualquer Tempo, real ou fictício, do sistema  $S'$  se supusermos que este sistema é uma duplicata do sistema  $S$ , porque o conteúdo do sistema, a natureza dos acontecimentos que nele se desenrolam, não entram em linha de conta: só importa a velocidade de translação do sistema. Mas se  $S'$  é um duplicado de  $S$ , é evidente que o Tempo vivido e anotado pelo segundo físico durante a sua experiência no sistema  $S'$ , considerado por ele imóvel, é idêntico ao Tempo vivido e anotado pelo primeiro no sistema  $S$ , igualmente considerado imóvel, uma vez que  $S$  e  $S'$ , uma vez imobilizados, são permutáveis. Portanto, o Tempo vivido e contado no sistema, o Tempo interior e imanente ao sistema, o Tempo real enfim, é o mesmo para  $S$  e para  $S'$ .

Mas então, o que são os Tempos múltiplos, com velocidades de fluxo desiguais, que a teoria da Relatividade encontra nos diversos sistemas de acordo com a velocidade de que estes sistemas são animados?

Voltemos aos nossos dois sistemas  $S$  e  $S'$ . Se considerarmos o Tempo que o físico Pierre, situado em  $S$ , atribui ao sistema  $S'$ , vemos que esse Tempo é de facto mais lento do que o Tempo contado por Pierre no seu próprio sistema. Esse tempo não é, portanto, vivido por Pierre. Mas sabemos que também não é vivido por Paul. Não é vivido nem por Pierre nem por Paul. Muito menos por outros. Mas não basta. Se o Tempo atribuído por Pierre ao sistema de Paul não é vivido por Pierre, nem por Paul, nem por ninguém, será pelo menos concebido por Pierre como vivido ou podendo ser vivido por Paul, ou mais geralmente por alguém, ou mais geralmente ainda por alguma coisa? Olhando de perto, ver-se-á que não. Sem dúvida, Pierre cola neste Tempo uma etiqueta com o nome de Paul; mas se ele se representasse Paul consciente, vivendo a sua própria duração e medindo-a, *por isso mesmo veria Paul tomar o seu próprio sistema como sistema de referência, e colocar-se então nesse Tempo único, interior a cada sistema, de que acabamos de falar: aliás, por isso mesmo, Pierre abandonaria provisoriamente o seu sistema de referência e, conseqüentemente, a sua consciência; Pierre já não se veria a si mesmo senão como uma visão de Paul.* Mas quando Pierre atribui ao sistema de Paul um Tempo retardado, ele já não vê em Paul um físico, nem mesmo um ser consciente, nem mesmo um ser: ele esvazia do seu interior consciente e vivo a imagem visual de Paul, retendo do personagem apenas o seu invólucro exterior (só ele interessa à física): então, os números com que Paul teria anotado os intervalos de tempo do seu sistema se tivesse sido consciente, Pierre multiplica-os por  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  para os fazer entrar numa representação matemática do universo tomada do seu ponto de vista, e não mais do de Paul. Assim, em resumo, enquanto o tempo atribuído por Pierre ao seu próprio sistema é o tempo por ele vivido, o tempo que Pierre atribui ao sistema de Paul não é nem o tempo vivido por Pierre, nem o tempo vivido por Paul, nem um tempo que Pierre conceba como vivido ou que possa ser vivido por Paul vivo e consciente. O que é então, senão uma simples expressão matemática destinada a marcar que é o sistema de Pierre, e não o sistema de Paul, que é tomado como sistema de referência?

Sou pintor e tenho de representar duas personagens, Jean e Jacques, uma das quais está ao meu lado, enquanto a outra está a duzentos ou trezentos metros de mim. Desenharei a primeira em tamanho natural e reduzirei a outra à dimensão de um anão. Qualquer um dos meus colegas, que esteja perto de Jacques e queira também pintar os dois, fará o inverso do que eu faço; mostrará Jean muito pequeno e Jacques em tamanho natural. E teremos ambos razão. Mas, do facto de ambos termos razão, ter-se-á o direito de concluir que Jean e Jacques não têm nem o tamanho normal nem o de um anão, ou que têm ambos ao mesmo tempo, ou que é como se quiser? Evidentemente

que não. Tamanho e dimensão são termos que têm um sentido preciso quando se trata de um modelo que posa: é o que percebemos da altura e da largura de uma personagem quando estamos ao seu lado, quando a podemos tocar e colocar ao longo do seu corpo uma régua destinada à medição. Estando perto de Jean, medindo-o se quiser e propondo-me pintá-lo em tamanho natural, dou-lhe a sua dimensão real; e, representando Jacques como um anão, exprimo simplesmente a impossibilidade em que estou de o tocar — mesmo, se for permitido falar assim, o grau dessa impossibilidade: o *grau de impossibilidade* é precisamente o que se chama distância, e é a distância que a perspectiva leva em conta. Do mesmo modo, no interior do sistema onde estou, e que imobilizo pelo pensamento ao tomá-lo como sistema de referência, meço directamente um tempo que é o meu e o do meu sistema; é essa medida que inscrevo na minha representação do universo para tudo o que diz respeito ao meu sistema. Mas, ao imobilizar o meu sistema, mobilizei os outros, e mobilizei-os de diversas maneiras. Eles adquiriram velocidades diferentes. Quanto maior for a sua velocidade, mais ela está *afastada* da minha imobilidade. É essa maior ou menor *distância* da sua velocidade à minha velocidade nula que exprimo na minha representação matemática dos outros sistemas quando lhes atribuo Tempos mais ou menos lentos, aliás todos mais lentos do que o meu, tal como é a maior ou menor distância entre Jacques e mim que exprimo ao reduzir mais ou menos o seu tamanho. A multiplicidade dos Tempos que assim obtenho não impede a unidade do tempo real; antes a pressupõe, tal como a diminuição do tamanho com a distância, numa série de telas onde eu representasse Jacques mais ou menos afastado, indicaria que Jacques conserva o mesmo tamanho.

### CAPÍTULO 7.3.

## Exame dos paradoxos relativos ao tempo

Assim se apaga a forma paradoxal que foi dada à teoria da pluralidade dos Tempos. «*Suponham, dizem, um viajante encerrado num projectil que seria lançado da Terra com uma velocidade inferior a cerca de um vinte milésimo à da luz, que encontrasse uma estrela e que fosse devolvido à Terra com a mesma velocidade. Tendo envelhecido dois anos, por exemplo, quando sair do seu projectil, encontrará que o nosso globo envelheceu duzentos anos.*» — Terão a certeza? Vejamos mais de perto. Vamos ver desaparecer o efeito de miragem, porque não é outra coisa.

### CAPÍTULO 7.4.

## A hipótese do viajante encerrado num projectil

O projectil partiu de um canhão preso à Terra imóvel. Chamemos Pierre à pessoa que fica perto do canhão, sendo então a Terra o nosso sistema  $S$ . O viajante encerrado no projectil  $S'$  torna-se assim a nossa pessoa Paul. Colocámo-nos, dizíamos, na hipótese de que Paul regressaria após duzentos anos vividos por Pierre. Considerou-se, portanto, Pierre vivo e consciente: são efetivamente duzentos anos do seu fluxo interior que decorreram para Pierre entre a partida e o regresso de Paul. Passemos então a Paul. Queremos saber quanto tempo ele viveu. É, portanto, a Paul vivo e consciente que nos devemos dirigir, e não à imagem de Paul representada na consciência de Pierre. Mas Paul vivo e consciente toma evidentemente como sistema de referência o seu projectil: por isso mesmo imobiliza-o. A partir do momento em que nos dirigimos a Paul, estamos com ele, adotamos o seu ponto de vista. Mas então, eis o projectil parado: é o canhão, com a Terra a ele presa, que foge através do espaço. Tudo o que dizíamos de Pierre, temos agora de o repetir sobre Paul: o movimento sendo recíproco, as duas pessoas são intercambiáveis. Se, há pouco, olhando para o interior da consciência de Pierre, assistíamos a um certo fluxo, é exatamente o mesmo fluxo que

vamos constatar na consciência de Paul. Se dizíamos que o primeiro fluxo era de duzentos anos, é de duzentos anos que será o outro fluxo. Pierre e Paul, a Terra e o projétil, terão vivido a mesma duração e envelhecido da mesma maneira.

Onde estão então os dois anos de tempo desacelerado que deviam decorrer lentamente para o projétil enquanto duzentos anos teriam de decorrer na Terra? A nossa análise tê-los-ia volatilizado? De modo algum! Vamos reencontrá-los. Mas já não poderemos alojar neles nada, nem seres nem coisas; e será preciso procurar outro meio de não envelhecer.

As nossas duas pessoas apareceram-nos de facto como vivendo num só e mesmo tempo, duzentos anos, porque nos colocámos tanto do ponto de vista de um como do outro. Era necessário, para interpretar filosoficamente a tese de Einstein, que é a da relatividade radical e, por conseguinte, da reciprocidade perfeita do movimento retilíneo e uniforme<sup>(1)</sup>. Mas esta maneira de proceder é própria do filósofo que toma a tese de Einstein na sua integralidade e se prende à realidade — quero dizer, à coisa percebida ou perceptível — que esta tese evidentemente exprime. Implica que em nenhum momento se perca de vista a ideia de reciprocidade e que, por consequência, se vá constantemente de Pierre a Paul e de Paul a Pierre, tomando-os como intercambiáveis, imobilizando-os por sua vez, aliás apenas por um instante, graças a uma oscilação rápida da atenção que não quer sacrificar nada da tese da Relatividade. Mas o físico é obrigado a proceder de outro modo, mesmo que adira sem reservas à teoria de Einstein. Começará, sem dúvida, por se regular com ela. Afirmará a reciprocidade. Postulará que se pode escolher entre o ponto de vista de Pierre e o de Paul. Mas, dito isto, escolherá um dos dois, porque não pode referir os acontecimentos do universo, ao mesmo tempo, a dois sistemas de eixos diferentes. Se se coloca mentalmente no lugar de Pierre, contará a Pierre o tempo que Pierre a si mesmo se conta, isto é, o tempo realmente vivido por Pierre, e a Paul o tempo que Pierre lhe empresta. Se está com Paul, contará a Paul o tempo que Paul se conta, isto é, o tempo que Paul vive efetivamente, e a Pierre o tempo que Paul lhe atribui. Mas, repito, optará necessariamente por Pierre ou por Paul. Suponhamos que escolhe Pierre. Serão então dois anos, e apenas dois anos, que terá de contar a Paul.

---

<sup>(1)</sup> O movimento do projétil pode ser considerado retilíneo e uniforme em cada um dos dois percursos de ida e volta tomados isoladamente. É tudo o que é exigido para a validade do raciocínio que acabamos de fazer.

Com efeito, Pierre e Paul lidam com a mesma física. Observam as mesmas relações entre fenómenos, encontram na natureza as mesmas leis. Mas o sistema de Pierre está imóvel e o de Paul em movimento. Enquanto se trata de fenómenos de algum modo ligados ao sistema, isto é, definidos pela física de tal maneira que o sistema é suposto arrastá-los quando se supõe que se move, as leis desses fenómenos devem evidentemente ser as mesmas para Pierre e para Paul: os fenómenos em movimento, sendo percebidos por Paul que é animado do mesmo movimento que eles, estão imóveis aos seus olhos e aparecem-lhe exatamente como aparecem a Pierre os fenómenos análogos do seu próprio sistema. Mas os fenómenos eletromagnéticos apresentam-se de tal modo que já não se pode, quando o sistema onde se produzem é suposto mover-se, considerá-los como participando no movimento do sistema. E, no entanto, as relações desses fenómenos entre si, as suas relações com os fenómenos arrastados no movimento do sistema, são ainda para Paul o que são para Pierre. Se a velocidade do projétil é bem a que supusemos, Pierre só pode exprimir essa persistência das relações atribuindo a Paul um Tempo cem vezes mais lento que o seu, como se vê pelas equações de Lorentz. Se contasse de outro modo, não inscreveria na sua representação matemática do mundo que Paul, em movimento, encontra entre todos os fenómenos — incluindo os fenómenos eletromagnéticos — as mesmas relações que Pierre em repouso. Postula assim, implicitamente, que Paul referido poderia tornar-se Paul referente, pois por que razão as relações se conservariam para Paul, por que razão deveriam ser assinaladas por Pierre a Paul tais como aparecem a Pierre, a não ser porque Paul se decretaria imóvel com o mesmo direito que Pierre? Mas é uma simples consequência dessa reciprocidade que ele assim assinala, e

não a própria reciprocidade. Repito, ele próprio se tornou referente, e Paul não é mais do que referido. Nestas condições, o Tempo de Paul é cem vezes mais lento que o de Pierre. Mas é um tempo atribuído, não é um tempo vivido. O tempo vivido por Paul seria o Tempo de Paul referente e não mais referido: seria exatamente o tempo que Pierre acabou de encontrar para si.

Voltamos portanto sempre ao mesmo ponto: há um só Tempo real, e os outros são fictícios. O que é, de facto, um Tempo real, senão um Tempo vivido ou que poderia sê-lo? O que é um Tempo irreal, auxiliar, fictício, senão aquele que não poderia ser vivido efetivamente por nada nem por ninguém?

Mas vê-se a origem da confusão. Formulá-la-íamos assim: a hipótese da reciprocidade só pode traduzir-se matematicamente na da não-reciprocidade, pois traduzir matematicamente a liberdade de escolher entre dois sistemas de eixos consiste em escolher efetivamente um deles<sup>(1)</sup>. A faculdade de escolher não pode ler-se na escolha efetivamente feita em virtude dela. Um sistema de eixos, pelo simples facto de ser adotado, torna-se um sistema privilegiado. No uso matemático que dele se faz, é indistinguível de um sistema absolutamente imóvel. Eis por que a relatividade unilateral e a bilateral equivalem-se matematicamente, pelo menos no caso que nos ocupa. A diferença só existe aqui para o filósofo; só se revela se nos perguntarmos que realidade, isto é, que coisa percebida ou perceptível, as duas hipóteses implicam. A mais antiga, a do sistema privilegiado em estado de repouso absoluto, levaria de facto a postular Tempos múltiplos e reais. Pierre, realmente imóvel, viveria uma certa duração; Paul, realmente em movimento, viveria uma duração mais lenta. Mas a outra, a da reciprocidade, implica que a duração mais lenta deve ser atribuída por Pierre a Paul ou por Paul a Pierre, conforme Pierre ou Paul é referente, conforme Paul ou Pierre é referido. As suas situações são idênticas; vivem um só e mesmo Tempo, mas atribuem reciprocamente um Tempo diferente desse e exprimem assim, segundo as regras da perspectiva, que a física de um observador imaginário em movimento deve ser a mesma que a de um observador real em repouso. Portanto, na hipótese da reciprocidade, temos pelo menos tantas razões quanto o senso comum para acreditar num Tempo único: a ideia paradoxal de Tempos múltiplos só se impõe na hipótese do sistema privilegiado. Mas, repita-se, só se pode exprimir matematicamente na hipótese de um sistema privilegiado, mesmo quando se começou por postular a reciprocidade; e o físico, sentindo-se quite perante a hipótese da reciprocidade depois de lhe ter prestado homenagem ao escolher como quis o seu sistema de referência, abandona-a ao filósofo e exprimir-se-á doravante na linguagem do sistema privilegiado. Confiando nesta física, Paul entrará no projétil. Perceberá pelo caminho que a filosofia tinha razão<sup>(2)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Trata-se sempre, bem entendido, apenas da teoria da Relatividade restrita.

<sup>(2)</sup> A hipótese do viajante encerrado num projétil de canhão, vivendo apenas dois anos enquanto duzentos anos decorrem na Terra, foi exposta pelo Sr. Langevin na sua comunicação ao congresso de Bolonha em 1911. É universalmente conhecida e citada por toda a parte. Encontrá-la-á, em particular, na importante obra do Sr. Jean Becquerel, *Le principe de relativité et la théorie de la gravitation*, página 52.

Mesmo do ponto de vista puramente físico, levanta certas dificuldades, pois já não estamos realmente aqui em Relatividade restrita. Desde que a velocidade muda de sentido, há aceleração e temos de lidar com um problema de Relatividade generalizada.

Mas, de qualquer modo, a solução dada acima suprime o paradoxo e faz desaparecer o problema.

Aproveitamos esta ocasião para dizer que foi a comunicação do Sr. Langevin no congresso de Bolonha que outrora chamou a nossa atenção para as ideias de Einstein. Sabe-se o que devem ao Sr. Langevin, aos seus trabalhos e ao seu ensino, todos os que se interessam pela teoria da Relatividade.

O que contribuiu para manter a ilusão é que a teoria da Relatividade restrita declara precisamente procurar para as coisas uma representação independente do sistema de referência<sup>(1)</sup>. Parece, portanto, proibir ao físico que se coloque num ponto de vista determinado. Mas há aqui uma distinção importante a fazer. Sem dúvida, o teórico da Relatividade pretende dar às leis da natureza uma expressão que conserve a sua forma, qualquer que seja o sistema de referência a que se reportem os acontecimentos. Mas isso significa simplesmente que, colocando-se num ponto de vista determinado como todo o físico, adotando necessariamente um sistema de referência determinado e anotando assim grandezas determinadas, estabelecerá entre estas grandezas relações que deverão conservar-se invariantes entre as novas grandezas que se encontrarão se se

adotar um novo sistema de referência. *É precisamente porque o seu método de pesquisa e os seus processos de notação o asseguram de uma equivalência entre todas as representações do universo tomadas de todos os pontos de vista que ele tem o direito absoluto (bem assegurado à física antiga) de se manter no seu ponto de vista pessoal e de reportar tudo ao seu único sistema de referência.* Mas a este sistema de referência está bem obrigado a ligar-se geralmente<sup>(2)</sup>. A este sistema deverá, pois, ligar-se também o filósofo quando quiser distinguir o real do fictício. É real o que é medido pelo físico real, fictício o que é representado no pensamento do físico real como medido por físicos fictícios. Mas voltaremos a este ponto no decurso do nosso trabalho. Por agora, indiquemos outra fonte de ilusão, menos aparente ainda que a primeira.

---

<sup>(1)</sup> Mantemo-nos aqui na Relatividade restrita, porque nos ocupamos apenas do Tempo. Em Relatividade generalizada, é incontestável que se tende a não tomar nenhum sistema de referência, a proceder como para a construção de uma geometria intrínseca, sem eixos de coordenadas, a utilizar apenas elementos invariantes. Todavia, mesmo aqui, a invariância que se considera de facto é geralmente ainda a de uma relação entre elementos que estão, eles próprios, subordinados à escolha de um sistema de referência.

<sup>(2)</sup> No seu encantador livrinho sobre a teoria da Relatividade (*The General Principle of Relativity*, Londres, 1920), o Sr. Wildon Carr sustenta que esta teoria implica uma concepção idealista do universo. Não iríamos tão longe; mas é bem na direção idealista, cremos, que se deveria orientar esta física se se quisesse erigi-la em filosofia.

O físico Pierre admite naturalmente (é apenas uma crença, pois não se pode provar) que existem outras consciências além da sua, espalhadas pela superfície da Terra, concebíveis mesmo em qualquer ponto do universo. Paul, Jean e Jacques podem muito bem estar em movimento em relação a ele: ele verá neles espíritos que pensam e sentem à sua maneira. É que ele é homem antes de ser físico. Mas quando ele considera Paul, Jean e Jacques como seres semelhantes a ele, dotados de uma consciência como a sua, ele esquece realmente a sua física ou aproveita a autorização que ela lhe dá para falar na vida quotidiana como o comum dos mortais. Enquanto físico, ele está dentro do sistema onde faz as suas medições e ao qual refere todas as coisas. Físicos como ele, e conseqüentemente conscientes como ele, serão, na pior das hipóteses, homens ligados ao mesmo sistema: constroem de facto, com os mesmos números, a mesma representação do mundo a partir do mesmo ponto de vista; eles também são referentes. Mas os outros homens não serão mais do que referidos; agora não poderão ser, para o físico, mais do que marionetas vazias. Se Pierre lhes concedesse uma alma, perderia imediatamente a sua; de referidos passariam a referentes; seriam físicos, e Pierre teria de se tornar uma marioneta por sua vez. Este vaivém de consciência começa evidentemente apenas quando se trata de física, pois é então necessário escolher um sistema de referência. Fora disso, os homens permanecem o que são, conscientes uns como os outros. Não há razão para que não vivam então a mesma duração e não evoluam no mesmo Tempo. A pluralidade dos Tempos desenha-se precisamente no momento em que já não há mais do que um homem ou um grupo a viver o tempo. Esse Tempo torna-se então o único real: é o Tempo real de há pouco, mas apropriado pelo homem ou pelo grupo que se erigiu em físico. Todos os outros homens, tornados fantoches a partir desse momento, evoluem doravante em Tempos que o físico representa e que não podem mais ser Tempo real, não sendo vividos e não podendo sê-lo. Imaginários, naturalmente imaginar-se-ão tantos quantos se quiser.

O que vamos acrescentar agora parecerá paradoxal, e no entanto é a pura verdade. A ideia de um Tempo real comum aos dois sistemas, idêntico para  $S$  e para  $S'$ , impõe-se na hipótese da pluralidade dos Tempos matemáticos com mais força do que na hipótese comumente admitida de um Tempo matemático único e universal. Pois, em qualquer hipótese que não seja a da Relatividade,  $S$  e  $S'$  não são estritamente intercambiáveis: ocupam situações diferentes em relação a algum sistema privilegiado; e, mesmo que se tenha começado por fazer de um o duplicado do outro, vêem-se imediatamente diferenciar um do outro pelo simples facto de não manterem a mesma relação com o sistema central. Por mais que se lhes atribua então o mesmo Tempo matemático, como sempre se fez até Lorentz e Einstein, é impossível demonstrar rigorosamente que os observadores colocados respectivamente nesses dois sistemas vivem a mesma duração interior e que, conseqüentemente, os dois sistemas têm o mesmo Tempo real; é mesmo muito

difícil então definir com precisão essa identidade de duração; tudo o que se pode dizer é que não se vê nenhuma razão para que um observador que se desloque de um para o outro sistema não reaja psicologicamente da mesma maneira, não viva a mesma duração interior, para porções supostamente iguais de um mesmo Tempo matemático universal. Argumentação sensata, à qual nada de decisivo se opôs, mas que falta de rigor e precisão. Pelo contrário, a hipótese da Relatividade consiste essencialmente em rejeitar o sistema privilegiado:  $S$  e  $S'$  devem, portanto, ser considerados, enquanto os consideramos, estritamente intercambiáveis, se tivermos começado por fazer de um o duplicado do outro. Mas então as duas personagens em  $S$  e  $S'$  podem ser levadas pelo nosso pensamento a coincidir, como duas figuras iguais que se sobrepõem: deverão coincidir, não só quanto aos diversos modos da *quantidade*, mas também, se me posso exprimir assim, quanto à *qualidade*, pois as suas vidas interiores tornaram-se indistinguíveis, tal como o que nelas se presta à medição: os dois sistemas permanecem constantemente o que eram no momento em que foram postos, duplicados um do outro, ao passo que fora da hipótese da Relatividade já não o eram inteiramente no momento seguinte, quando abandonados à sua sorte. Mas não insistiremos neste ponto. Digamos simplesmente que os dois observadores em  $S$  e em  $S'$  vivem exactamente a mesma duração, e que os dois sistemas têm assim o mesmo Tempo real.

Será assim ainda para todos os sistemas do universo? Atribuámos a  $S'$  uma velocidade qualquer: poderemos portanto repetir para todo o sistema  $S''$  o que dissemos de  $S'$ ; o observador que nele se colocar viverá nele a mesma duração que em  $S$ . Quando muito, objectar-nos-ão que o deslocamento recíproco de  $S''$  e de  $S$  não é o mesmo que o de  $S$  e de  $S'$ , e que, conseqüentemente, quando imobilizamos  $S$  como sistema de referência no primeiro caso, não fazemos exactamente o mesmo que no segundo. A duração do observador em  $S$  imóvel, quando  $S'$  é o sistema referido a  $S$ , não seria portanto necessariamente a mesma que a desse mesmo observador, quando o sistema referido a  $S$  é  $S''$ ; haveria, por assim dizer, *intensidades de imobilidade* diferentes, conforme a velocidade de deslocamento recíproco dos dois sistemas tivesse sido maior ou menor antes de um deles, erigido subitamente em sistema de referência, ser imobilizado pelo espírito. Não pensamos que alguém queira ir tão longe. Mas, mesmo nesse caso, colocar-se-ia simplesmente na hipótese que se faz habitualmente quando se faz passear um observador imaginário pelo mundo e se julga ter o direito de lhe atribuir em toda a parte a mesma duração. Entende-se com isso que não se vê nenhuma razão para acreditar no contrário: quando as aparências estão de um certo lado, cabe a quem as declara ilusórias provar o que diz. Ora, a ideia de pôr uma pluralidade de Tempos matemáticos nunca tinha vindo ao espírito antes da teoria da Relatividade; seria, portanto, unicamente a esta que se reportaria para pôr em dúvida a unidade do Tempo. E acabámos de ver que, no caso, único perfeitamente preciso e claro, de dois sistemas  $S$  e  $S'$  em deslocamento recíproco, a teoria da Relatividade acabaria por afirmar mais rigorosamente do que habitualmente se faz a unidade do Tempo real. Permite definir e quase demonstrar a identidade, em vez de se limitar à afirmação vaga e simplesmente plausível de que geralmente nos contentamos. Concluamos, de qualquer modo, no que diz respeito à universalidade do Tempo real, que a teoria da Relatividade não abala a ideia admitida e tenderia antes a consolidá-la.

## CAPÍTULO 7.5.

### **A simultaneidade «erudita», dissecável em sucessão**

Passemos então ao segundo ponto, a deslocação das simultaneidades. Mas recordemos primeiro em poucas palavras o que dissemos sobre a simultaneidade intuitiva, aquela que se poderia chamar real e vivida. Einstein admite-a necessariamente, pois é através dela que regista a hora de um acontecimento. Podem dar-se à simultaneidade as definições mais eruditas, dizer que é uma

identidade entre as indicações de relógios regulados uns pelos outros por troca de sinais ópticos, concluir daí que a simultaneidade é relativa ao processo de regulação. Não deixa de ser verdade que, se se comparam relógios, é para determinar a hora dos acontecimentos: ora, a simultaneidade de um acontecimento com a indicação do relógio que lhe dá a hora não depende de qualquer regulação dos acontecimentos nos relógios; ela é absoluta <sup>(1)</sup>. Se não existisse, se a simultaneidade não passasse de correspondência entre indicações de relógios, se não fosse também, e antes de mais, correspondência entre uma indicação de relógio e um acontecimento, não se construiriam relógios, ou ninguém os compraria. Pois só se compram para saber que horas são. Mas «saber que horas são» é notar a simultaneidade de um acontecimento, de um momento da nossa vida ou do mundo exterior, com uma indicação de relógio; não é, em geral, constatar uma simultaneidade entre indicações de relógios. Portanto, é impossível ao teórico da Relatividade não admitir a simultaneidade intuitiva <sup>(2)</sup>. No próprio regulação de dois relógios um pelo outro por sinais ópticos, ele utiliza esta simultaneidade, e fá-lo três vezes, pois deve notar 1º o momento da partida do sinal óptico, 2º o momento da chegada, 3º o do retorno. Agora, é fácil ver que a outra simultaneidade, aquela que depende de um regulação de relógios efetuada por troca de sinais, só se chama ainda simultaneidade porque se acredita ser capaz de a converter em simultaneidade intuitiva <sup>(3)</sup>. A personagem que regula relógios uns pelos outros toma-os necessariamente no interior do seu sistema: este sistema sendo o seu sistema de referência, ele julga-o imóvel. Para ele, portanto, os sinais trocados entre dois relógios afastados um do outro fazem o mesmo percurso na ida e na volta. Se se colocasse em qualquer ponto equidistante dos dois relógios, e se tivesse olhos suficientemente bons, abarcaria num ato único de visão instantânea as indicações dadas pelos dois relógios regulados opticamente um pelo outro, e veria marcar nesse momento a mesma hora. A simultaneidade erudita parece-lhe portanto sempre poder converter-se para ele em simultaneidade intuitiva, e é essa a razão pela qual a chama simultaneidade.

<sup>(1)</sup> Ela é imprecisa, sem dúvida. Mas quando, por experiências de laboratório, se estabelece este ponto, quando se mede o «atraso» trazido à constatação psicológica de uma simultaneidade, é ainda a ela que se deve recorrer para a criticar: sem ela não seria possível qualquer leitura de aparelho. Em última análise, tudo repousa sobre intuições de simultaneidade e intuições de sucessão.

<sup>(2)</sup> Obviamente, tentar-se-á objetar-nos que, em princípio, não há simultaneidade à distância, por menor que seja a distância, sem uma sincronização de relógios. Raciocinar-se-á assim: «Consideremos a vossa simultaneidade «intuitiva» entre dois acontecimentos muito próximos *A* e *B*. Ou bem é uma simultaneidade simplesmente aproximada, sendo a aproximação aliás suficiente face à distância enormemente maior que separa os acontecimentos entre os quais vão estabelecer uma simultaneidade «erudita»; ou bem é uma simultaneidade perfeita, mas então não fazem senão constatar inconscientemente uma identidade de indicações entre os dois relógios microbianos sincronizados de que falavam há pouco, relógios que existem virtualmente em *A* e em *B*. Se alegassem que os vossos micróbios colocados em *A* e em *B* usam da simultaneidade «intuitiva» para a leitura dos seus aparelhos, repetiríamos o nosso raciocínio imaginando desta vez submicróbios e relógios sub-microbianos. Em suma, a imprecisão diminuindo sempre, encontraríamos, em última instância, um sistema de simultaneidades eruditas independente das simultaneidades intuitivas: estas não são senão visões confusas, aproximadas, provisórias, daquelas». — Mas este raciocínio iria contra o próprio princípio da teoria da Relatividade, que é o de nunca supor nada além do que é atualmente constatado e da medida efetivamente tirada. Seria postular que anteriormente à nossa ciência humana, que está num devir perpétuo, há uma ciência integral, dada em bloco, na eternidade, e confundindo-se com a própria realidade: limitar-nos-íamos a adquiri-la fragmento por fragmento. Tal foi a ideia dominante da metafísica dos Gregos, ideia retomada pela filosofia moderna e aliás natural ao nosso entendimento. Que se adira a ela, concedo; mas não se deverá esquecer que é uma metafísica, e uma metafísica fundada sobre princípios que nada têm a ver com os da Relatividade.

<sup>(3)</sup> Mostrámos mais acima (p. 72) e acabamos de repetir que não se poderia estabelecer uma distinção radical entre a simultaneidade no local e a simultaneidade à distância. Há sempre uma distância que, por pequena que nos pareça, pareceria enorme a um micróbio construtor de relógios microscópicos.

## CAPÍTULO 7.6.

### Como ela é compatível com a simultaneidade «intuitiva»

Isto posto, consideremos dois sistemas  $S$  e  $S'$  em movimento um em relação ao outro. Tomemos primeiro  $S$  como sistema de referência. Por isso mesmo imobilizamo-lo. Os relógios aí foram regulados, como em todo o sistema, por troca de sinais ópticos. Como para todo o regulação de relógios, supôs-se então que os sinais trocados faziam o mesmo percurso na ida e na volta. Mas fazem-no efetivamente, desde que o sistema está imóvel. Se chamarmos  $H_m$  e  $H_n$  os pontos onde estão os dois relógios, um observador interior ao sistema, escolhendo qualquer ponto equidistante

de  $H_m$  e de  $H_n$ , poderá, se tiver olhos suficientemente bons, abarcar de lá num ato único de visão instantânea dois acontecimentos quaisquer que se passam respetivamente nos pontos  $H_m$  e  $H_n$  quando esses dois relógios marcam a mesma hora. Em particular, abarcará nessa percepção instantânea as duas indicações concordantes dos dois relógios — indicações que são, elas também, acontecimentos. Toda a simultaneidade indicada por relógios poderá portanto ser convertida no interior do sistema em simultaneidade intuitiva.

Consideremos então o sistema  $S'$ . Para um observador interior ao sistema, é claro que a mesma coisa se passará. Este observador toma  $S'$  como sistema de referência. Torna-o portanto imóvel. Os sinais ópticos por meio dos quais regula os seus relógios uns pelos outros fazem então o mesmo percurso na ida e na volta. Portanto, quando dois dos seus relógios indicam a mesma hora, a simultaneidade que marcam poderia ser vivida e tornar-se intuitiva.

Assim, nada de artificial nem convencional em a simultaneidade, quer se tome num ou noutro dos dois sistemas.

Mas vejamos agora como um dos dois observadores, aquele que está em  $S$ , julga o que se passa em  $S'$ . Para ele,  $S'$  move-se e, portanto, os sinais ópticos trocados entre dois relógios desse sistema não percorrem, como acreditaria um observador ligado ao sistema, o mesmo trajeto na ida e na volta (exceto naturalmente no caso particular em que os dois relógios ocupam um mesmo plano perpendicular à direção do movimento). Assim, aos seus olhos, a regulação dos dois relógios operou-se de tal modo que eles dão a mesma indicação onde não há simultaneidade, mas sucessão. Contudo, notemos que ele adota assim uma definição totalmente convencional da sucessão, e consequentemente também da simultaneidade. Convém chamar sucessivas as indicações concordantes de relógios que terão sido regulados um sobre o outro nas condições em que ele percebe o sistema  $S'$  — quero dizer, regulados de tal modo que um observador exterior ao sistema não atribua o mesmo trajeto ao sinal óptico na ida e na volta. Por que não define ele a simultaneidade pela concordância de indicação entre relógios regulados de tal forma que o trajeto de ida e volta seja o mesmo para observadores interiores ao sistema? Responde-se que cada uma das duas definições é válida para cada um dos dois observadores, e que é precisamente por isso que os mesmos eventos do sistema  $S'$  podem ser ditos simultâneos ou sucessivos, conforme sejam considerados do ponto de vista de  $S'$  ou do ponto de vista de  $S$ . Mas é fácil ver que uma das duas definições é puramente convencional, enquanto a outra não o é.

Para nos convenceremos disso, voltemos a uma hipótese que já fizemos. Suporemos que  $S'$  é um duplicata do sistema  $S$ , que os dois sistemas são idênticos, que desenrolam dentro deles a mesma história. Estão em estado de deslocamento recíproco, perfeitamente intercambiáveis; mas um deles é adotado como sistema de referência e, a partir desse momento, considerado imóvel: será  $S$ . A hipótese de que  $S'$  é um duplicata de  $S$  não prejudica em nada a generalidade da nossa demonstração, uma vez que a suposta disjunção da simultaneidade em sucessão, e em sucessão mais ou menos lenta conforme o deslocamento do sistema é mais ou menos rápido, depende apenas da velocidade do sistema, e não do seu conteúdo. Isto posto, é claro que se os eventos  $A, B, C, D$  do sistema  $S$  são simultâneos para o observador em  $S$ , os eventos idênticos  $A', B', C', D'$  do sistema  $S'$  serão também simultâneos para o observador em  $S'$ . Agora, os dois grupos  $A, B, C, D$  e  $A', B', C', D'$ , cada um composto por eventos simultâneos entre si para um observador interior ao sistema, serão além disso simultâneos entre si, quero dizer, percebidos como simultâneos por uma consciência suprema capaz de simpatizar instantaneamente ou de comunicar telepaticamente com as duas consciências em  $S$  e em  $S'$ ? É evidente que nada se opõe a isso. Podemos imaginar, como há pouco, que o duplicata  $S'$  se tenha destacado num certo momento de  $S$  e deva depois voltar a encontrá-lo. Demonstramos que os observadores interiores aos dois sistemas terão vivido a

mesma duração total. Podemos portanto, em cada um dos sistemas, dividir essa duração num mesmo número de fatias tais que cada uma delas seja igual à fatia correspondente do outro sistema. Se o momento  $M$  em que ocorrem os eventos simultâneos  $A, B, C, D$  for o fim de uma das fatias (e pode-se sempre arranjar para que assim seja), o momento  $M'$  em que os eventos simultâneos  $A', B', C', D'$  ocorrem no sistema  $S'$  será o fim da fatia correspondente. Situado da mesma maneira que  $M$  no interior de um intervalo de duração cujos extremos coincidem com os do intervalo onde se encontra  $M$ , será necessariamente simultâneo a  $M$ . E assim os dois grupos de eventos simultâneos  $A, B, C, D$  e  $A', B', C', D'$  serão efetivamente simultâneos entre si. Pode-se portanto continuar a imaginar, como outrora, cortes instantâneos de um Tempo único e simultaneidades absolutas de eventos.

Todavia, do ponto de vista da física, o raciocínio que acabamos de fazer não contará. O problema físico coloca-se efetivamente assim:  $S$  estando em repouso e  $S'$  em movimento, como é que experiências sobre a velocidade da luz, feitas em  $S$ , darão o mesmo resultado em  $S'$ ? E subentende-se que o físico do sistema  $S$  existe apenas como físico: o do sistema  $S'$  é simplesmente imaginado. Imaginado por quem? Necessariamente pelo físico do sistema  $S$ . Desde que se adotou  $S$  como sistema de referência, é a partir daí, e apenas daí, que é doravante possível uma visão científica do mundo. Manter observadores conscientes em  $S$  e em  $S'$  ao mesmo tempo seria autorizar os dois sistemas a erigirem-se mutuamente em sistema de referência, a decretarem-se ambos imóveis: ora, supôs-se que estavam em estado de deslocamento recíproco; é preciso portanto que pelo menos um deles se mova. Naquele que se move, deixar-se-ão sem dúvida homens; mas eles terão abdicado momentaneamente da sua consciência ou pelo menos das suas faculdades de observação; conservarão, aos olhos do único físico, apenas o aspeto material da sua pessoa durante todo o tempo em que se trate de física. Desde então o nosso raciocínio desmorona-se, pois implicava a existência de homens igualmente reais, semelhantemente conscientes, gozando dos mesmos direitos no sistema  $S'$  e no sistema  $S$ . Não se pode mais falar senão de um só homem ou de um só grupo de homens reais, conscientes, físicos: os do sistema de referência. Os outros seriam antes marionetas vazias; ou então serão apenas físicos virtuais, simplesmente representados no espírito do físico em  $S$ . Como este os representará? Imaginá-los-á, como há pouco, a experimentar sobre a velocidade da luz, mas não mais com um único relógio, não mais com um espelho que reflete o raio luminoso sobre si mesmo e duplica o trajeto: há agora um trajeto simples, e dois relógios colocados respetivamente no ponto de partida e no ponto de chegada. Terá então de explicar como é que esses físicos imaginados encontrariam a mesma velocidade da luz que ele, físico real, se essa experiência puramente teórica se tornasse praticamente realizável. Ora, aos seus olhos, a luz move-se com uma velocidade menor para o sistema  $S'$  (as condições da experiência sendo as que indicámos acima); mas também, os relógios em  $S'$  tendo sido regulados de modo a marcar simultaneidades onde ele percebe sucessões, as coisas vão arranjar-se de tal forma que a experiência real em  $S$  e a experiência simplesmente imaginada em  $S'$  darão o mesmo número para a velocidade da luz. É por isso que o nosso observador em  $S$  se atém à definição da simultaneidade que a faz depender da regulação dos relógios. Isso não impede os dois sistemas,  $S'$  tanto quanto  $S$ , de terem simultaneidades vividas, reais, e que não se regulam por regulagens de relógios.

É, portanto, necessário distinguir duas espécies de simultaneidade, duas espécies de sucessão. A primeira é interior aos acontecimentos, faz parte da sua materialidade, emana deles. A outra é simplesmente sobreposta a eles por um observador exterior ao sistema. A primeira exprime algo do próprio sistema; é absoluta. A segunda é mutável, relativa, fictícia; depende da distância, variável na escala das velocidades, entre a imobilidade que o sistema tem para si mesmo e a mobilidade que apresenta em relação a outro: há uma incurvação aparente da simultaneidade em

sucessão. A primeira simultaneidade, a primeira sucessão, pertence a um conjunto de coisas, a segunda a uma imagem que o observador dela faz em espelhos tanto mais deformantes quanto maior for a velocidade atribuída ao sistema. A incurvação da simultaneidade em sucessão é, aliás, exatamente o necessário para que as leis físicas, em particular as do eletromagnetismo, sejam as mesmas para o observador interior ao sistema, situado de certa forma no absoluto, e para o observador exterior, cuja relação com o sistema pode variar indefinidamente.

Estou no sistema  $S'$  supostamente imóvel. Nele, noto intuitivamente simultaneidades entre dois acontecimentos  $O'$  e  $A'$  distantes um do outro no espaço, tendo-me colocado a igual distância de ambos. Ora, como o sistema está imóvel, um raio luminoso que vai e vem entre os pontos  $O'$  e  $A'$  faz o mesmo percurso na ida e na volta: se, portanto, eu operar o ajuste de dois relógios colocados respetivamente em  $O'$  e  $A'$  na hipótese de que os dois percursos de ida e volta  $P$  e  $Q$  são iguais, estou na verdade. Tenho assim dois meios de reconhecer aqui a simultaneidade: um intuitivo, abarcando num ato de visão instantânea o que se passa em  $O'$  e em  $A'$ , o outro derivado, consultando os relógios; e os dois resultados são concordantes. Suponho agora que, nada sendo alterado no que se passa no sistema,  $P$  deixe de aparecer como igual a  $Q$ . É o que acontece quando um observador exterior a  $S'$  vê este sistema em movimento. Todas as antigas simultaneidades<sup>(1)</sup> tornar-se-ão sucessões para este observador? Sim, por convenção, se se convier em traduzir todas as relações temporais entre todos os acontecimentos do sistema numa linguagem tal que seja necessário mudar a sua expressão consoante  $P$  apareça como igual ou desigual a  $Q$ . É o que se faz na teoria da Relatividade. Eu, físico relativista, depois de ter estado dentro do sistema e ter percebido  $P$  como igual a  $Q$ , saio dele: colocando-me numa multidão indefinida de sistemas supostos alternadamente imóveis e em relação aos quais  $S'$  se encontraria então animado de velocidades crescentes, vejo crescer a desigualdade entre  $P$  e  $Q$ . Digo então que os acontecimentos que há pouco eram simultâneos tornam-se sucessivos, e que o seu intervalo no tempo é cada vez mais considerável. Mas não há aí senão uma convenção, convenção aliás necessária se quero preservar a integridade das leis da física. *Porque acontece precisamente que estas leis, se nelas incluirmos as do eletromagnetismo, foram formuladas na hipótese de se definir a simultaneidade e a sucessão físicas por igualdades ou desigualdades aparentes dos percursos  $P$  e  $Q$ .* Ao dizer que a sucessão e a simultaneidade dependem do ponto de vista, traduz-se esta hipótese, recorda-se esta definição, não se faz mais nada. Trata-se de sucessão e simultaneidade *reais*? É da realidade, se se convier em chamar representativa do real toda a convenção uma vez adotada para a expressão matemática dos factos físicos. Seja; mas então não falemos mais de tempo; digamos que se trata de uma sucessão e de uma simultaneidade que nada têm a ver com a duração; porque, em virtude de uma convenção anterior e universalmente aceite, não há tempo sem um *antes* e um *depois* constatados ou constatáveis por uma consciência que compare um ao outro, mesmo que essa consciência não seja mais do que uma consciência infinitesimal coextensiva ao intervalo entre dois instantes infinitamente próximos. Se definirmos a realidade pela convenção matemática, temos uma realidade convencional. Mas realidade real é aquela que é percebida ou que poderia sê-lo. Ora, repito, fora desse percurso duplo  $PQ$  que muda de aspeto consoante o observador está dentro ou fora do sistema, todo o percebido e todo o perceptível de  $S'$  permanece o que é. Quer dizer que  $S'$  pode ser considerado em repouso ou em movimento, pouco importa: a simultaneidade real aí permanecerá simultaneidade; e a sucessão, sucessão.

---

<sup>(1)</sup> Excetuadas, bem entendido, as que dizem respeito a acontecimentos situados num mesmo plano perpendicular à direção do movimento.

Quando deixávamos  $S'$  imóvel e nos colocávamos conseqüentemente dentro do sistema, a simultaneidade "savante", aquela que se deduz da concordância entre relógios regulados opticamente uns com os outros, coincidia com a simultaneidade intuitiva ou natural; e foi unicamente porque ela vos servia para reconhecer essa simultaneidade natural, porque era o seu sinal,

porque era convertível em simultaneidade intuitiva, que a chamastes simultaneidade. Agora,  $S'$  sendo considerado em movimento, os dois tipos de simultaneidade já não coincidem; tudo o que era simultaneidade natural permanece simultaneidade natural; mas, quanto maior a velocidade do sistema, mais cresce a desigualdade entre os percursos  $P$  e  $Q$ , quando era pela sua igualdade que se definia a simultaneidade savante. O que deveríeis fazer se tivésseis piedade do pobre filósofo, condenado ao confronto com a realidade e conhecendo apenas ela? Daríeis à simultaneidade savante outro nome, pelo menos quando falásseis em filosofia. Criaríeis para ela uma palavra, qualquer uma, mas não a chamaríeis simultaneidade, pois este nome devia-o unicamente ao facto de, em  $S'$  supostamente imóvel, ela assinalar a presença de uma simultaneidade natural, intuitiva, real, e poder-se-ia agora pensar que ela ainda designa essa presença. Vós próprios, aliás, continuais a admitir a legitimidade deste sentido original da palavra, ao mesmo tempo que a sua primazia, pois quando  $S'$  vos parece em movimento, quando, falando da concordância entre relógios do sistema, pareceis não pensar senão na simultaneidade savante, fazeis intervir continuamente a outra, a verdadeira, pela simples constatação de uma <simultaneidade> entre uma indicação de relógio e um acontecimento <"próximo dela"> (próximo para vós, próximo para um homem como vós, mas imensamente distante para um micróbio que percebe e sabe). Contudo, conservais a palavra. Mais ainda, ao longo desta palavra comum aos dois casos e que opera magicamente (a ciência não age sobre nós como a antiga magia?), praticais de uma simultaneidade para a outra, da simultaneidade natural para a simultaneidade savante, uma transfusão de realidade. A passagem da fixidez para a mobilidade tendo duplicado o sentido da palavra, deslizais para dentro do segundo significado tudo o que havia de materialidade e solidez no primeiro. Diria que em vez de precaver o filósofo contra o erro, quereis atraí-lo para ele, se não soubesse a vantagem que tendes, físico, em empregar a palavra simultaneidade nos dois sentidos: lembrais assim que a simultaneidade savante começou por ser simultaneidade natural, e pode sempre voltar a sê-lo se o pensamento imobilizar novamente o sistema.

Do ponto de vista que chamávamos de relatividade unilateral, há um Tempo absoluto e uma hora absoluta, o Tempo e a hora do observador situado no sistema privilegiado  $S$ . Suponhamos mais uma vez que  $S'$ , tendo primeiro coincidido com  $S$ , se separou depois dele por via de duplicação. Pode-se dizer que os relógios de  $S'$ , que continuam a ser acordados entre si pelos mesmos processos, por sinais óticos, marcam a mesma hora quando deveriam marcar horas diferentes; notam simultaneidade em casos onde há efetivamente sucessão. Se, portanto, nos colocamos na hipótese de uma relatividade unilateral, teremos de admitir que as simultaneidades de  $S$  se deslocam no seu duplicado  $S'$  pelo simples efeito do movimento que faz sair  $S'$  de  $S$ . Ao observador em  $S'$  parecem conservar-se, mas tornaram-se sucessões. Pelo contrário, na teoria de Einstein, não há sistema privilegiado; a relatividade é bilateral; tudo é recíproco; o observador em  $S$  está tão certo quando vê em  $S'$  uma sucessão como o observador em  $S'$  quando lá vê uma simultaneidade. Mas também, trata-se de sucessões e simultaneidades unicamente definidas pelo aspeto que tomam os dois percursos  $P$  e  $Q$ : o observador em  $S$  não se engana, pois  $P$  é para ele igual a  $Q$ ; o observador em  $S'$  não se engana igualmente, pois o  $P$  e o  $Q$  do sistema  $S'$  são para ele desiguais. Ora, inconscientemente, depois de aceitar a hipótese da relatividade dupla, volta-se à da relatividade simples, primeiro porque se equivalem matematicamente, depois porque é muito difícil não imaginar segundo a segunda quando se pensa segundo a primeira. Então far-se-á como se, os dois percursos  $P$  e  $Q$  aparecendo desiguais quando o observador é exterior a  $S'$ , o observador em  $S'$  se enganasse ao qualificar essas linhas de iguais, como se os acontecimentos do sistema material  $S'$  se tivessem deslocado realmente na dissociação dos dois sistemas, quando é simplesmente o observador exterior a  $S'$  que os decreta deslocados regulando-se pela definição por ele estabelecida da simultaneidade. Esquecer-se-á que simultaneidade e sucessão se tornaram

então convencionais, que retêm unicamente da simultaneidade e da sucessão primitivas a propriedade de corresponder à igualdade ou à desigualdade dos dois percursos  $P$  e  $Q$ . Além disso, tratava-se então de igualdade e desigualdade constatadas por um observador interior ao sistema, e consequentemente definitivas, invariáveis.

Que a confusão entre os dois pontos de vista seja natural e mesmo inevitável, convencer-se-á sem dificuldade lendo certas páginas do próprio Einstein. Não que Einstein a tenha cometido; mas a distinção que acabamos de fazer é de tal natureza que a linguagem do físico é mal capaz de a exprimir. Aliás, não tem importância para o físico, pois as duas concepções traduzem-se da mesma maneira em termos matemáticos. Mas é capital para o filósofo, que se representará o tempo de modo totalmente diferente conforme se colocar numa hipótese ou noutra. As páginas que Einstein dedicou à relatividade da simultaneidade no seu livro sobre «*A Teoria da Relatividade Restrita e Generalizada*» são instrutivas a este respeito. Citamos o essencial da sua demonstração:

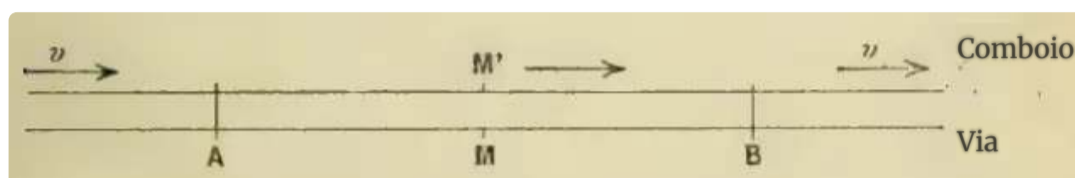


Figura 3

Suponham que um comboio extremamente longo se desloca ao longo da via com uma velocidade  $v$  indicada na figura 3. Os viajantes deste comboio preferirão considerar este comboio como sistema de referência; reportam todos os acontecimentos ao comboio. Todo o acontecimento que tem lugar num ponto da via tem lugar também num ponto determinado do comboio. A definição da simultaneidade é a mesma em relação ao comboio que em relação à via. Mas coloca-se então a seguinte questão: dois acontecimentos (por exemplo dois relâmpagos  $A$  e  $B$ ) simultâneos em relação à via são também simultâneos em relação ao comboio? Vamos mostrar de imediato que a resposta é negativa.

Ao dizer que os dois relâmpagos  $A$  e  $B$  são simultâneos em relação à via, queremos dizer o seguinte: os raios luminosos provenientes dos pontos  $A$  e  $B$  encontram-se no meio  $M$  da distância  $AB$  medida ao longo da via. Mas aos eventos  $A$  e  $B$  correspondem também pontos  $A$  e  $B$  no comboio. Suponhamos que  $M'$  seja o meio do vetor  $AB$  no comboio em movimento. Este ponto  $M'$  coincide com o ponto  $M$  no instante em que os relâmpagos ocorrem (instante contado em relação à via), mas desloca-se depois para a direita no desenho com a velocidade  $v$  do comboio.

Se um observador colocado no comboio em  $M'$  não fosse arrastado com essa velocidade, permaneceria constantemente em  $M$ , e os raios luminosos provenientes dos pontos  $A$  e  $B$  atingi-lo-iam simultaneamente, ou seja, esses raios cruzariam-se precisamente sobre ele. Mas na realidade ele desloca-se (em relação à via) e vai ao encontro da luz que lhe vem de  $B$ , enquanto foge da luz que lhe vem de  $A$ . O observador verá, portanto, a primeira mais cedo do que a segunda. Os observadores que tomam o caminho de ferro como sistema de referência chegam à conclusão de que o relâmpago  $B$  foi anterior ao relâmpago  $A$ .

Chegamos, portanto, ao seguinte facto capital. Eventos simultâneos em relação à via deixam de ser em relação ao comboio, e vice-versa (relatividade da simultaneidade). Cada sistema de referência tem o seu tempo próprio; uma indicação de tempo só tem sentido se se indicar o sistema de comparação utilizado para a medição do tempo<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Einstein, *A Teoria da Relatividade Restrita e Geral* (trad. Rouvière), páginas 21 e 22.

Esta passagem permite-nos captar in flagrante um equívoco que tem causado muitos mal-entendidos. Se quisermos dissipá-lo, começaremos por traçar uma figura mais completa (fig. 4). Notar-se-á que Einstein indicou com setas a direção do comboio. Nós indicaremos com outras setas a direção — inversa — da via. Porque não devemos esquecer que o comboio e a via estão em estado de deslocamento recíproco.

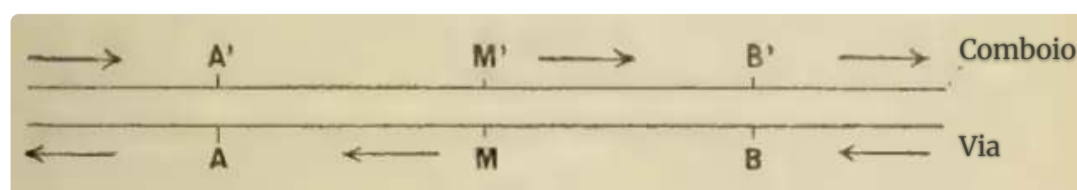


Figura 4

Certamente, Einstein também não o esquece quando se abstém de desenhar setas ao longo da via; indica com isso que escolhe a via como sistema de referência. Mas o filósofo, que quer saber a que se ater sobre a natureza do tempo, que se pergunta se a via e o comboio têm ou não o mesmo Tempo real — ou seja, o mesmo tempo vivido ou que pode ser vivido — o filósofo deverá lembrar-se constantemente de que não tem de escolher entre os dois sistemas: colocará um observador consciente num e noutro e procurará saber o que é para cada um deles o tempo vivido.

Desenhemos, portanto, setas adicionais. Agora acrescentemos duas letras,  $A'$  e  $B'$ , para marcar as extremidades do comboio: ao não lhes dar nomes próprios, deixando-lhes as designações  $A$  e  $B$  dos pontos da Terra com os quais coincidem, arriscaríamos mais uma vez a esquecer que a via e o comboio beneficiam de um regime de reciprocidade perfeita e gozam de igual independência. Finalmente, chamaremos mais genericamente  $M'$  a qualquer ponto da linha  $A'B'$  que esteja situado em relação a  $B'$  e a  $A'$  como  $M$  está em relação a  $A$  e a  $B$ . Eis a figura.

Lancemos agora os nossos dois relâmpagos. Os pontos de onde partem não pertencem mais ao solo do que ao comboio; as ondas propagam-se independentemente do movimento da fonte.

Imediatamente aparece então que os dois sistemas são intercambiáveis, e que acontecerá em  $M'$  exatamente o mesmo que no ponto correspondente  $M$ . Se  $M$  é o meio de  $AB$ , e se é em  $M$  que se percebe uma simultaneidade na via, é em  $M'$ , meio de  $B'A'$ , que se perceberá essa mesma simultaneidade no comboio.

Portanto, se nos atermos realmente ao percebido, ao vivido, se interrogarmos um observador real no comboio e um observador real na via, descobriremos que temos a ver com um só e mesmo Tempo: o que é simultaneidade em relação à via é simultaneidade em relação ao comboio.

Mas, ao marcarmos o duplo grupo de setas, renunciámos a adotar um sistema de referência; colocámo-nos pelo pensamento, *ao mesmo tempo*, na via e no comboio; recusámo-nos a tornar-nos físicos. Não procurávamos, de facto, uma representação matemática do universo: esta deve naturalmente ser tomada de um ponto de vista e conformar-se com as leis da perspectiva matemática. Perguntávamo-nos o que é real, ou seja, observado e constatado efetivamente.

Pelo contrário, para o físico, há o que ele próprio constata — isso, ele anota tal qual — e há depois o que ele constata da constatação eventual de outrem: isso, ele transpô-lo-á, trá-lo-á de volta ao seu ponto de vista, toda a representação física do universo devendo ser reportada a um sistema de referência. Mas a notação que ele fará então não corresponderá a nada de percebido ou perceptível; não será, portanto, mais real, será simbólica. O físico colocado no comboio dar-se-á, pois, uma visão matemática do universo em que tudo será convertido de realidade percebida em representação cientificamente utilizável, com exceção do que diz respeito ao comboio e aos objetos ligados ao comboio. O físico colocado na via dar-se-á uma visão matemática do universo em que tudo será transposto da mesma forma, com exceção do que interessa à via e aos objetos solidários com a via. As grandezas que figurarão nestas duas visões serão geralmente diferentes, mas em ambas certas relações entre grandezas, que chamamos as leis da natureza, serão as mesmas, e esta

identidade traduz precisamente o facto de que as duas representações são as de uma só e mesma coisa, de um universo independente da nossa representação.

O que verá então o físico situado em  $M$  na via? Constatará a simultaneidade dos dois relâmpagos. O nosso físico não poderia estar também no ponto  $M'$ . Tudo o que pode fazer é dizer que vê idealmente em  $M'$  a constatação de uma não-simultaneidade entre os dois relâmpagos. A representação que vai construir do mundo assenta inteiramente no facto de o sistema de referência adoptado estar ligado à Terra: portanto o comboio move-se; logo, não se pode colocar em  $M'$  uma constatação da simultaneidade dos dois relâmpagos. A bem dizer, nada é *constatado* em  $M'$ , pois para tal seria necessário um físico em  $M'$ , e o único físico do mundo está por hipótese em  $M$ . Não há mais em  $M'$  senão uma certa *notação* efectuada pelo observador em  $M$ , notação que é de facto a de uma não-simultaneidade. Ou, se preferirem, há em  $M'$  um físico simplesmente imaginado, existindo apenas no pensamento do físico em  $M$ . Este escreverá então como Einstein: «O que é simultaneidade em relação à via não o é em relação ao comboio.» E terá razão em fazê-lo, se acrescentar: «desde que a física se constrói do ponto de vista da via». Aliás, seria preciso acrescentar ainda: «O que é simultaneidade em relação ao comboio não o é em relação à via, desde que a física se constrói do ponto de vista do comboio.» E finalmente seria preciso dizer: «Uma filosofia que se coloca tanto no ponto de vista da via como no do comboio, que nota então como simultaneidade no comboio o que nota como simultaneidade na via, já não está meio na realidade percebida e meio numa construção científica; está inteiramente no real, e aliás limita-se a apropriar-se completamente da ideia de Einstein, que é a da reciprocidade do movimento. Mas esta ideia, enquanto completa, é filosófica e já não física. Para a traduzir em linguagem de físico, é preciso colocar-nos no que chamámos a hipótese da relatividade unilateral. E como esta linguagem se impõe, não se apercebe que se adoptou por um momento esta hipótese. Falar-se-á então de uma multiplicidade de Tempos que estariam todos no mesmo plano, todos reais por consequência se um deles o for. Mas a verdade é que este difere radicalmente dos outros. É real, porque é vivido realmente pelo físico. Os outros, simplesmente pensados, são tempos auxiliares, matemáticos, simbólicos.»

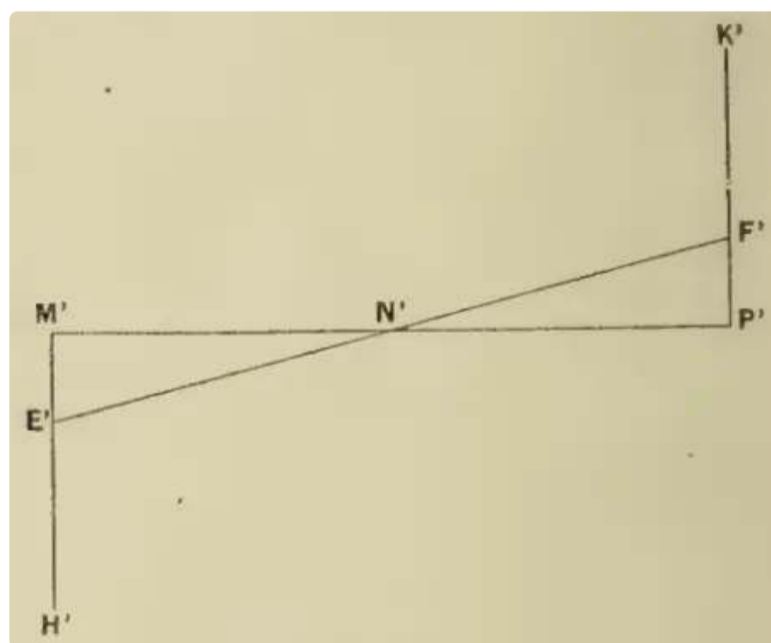


Figura 5

Mas a ambiguidade é tão difícil de dissipar que não se poderia atacá-la em demasiados pontos.

Consideremos então (fig. 5), no sistema  $S'$ , sobre uma linha recta que marca a direcção do seu movimento, três pontos  $M'$ ,  $N'$ ,  $P'$  tais que  $N'$  esteja à mesma distância  $l$  de  $M'$  e de  $P'$ .

Suponhamos uma personagem em  $N'$ . Em cada um dos três pontos  $M'$ ,  $N'$ ,  $P'$  desenrola-se uma série de acontecimentos que constitui a história do lugar. Num momento determinado, a personagem percebe em  $N'$  um acontecimento perfeitamente determinado. Mas os acontecimentos contemporâneos deste, que ocorrem em  $M'$  e  $P'$ , estão também determinados? Não, segundo a teoria da Relatividade. Consoante o sistema  $S'$  tenha uma velocidade ou outra, não será o mesmo acontecimento em  $M'$ , nem o mesmo acontecimento em  $P'$ , que será

contemporâneo do acontecimento em  $N'$ . Se portanto considerarmos o presente da personagem em  $N'$ , num dado momento, como constituído por todos os acontecimentos simultâneos que ocorrem nesse momento em todos os pontos do seu sistema, apenas um fragmento estará determinado: será o acontecimento que se realiza no ponto  $N'$  onde a personagem se encontra. O resto será indeterminado. Os acontecimentos em  $M'$  e  $P'$ , que fazem igualmente parte do presente da nossa personagem, serão isto ou aquilo consoante se atribua ao sistema  $S'$  uma velocidade ou outra, consoante se refira a tal ou qual sistema de referência. Chamemos  $v$  à sua velocidade. Sabemos que quando relógios, regulados como deve ser, marcam a mesma hora nos três pontos, e portanto quando há simultaneidade no interior do sistema  $S'$ , o observador colocado no sistema de referência  $S$  vê o relógio em  $M'$  adiantar-se e o relógio em  $P'$  atrasar-se em relação ao de  $N'$ , sendo o adiantamento e o atraso de  $\frac{lv}{c^2}$  segundos do sistema  $S'$ . Portanto, para o observador exterior ao sistema, é o passado em  $M'$ , é o futuro em  $P'$ , que entram na contextura do presente do observador em  $N'$ . O que, em  $M'$  e  $P'$ , faz parte do presente do observador em  $N'$ , aparece a este observador exterior tanto mais atrás na história passada do lugar  $M'$ , tanto mais à frente na história futura do lugar  $P'$ , quanto maior for a velocidade do sistema. Elevemos então sobre a linha  $M'P'$ , nas duas direcções opostas, as perpendiculares  $M'H'$  e  $P'K'$ , e suponhamos que todos os acontecimentos da história passada do lugar  $M'$  estão escalonados ao longo de  $M'H'$ , todos os da história futura do lugar  $P'$  ao longo de  $P'K'$ . Poderemos chamar *linha de simultaneidade* à linha recta, passando pelo ponto  $N'$ , que une um ao outro os acontecimentos  $E'$  e  $F'$  situados, para o observador exterior ao sistema, no passado do lugar  $M'$  e no futuro do lugar  $P'$  a uma distância  $\frac{lv}{c}$  no tempo (o número  $\frac{lv}{c}$  designando segundos do sistema  $S'$ ). Esta linha, vê-se, afasta-se tanto mais de  $M'N'P'$  quanto maior for a velocidade do sistema.

## CAPÍTULO 7.7.

### O esquema de Minkowski

Aqui mais uma vez a teoria da Relatividade assume à primeira vista um aspecto paradoxal, que impressiona a imaginação. A ideia vem imediatamente à mente de que a nossa personagem em  $N'$ , se o seu olhar pudesse transpor instantaneamente o espaço que a separa de  $P'$ , aí divisaria uma parte do futuro desse lugar, pois ela está lá, pois é um momento desse futuro que é simultâneo ao presente da personagem. Prediria assim a um habitante do lugar  $P'$  os acontecimentos de que este será testemunha. Sem dúvida, diz-se, esta visão instantânea à distância não é possível de facto; não há velocidade superior à da luz. Mas pode-se representar pelo pensamento uma instantaneidade de visão, e isso basta para que o intervalo  $\frac{lv}{c^2}$  do futuro do lugar  $P'$  preexista de direito no presente desse lugar, aí esteja pré-formado e por conseguinte predeterminado. — Veremos que há aqui um efeito de miragem. Infelizmente, os teóricos da Relatividade nada fizeram para o dissipar. Pelo contrário, comprazeram-se em reforçá-lo. Não é ainda o momento de analisar a concepção do Espaço-Tempo de Minkowski, adoptada por Einstein. Traduziu-se por um esquema muito engenhoso, onde se arriscaria, se não se tivesse cuidado, ler o que acabámos de indicar, onde aliás o próprio Minkowski e os seus sucessores o leram efectivamente. Sem nos atermos ainda a este esquema, (ele exigiria todo um conjunto de explicações de que podemos prescindir por agora), traduzamos o pensamento de Minkowski na figura mais simples que acabámos de traçar.

Se considerarmos a nossa linha de simultaneidade  $E'N'F'$ , vemos que, confundida inicialmente com  $M'N'P'$ , dela se afasta progressivamente à medida que a velocidade  $v$  do sistema  $S'$

aumenta em relação ao sistema de referência  $S$ . Mas não se afastará indefinidamente. Sabemos, de facto, que não há velocidade superior à da luz. Portanto, os comprimentos  $M'E'$  e  $P'F'$ , iguais a  $\frac{lv}{c^2}$ , não podem exceder  $\frac{l}{c}$ . Suponhamos que têm esse comprimento. Teremos, dizem-nos, além de  $E'$  na direção  $E'H'$ , uma região de *passado absoluto*, e além de  $F'$  na direção  $F'K'$  uma região de *futuro absoluto*; nada desse passado nem desse futuro pode fazer parte do presente do observador em  $N'$ . Mas, em contrapartida, nenhum dos momentos do intervalo  $M'E'$  nem do intervalo  $P'F'$  é absolutamente anterior nem absolutamente posterior ao que se passa em  $N'$ ; todos estes momentos sucessivos do passado e do futuro serão contemporâneos do evento em  $N'$ , se quisermos; bastará atribuir ao sistema  $S'$  a velocidade apropriada, ou seja, escolher em conformidade o sistema de referência. Tudo o que aconteceu em  $M'$  num intervalo decorrido  $\frac{l}{c}$ , tudo o que acontecerá em  $M'N'P'$  num intervalo a decorrer  $\frac{l}{c}$ , pode entrar no presente, parcialmente indeterminado, do observador em  $N'$ : é a velocidade do sistema que escolherá.

Que, aliás, o observador em  $N'$ , caso tivesse o dom da visão instantânea à distância, visse como presente em  $P'$  o que será o futuro de  $P'$  para o observador em  $P'$  e pudesse, por telepatia igualmente instantânea, fazer saber em  $P'$  o que aí vai acontecer, os teóricos da Relatividade admitiram-no implicitamente, pois tomaram o cuidado de nos tranquilizar quanto às consequências de tal estado de coisas<sup>(1)</sup>. De facto, mostram-nos, nunca o observador em  $N'$  utilizará esta imanência, no seu presente, daquilo que é passado em  $M'$  para o observador em  $M'$  ou daquilo que é futuro em  $P'$  para o observador em  $P'$ ; nunca fará com que os habitantes de  $M'$  e de  $P'$  beneficiem ou sofram com isso; pois nenhuma mensagem pode transmitir-se, nenhuma causalidade exercer-se, com uma velocidade superior à da luz; de modo que a personagem situada em  $N'$  não poderia ser avisada de um futuro de  $P'$  que, no entanto, faz parte do seu presente, nem influenciar esse futuro de forma alguma: esse futuro, por muito que esteja lá, incluído no presente da personagem em  $N'$ , permanece para ela praticamente inexistente.

---

<sup>(1)</sup> Ver, a este respeito: Langevin, *Le temps, l'espace et la causalité*. Bulletin de la Société française de philosophie, 1912 e Eddington. *Espace, temps et gravitation*, trad. Rossignol, p61-66.

Vejamos se não haverá aqui um efeito de miragem. Voltemos a uma suposição que já fizemos. Segundo a teoria da Relatividade, as relações temporais entre eventos que se desenrolam num sistema dependem unicamente da velocidade desse sistema, e não da natureza desses eventos. As relações permanecerão, portanto, as mesmas se fizermos de  $S'$  um duplicado de  $S$ , desenrolando a mesma história que  $S$  e tendo começado por coincidir com ele. Esta hipótese facilitará muito as coisas, e não prejudicará em nada a generalidade da demonstração.

Portanto, há no sistema  $S$  uma linha  $MNP$  da qual a linha  $M'N'P'$  saiu, por via de duplicação, no momento em que  $S'$  se destacou de  $S$ . Por hipótese, um observador colocado em  $M'$  e um observador colocado em  $M$ , estando em dois lugares correspondentes de dois sistemas idênticos, assistem cada um à mesma história do lugar, ao mesmo desfile de eventos que aí se realizam. O mesmo para os dois observadores em  $N$  e  $N'$ , e para os de  $P$  e  $P'$ , enquanto cada um deles considera apenas o lugar onde está. Eis o que é consensual. Agora, vamos ocupar-nos mais particularmente dos dois observadores em  $N$  e  $N'$ , já que é da simultaneidade com o que se realiza nestes meios da linha que se trata<sup>(1)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Para simplificar o raciocínio, suporemos em tudo o que se segue que o mesmo evento está a realizar-se nos pontos  $N$  e  $N'$  nos dois sistemas  $S$  e  $S'$ , dos quais um é o duplicado do outro. Por outras palavras, consideramos  $N$  e  $N'$  no instante preciso da dissociação dos dois sistemas, admitindo que o sistema  $S'$  pode adquirir a sua velocidade  $v$  instantaneamente, por um salto brusco, sem passar pelas velocidades intermédias. Sobre este evento constituindo o presente comum das duas personagens em  $N$  e  $N'$  fixamos então a nossa atenção. Quando

dissermos que fazemos crescer a velocidade  $v$ , entenderemos com isso que reparamos as coisas no lugar, que voltamos a fazer coincidir os dois sistemas, que, conseqüentemente, fazemos de novo assistir as personagens em  $N$  e  $N'$  a um mesmo evento, e que então dissociamos os dois sistemas imprimindo a  $S'$ , ainda instantaneamente, uma velocidade superior à anterior.

Para o observador em  $N$ , o que em  $M$  e em  $P$  é simultâneo ao seu presente está perfeitamente determinado, pois o sistema está imóvel por hipótese.

Quanto ao observador em  $N'$ , o que em  $M'$  e em  $P'$  era simultâneo ao seu presente, quando o seu sistema  $S'$  coincidia com  $S$ , estava igualmente determinado: eram os mesmos dois eventos que, em  $M$  e  $P$ , eram simultâneos ao presente de  $N$ .

Agora,  $S'$  desloca-se em relação a  $S$  e toma, por exemplo, velocidades crescentes. Mas para o observador em  $N'$ , interior a  $S'$ , este sistema está imóvel. Os dois sistemas  $S$  e  $S'$  estão em estado de reciprocidade perfeita; é por comodidade de estudo, é para construir uma física, que imobilizámos um ou outro como sistema de referência. Tudo o que um observador real, em carne e osso, observa em  $N$ , tudo o que observaria instantaneamente, telepaticamente, em qualquer ponto distante dele no interior do seu sistema, um observador real, em carne e osso, colocado em  $N'$ , apercebê-lo-ia identicamente no interior de  $S'$ . Portanto, a parte da história dos lugares  $M'$  e  $P'$  que entra realmente no presente do observador em  $N'$  para ele, aquela que ele veria em  $M'$  e  $P'$  se tivesse o dom da visão instantânea à distância, é determinada e invariável, qualquer que seja a velocidade de  $S'$  aos olhos do observador interior ao sistema  $S$ . É a própria parte que o observador em  $N$  veria em  $M$  e  $P$ .

Acrescentemos que os relógios de  $S'$  funcionam absolutamente para o observador em  $N'$  como os de  $S$  para o observador em  $N$ , uma vez que  $S$  e  $S'$  estão em estado de deslocamento recíproco e, portanto, são permutáveis. Quando os relógios situados em  $M$ ,  $N$ ,  $P$ , e regulados opticamente uns com os outros, marcam a mesma hora e há então, por definição, segundo o relativismo, simultaneidade entre os eventos que se realizam nesses pontos, o mesmo acontece com os relógios correspondentes de  $S'$  e há então, ainda por definição, simultaneidade entre os eventos que se realizam em  $M'$ ,  $N'$ ,  $P'$ , — eventos que são respectivamente idênticos aos primeiros.

No entanto, assim que fixei  $S$  como sistema de referência, eis o que acontece. No sistema  $S$ , agora imóvel, e cujos relógios foram sincronizados opticamente, como sempre se faz, na hipótese da imobilidade do sistema, a simultaneidade é algo *absoluto*; quero dizer que, os relógios tendo sido sincronizados por observadores necessariamente internos ao sistema, na hipótese de que os sinais ópticos entre dois pontos  $N$  e  $P$  percorriam o mesmo trajeto na ida e na volta, esta hipótese torna-se definitiva, consolidada pelo facto de  $S$  ser escolhido como sistema de referência e definitivamente imobilizado.

Mas, por isso mesmo,  $S'$  move-se; e o observador em  $S$  apercebe-se então de que os sinais ópticos entre os dois relógios em  $N'$  e  $P'$  (que o observador em  $S'$  supôs e ainda supõe percorrer o mesmo caminho na ida e na volta) fazem agora trajetos desiguais, — a desigualdade sendo tanto maior quanto maior for a velocidade de  $S'$ . Em virtude da sua definição, então (pois supomos que o observador em  $S$  é relativista), os relógios que marcam a mesma hora no sistema  $S'$  não sublinham, *aos seus olhos*, eventos contemporâneos. São, de facto, eventos que são contemporâneos para ele, no seu próprio sistema; assim como também são eventos contemporâneos, para o observador em  $N'$ , no seu próprio sistema. Mas, para o observador em  $N$ , eles aparecem como sucessivos no sistema  $S'$ ; ou melhor, *aparecem-lhe como devendo ser notados por ele como sucessivos*, devido à definição que ele deu de simultaneidade.

Assim, à medida que a velocidade de  $S'$  aumenta, o observador em  $N'$  afasta cada vez mais para o passado do ponto  $M'$  e projeta cada vez mais para o futuro do ponto  $P'$  — pelos números que lhes atribui — os eventos que se desenrolam nesses pontos, que são contemporâneos para ele no seu próprio sistema, e também para um observador situado no sistema  $S'$ . Deste último observador, de carne e osso, não se trata mais; ele foi sub-repticiamente esvaziado do seu conteúdo, em todo o caso da sua consciência; de observador passou a ser simplesmente observado, pois é o observador em  $N'$  que foi elevado a físico construtor de toda a ciência. Portanto, repito, à medida que  $v$  aumenta, o nosso físico *nota* como cada vez mais recuado no passado do lugar  $M'$ , e como cada vez mais avançado no futuro do lugar  $P'$ , o mesmo evento que, seja em  $M'$  seja em  $P'$ , faria parte do presente realmente consciente de um observador em  $N'$  e, conseqüentemente, faz parte do seu. Portanto, não há eventos diversos do lugar  $P'$ , por exemplo, que entrariam sucessivamente, para velocidades crescentes do sistema, no presente real do observador em  $N'$ . Mas o mesmo evento do lugar  $P'$ , que faz parte do presente do observador em  $N'$  na hipótese da imobilidade do sistema, é notado pelo observador em  $N'$  como pertencente a um futuro cada vez mais distante do observador em  $N'$ , à medida que aumenta a velocidade do sistema  $S'$  posto em movimento. Se o observador em  $N'$  não notasse assim, aliás, a sua concepção física do universo tornar-se-ia incoerente, pois as medidas inscritas por ele para os fenômenos que se desenrolam num sistema traduziriam leis que teriam de variar consoante a velocidade do sistema: assim, um sistema idêntico ao seu, em que cada ponto teria identicamente a mesma história que o ponto correspondente do seu, não seria regido pela mesma física que a sua (pelo menos no que diz respeito ao eletromagnetismo). Mas, ao notar desta maneira, ele não faz mais do que exprimir a necessidade em que se encontra, quando supõe em movimento sob o nome de  $S'$  o seu sistema  $N'$  imóvel, de *encurvar* a simultaneidade entre eventos. É sempre a mesma simultaneidade; apareceria como tal a um observador interior a  $S'$ . Mas, expressa perspectivamente do ponto  $N'$ , ela deve ser recurvada em forma de sucessão.

É, portanto, bem inútil tranquilizarmo-nos, dizendo-nos que o observador em  $N'$  pode bem ter no seu presente uma parte do futuro do lugar  $P'$ , mas que não pode dela ter conhecimento nem a transmitir, e que, conseqüentemente, esse futuro é para ele como se não existisse. Estamos tranquilos: não poderíamos preencher e reanimar o nosso observador em  $N'$  esvaziado do seu conteúdo, refazer dele um ser consciente e sobretudo um físico, sem que o evento do lugar  $P'$ , que acabámos de classificar no futuro, voltasse a ser o presente desse lugar. No fundo, é a si mesmo que o físico em  $N'$  precisa aqui de tranquilizar, e é a si mesmo que ele tranquiliza. É preciso que ele demonstre a si mesmo que, ao numerar como o faz o evento do ponto  $P'$ , ao localizá-lo no futuro desse ponto e no presente do observador em  $N'$ , não satisfaz apenas as exigências da ciência, mas também permanece de acordo com a experiência comum. E não tem dificuldade em demonstrá-lo a si mesmo, pois desde que representa todas as coisas segundo as regras de perspectiva que adotou, o que é coerente na realidade continua a sê-lo na representação. A mesma razão que o leva a dizer que não há velocidade superior à da luz, que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, etc., obriga-o a classificar no futuro do lugar  $P'$  um evento que faz parte do presente do observador em  $N'$ , que aliás faz parte do seu presente a ele, observador em  $N'$ , e que pertence ao presente do lugar  $P'$ . Estritamente falando, ele deveria exprimir-se assim: «Coloco o evento no futuro do lugar  $P'$ , mas desde que o mantenha dentro do intervalo de tempo futuro  $\frac{1}{c}$ , que não o recuo mais, nunca terei de me representar a personagem em  $N'$  como capaz de perceber o que se passará em  $P'$  e de o informar os habitantes do lugar.» Mas a sua maneira de ver as coisas fá-lo dizer: «O observador em  $N'$  pode bem possuir, no seu presente, algo do futuro do lugar  $P'$ , mas não pode dele ter conhecimento, nem influenciá-lo ou utilizá-lo de qualquer maneira.» Daí não resultará, certamente, nenhum erro físico ou matemático; mas grande seria a ilusão do filósofo que levasse o físico à letra.

Portanto, não há, em  $M'$  e em  $P'$ , ao lado de eventos que se consente deixar no «*passado absoluto*» ou no «*futuro absoluto*» para o observador em  $N'$ , todo um conjunto de eventos que, passados e futuros nesses dois pontos, entrariam no seu presente quando se atribuísse ao sistema  $S'$  a velocidade apropriada. Há, em cada um dos seus pontos, um único evento que faz parte do presente *real* do observador em  $N'$ , qualquer que seja a velocidade do sistema: é aquele mesmo que, em  $M$  e  $P$ , faz parte do presente do observador em  $N$ . Mas este evento será notado pelo físico como situado mais ou menos atrás no passado de  $M'$ , mais ou menos à frente no futuro de  $P'$ , consoante a velocidade atribuída ao sistema. É sempre, em  $M'$  e  $P'$ , o mesmo par de eventos que forma com um certo evento em  $N'$  o presente de Paulo situado neste último ponto. Mas esta simultaneidade de três eventos parece encurvada em passado-presente-futuro, quando é olhada, por Pedro representando Paulo, no espelho do movimento.

Todavia, a ilusão implícita na interpretação corrente é tão difícil de desmascarar que não será inútil atacá-la por outro lado ainda. Suponhamos novamente que o sistema  $S'$ , idêntico ao sistema  $S$ , acaba de se separar dele e que adquiriu instantaneamente a sua velocidade. Pierre e Paul estavam confundidos no ponto  $N$ : ei-los, no mesmo instante, distintos em  $N$  e  $N'$  que ainda coincidem. Imaginemos agora que Pierre, no interior do seu sistema  $S$ , tem o dom da visão instantânea a qualquer distância. Se o movimento impresso ao sistema  $S'$  tornasse realmente simultâneo ao que se passa em  $N'$  (e conseqüentemente ao que se passa em  $N$ , visto que a dissociação dos dois sistemas se efetua no mesmo instante) um evento situado no futuro do local  $P'$ , Pierre assistiria a um evento futuro do local  $P$ , evento que só entrará no presente do dito Pierre daqui a pouco: em suma, através do sistema  $S'$ , ele leria no futuro do seu próprio sistema  $S$ , não certamente para o ponto  $N$  onde se encontra, mas para um ponto distante  $P$ . E quanto maior fosse a velocidade bruscamente adquirida pelo sistema  $S'$ , mais longe o seu olhar mergulharia no futuro do ponto  $P$ . Se tivesse meios de comunicação instantânea, anunciaria ao habitante do local  $P$  o que vai acontecer nesse ponto, tendo-o visto em  $P'$ . Mas de modo nenhum. *O que ele percebe em  $P'$ , no futuro do local  $P'$ , é exatamente o que ele percebe em  $P$ , no presente do local  $P$ . Quanto maior é a velocidade do sistema  $S'$ , mais distante no futuro do local  $P'$  está o que ele percebe em  $P$ , mas é ainda e sempre o mesmo presente do ponto  $P$ . A visão à distância, e no futuro, não lhe ensina portanto nada. No "intervalo de tempo" entre o presente do local  $P$  e o futuro, idêntico a este presente, do local correspondente  $P'$  não há sequer lugar para coisa alguma: tudo se passa como se o intervalo fosse nulo. E é nulo de facto: é um nada dilatado. Mas toma o aspeto de um intervalo por um fenómeno de ótica mental, análogo ao que afasta o objeto de si mesmo, por assim dizer, quando uma pressão sobre o globo ocular no-lo faz ver duplo. Mais precisamente, a visão que Pierre se deu do sistema  $S'$  não é outra coisa senão a do sistema  $S$  colocado de través no Tempo. Esta "visão de través" faz com que a linha de simultaneidade que passa pelos pontos  $M$ ,  $N$ ,  $P$  do sistema  $S$  pareça cada vez mais oblíqua no sistema  $S'$ , duplicata de  $S$ , à medida que a velocidade de  $S'$  se torna mais considerável: o duplicata do que se realiza em  $M$  encontra-se assim recuado no passado, o duplicata do que se realiza em  $P$  encontra-se assim avançado no futuro; mas não há aí, no fundo, senão um efeito de torção mental. Agora, o que dizemos do sistema  $S'$ , duplicata de  $S$ , seria verdade para qualquer outro sistema com a mesma velocidade; porque, repita-se, as relações temporais dos eventos interiores a  $S'$  são afetadas, segundo a teoria da Relatividade, pela maior ou menor velocidade do sistema, mas unicamente pela sua velocidade. Suponhamos portanto que  $S'$  é um sistema qualquer, e não o duplo de  $S$ . Se quisermos encontrar o sentido exato da teoria da Relatividade, teremos de fazer com que  $S'$  esteja primeiro em repouso com  $S$  sem se confundir com ele, e depois se mova. Veremos que o que era simultaneidade em repouso permanece*

simultaneidade em movimento, mas que essa simultaneidade, percebida do sistema  $S$ , está simplesmente colocada de través: a linha de simultaneidade entre os três pontos  $M'$ ,  $N'$ ,  $P'$  parece ter rodado de um certo ângulo em torno de  $N'$ , de modo que uma das suas extremidades se atrasaria no passado enquanto a outra anteciparia o futuro.

Insistimos sobre o «*ralentamento do tempo*» e o «*deslocamento da simultaneidade*». Resta a «*contração longitudinal*». Mostraremos daqui a pouco como ela não é senão a manifestação espacial deste duplo efeito temporal. Mas desde já podemos dizer uma palavra sobre ela. Sejam, pois (fig. 6), no sistema móvel  $S'$ , dois pontos  $A'$  e  $B'$  que vêm, durante o trajeto do sistema, colocar-se em dois pontos  $A$  e  $B$  do sistema imóvel  $S$ , do qual  $S'$  é o duplicata.

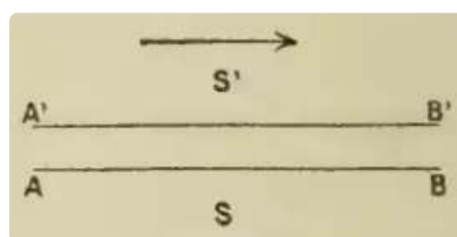


Figura 6

Quando estas duas coincidências ocorrem, os relógios colocados em  $A'$  e  $B'$ , e regulados naturalmente por observadores ligados a  $S'$ , marcam a mesma hora. O observador ligado a  $S$ , que diz a si mesmo que nesse caso o relógio em  $B'$  atrasa em relação ao relógio em  $A'$ , concluirá que  $B'$  só veio coincidir com  $B$  após o momento da coincidência de  $A'$  com  $A$ , e conseqüentemente que  $A'B'$  é mais curto que  $AB$ . Na realidade, ele só o «sabe» no seguinte sentido. Para se conformar às regras de perspectiva que enunciámos há pouco, teve de atribuir à coincidência de  $B'$  com  $B$  um atraso em relação à coincidência de  $A'$  com  $A$ , precisamente porque os relógios em  $A'$  e  $B'$  marcavam a mesma hora para as duas coincidências. Desde então, sob pena de contradição, é necessário que ele atribua a  $A'B'$  um comprimento menor que o de  $AB$ . Além disso, o observador em  $S'$  raciocinará simetricamente. O seu sistema está imóvel para ele; e conseqüentemente  $S$  desloca-se para ele na direção inversa daquela que  $S'$  seguia há pouco. O relógio em  $A$  parece-lhe, portanto, atrasar em relação ao relógio em  $B$ . E por conseqüência a coincidência de  $A$  com  $A'$  só deverá ter ocorrido, segundo ele, após a de  $B$  com  $B'$ , se os relógios  $A$  e  $B$  marcavam a mesma hora durante as duas coincidências. Donde resulta que  $AB$  deve ser menor que  $A'B'$ . Agora,  $AB$  e  $A'B'$  têm ou não têm, *realmente*, a mesma grandeza? Repitamos mais uma vez que chamamos aqui real ao que é percebido ou perceptível. Devemos, portanto, considerar o observador em  $S$  e o observador em  $S'$ , Pierre e Paul, e comparar as suas visões respectivas das duas grandezas. Ora, cada um deles, quando vê em vez de ser simplesmente visto, quando é referente e não referido, imobiliza o seu sistema. Cada um deles considera o comprimento em estado de repouso. Os dois sistemas, em estado real de deslocamento recíproco, sendo permutáveis uma vez que  $S'$  é um duplicado de  $S$ , a visão que o observador em  $S$  tem de  $AB$  é, portanto, por hipótese, idêntica à visão que o observador em  $S'$  tem de  $A'B'$ . Como afirmar mais rigorosamente, mais absolutamente, a igualdade dos dois comprimentos  $AB$  e  $A'B'$ ? A igualdade só adquire um sentido absoluto, superior a qualquer convenção de medida, no caso em que os dois termos comparados são idênticos; e declaram-se idênticos desde que se suponham permutáveis. Portanto, na tese da Relatividade restrita, a extensão não pode contrair-se realmente mais do que o Tempo se pode desacelerar ou a simultaneidade se pode deslocar efetivamente. Mas, quando um sistema de referência foi adotado e por isso mesmo imobilizado, tudo o que acontece nos outros sistemas deve ser expresso em perspectiva, segundo a distância mais ou menos considerável que existe, na escala das grandezas, entre a velocidade do sistema referido e a velocidade, nula por hipótese, do sistema referente. Não percamos de vista esta distinção. Se fizermos surgir Jean e Jacques, bem vivos, do

quadro onde um ocupa o primeiro plano e o outro o último, guardemo-nos de deixar a Jacques o tamanho de um anão. Dêmos-lhe, como a Jean, a dimensão normal.

## CAPÍTULO 7.8.

### Confusão que está na origem de todos os paradoxos

Para resumir tudo, basta retomarmos a nossa hipótese inicial do físico ligado à Terra, realizando e repetindo a experiência Michelson-Morley. Mas vamos agora supor que ele está preocupado sobretudo com o que chamamos real, ou seja, com o que ele percebe ou poderia perceber. Ele continua físico, não perde de vista a necessidade de obter uma representação matemática coerente do conjunto das coisas. Mas quer ajudar o filósofo na sua tarefa; e o seu olhar nunca se desprende da linha movediça de demarcação que separa o simbólico do real, o concebido do percebido. Falará, portanto, de «realidade» e de «aparência», de «medidas verdadeiras» e de «medidas falsas». Em suma, não adotará a linguagem da Relatividade. Mas aceitará a teoria. A tradução que nos vai dar da ideia nova em linguagem antiga far-nos-á compreender melhor o que podemos conservar, o que devemos modificar, no que tínhamos admitido anteriormente.

Assim, rodando o seu aparelho 90 graus, em nenhuma época do ano observa qualquer deslocamento das franjas de interferência. A velocidade da luz é, portanto, a mesma em todas as direcções, a mesma para qualquer velocidade da Terra. Como explicar o facto?

*O facto está todo explicado, dirá o nosso físico. Só há dificuldade, só se coloca um problema, porque se fala de uma Terra em movimento. Mas em movimento relativamente a quê? Onde está o ponto fixo de que se aproxima ou se afasta? Esse ponto só pode ter sido escolhido arbitrariamente. Sou livre então de decretar que a Terra será esse ponto, e de a reportar, de certo modo, a si mesma. Ei-la imóvel, e o problema desaparece.*

*No entanto, tenho um escrúpulo. Que confusão não seria a minha se o conceito de imobilidade absoluta ainda fizesse sentido, e se se revelasse algures um ponto de referência definitivamente fixo? Sem sequer ir tão longe, basta-me olhar para os astros; vejo corpos em movimento relativamente à Terra. O físico ligado a um desses sistemas extra-terrestres, fazendo o mesmo raciocínio que eu, considerar-se-á por sua vez imóvel e estará no seu direito: terá, portanto, para comigo as mesmas exigências que poderiam ter os habitantes de um sistema absolutamente imóvel. E dir-me-á, como eles teriam dito, que me engano, que não tenho o direito de explicar pela minha imobilidade a igual velocidade de propagação da luz em todas as direcções, porque estou em movimento.*

*Mas eis então o que me tranquiliza. Um espectador extra-terrestre nunca me fará uma repreensão, nunca me apanhará em falta, porque, considerando as minhas unidades de medida para o espaço e o tempo, observando o deslocamento dos meus instrumentos e o andamento dos meus relógios, fará as seguintes constatações:*

*1º atribuo sem dúvida a mesma velocidade que ele à luz, embora eu me mova na direcção do raio luminoso e ele esteja imóvel; mas é que as minhas unidades de tempo lhe aparecem então como mais longas que as dele; 2º julgo constatar que a luz se propaga com a mesma velocidade em todos os sentidos, mas é que meço as distâncias com uma régua cujo comprimento ele vê variar com a orientação; 3º encontraria sempre a mesma velocidade para a luz, mesmo que conseguisse medi-la entre dois pontos do percurso realizado na Terra, anotando em relógios colocados respectivamente nesses dois locais o tempo necessário para percorrer o intervalo? Mas é que os meus dois relógios foram regulados por sinais óticos na hipótese de que a Terra estava imóvel. Como está em movimento, um dos dois relógios atrasa-se tanto mais em relação ao outro quanto maior for a velocidade da Terra. Este atraso far-me-á sempre crer que o tempo que a luz leva a percorrer o intervalo é aquele*

*que corresponde a uma velocidade constantemente igual. Portanto, estou protegido. O meu crítico considerará as minhas conclusões corretas, embora, do seu ponto de vista que agora é o único legítimo, as minhas premissas se tenham tornado falsas. Quando muito, censurar-me-á por acreditar que constatei efetivamente a constância da velocidade da luz em todas as direções: segundo ele, só afirmo esta constância porque os meus erros relativos à medição do tempo e do espaço se compensam de modo a dar um resultado semelhante ao dele. Naturalmente, na representação que ele vai construir do universo, fará figurar os meus comprimentos de tempo e de espaço tais como ele acabou de os contar, e não tais como eu os tinha contado. Serei considerado como tendo feito mal as minhas medições, ao longo de todas as operações. Mas pouco me importa, já que o meu resultado é reconhecido como correto. Além disso, se o observador simplesmente imaginado por mim se tornasse real, ele deparar-se-ia com a mesma dificuldade, teria o mesmo escrúpulo e tranquilizar-se-ia da mesma maneira. Diria que, móvel ou imóvel, com medições verdadeiras ou falsas, obtém a mesma física que eu e chega a leis universais.*

Por outras palavras: dada uma experiência como a de Michelson e Morley, as coisas passam-se como se o teórico da Relatividade pressionasse um dos dois globos oculares do experimentador e provocasse assim uma diplopia de um género particular: a imagem inicialmente percebida, a experiência inicialmente instituída, duplica-se numa imagem fantasmagórica onde a duração se desacelera, onde a simultaneidade se curva em sucessão, e onde, por isso mesmo, os comprimentos se modificam. Esta diplopia artificialmente induzida no experimentador serve para o tranquilizar, ou melhor, para o garantir contra o risco que ele julga correr (e que correria efetivamente em certos casos) ao tomar-se arbitrariamente como centro do mundo, ao reportar todas as coisas ao seu sistema pessoal de referência, e ao construir, no entanto, uma física que ele gostaria que fosse universalmente válida: doravante pode dormir tranquilo; sabe que as leis que formula se verificarão, qualquer que seja o observatório de onde se olhe a natureza. Pois a imagem fantasmagórica da sua experiência, imagem que lhe mostra como esta experiência apareceria, se o dispositivo experimental estivesse em movimento, a um observador imóvel munido de um novo sistema de referência, é sem dúvida uma deformação temporal e espacial da imagem primeira, mas uma deformação que deixa intactas as relações entre as partes da estrutura, conserva tais quais as articulações e faz com que a experiência continue a verificar a mesma lei, sendo essas articulações e relações precisamente o que chamamos as leis da natureza.

Mas o nosso observador terrestre nunca deverá perder de vista que, em todo este assunto, só ele é real, e o outro observador é fantasmagórico. Evocará aliás tantos destes fantasmas quantos quiser, tantos quantas as velocidades, uma infinidade. Todos lhe aparecerão como construindo a sua representação do universo, modificando as medições que ele fez na Terra, obtendo assim uma física idêntica à sua. Doravante, trabalhará na sua física permanecendo pura e simplesmente no observatório que escolheu, a Terra, e sem se preocupar mais com eles.

Não era menos necessário que estes físicos fantasmagóricos fossem evocados; e a teoria da Relatividade, ao fornecer ao físico real o meio de se pôr de acordo com eles, terá feito dar à ciência um grande passo em frente.

Acabámos de nos colocar na Terra. Mas poderíamos igualmente ter lançado a nossa preferência sobre qualquer outro ponto do universo. Em cada um deles há um físico real arrastando atrás de si uma nuvem de físicos fantasmagóricos, tantos quantas as velocidades que imaginar. Queremos então deslindar o que é real? Queremos saber se há um Tempo único ou Tempos múltiplos? Não temos de nos ocupar dos físicos fantasmagóricos, devemos apenas ter em conta os físicos reais. Perguntaremos se eles percebem ou não o mesmo Tempo. Ora, é geralmente difícil para o filósofo afirmar com certeza que duas pessoas vivem o mesmo ritmo de duração. Nem sequer pode dar a esta afirmação um sentido rigoroso e preciso. E, no entanto, pode fazê-lo na hipótese da

Relatividade: a afirmação adquire aqui um sentido muito nítido e torna-se certa, quando se comparam entre si dois sistemas em estado de deslocamento recíproco e uniforme; os observadores são intercambiáveis. Isto, aliás, só é completamente nítido e completamente certo na hipótese da Relatividade. Em qualquer outro lugar, dois sistemas, por mais semelhantes que sejam, diferirão normalmente por algum aspeto, já que não ocuparão o mesmo lugar em relação ao sistema privilegiado. Mas a supressão do sistema privilegiado é a própria essência da teoria da Relatividade. Portanto, esta teoria, longe de excluir a hipótese de um Tempo único, chama-a e dá-lhe uma inteligibilidade superior.

## CAPÍTULO 8.

# As figuras de luz

Esta maneira de encarar as coisas permitir-nos-á penetrar mais profundamente na teoria da Relatividade. Acabámos de mostrar como o teórico da Relatividade evoca, ao lado da visão que tem do seu próprio sistema, todas as representações atribuíveis a todos os físicos que percebessem esse sistema em movimento com todas as velocidades possíveis. Estas representações são diferentes, mas as diversas partes de cada uma delas estão articuladas de modo a manter, no interior desta, as mesmas relações entre si e a manifestar assim as mesmas leis. Apertemos agora mais de perto estas diversas representações. Mostremos, de forma mais concreta, a deformação crescente da imagem superficial e a conservação invariável das relações internas à medida que a velocidade é supostamente aumentada. Tomaremos assim ao vivo a génese da pluralidade dos Tempos na teoria da Relatividade. Veremos o seu significado desenhar-se materialmente aos nossos olhos. E, ao mesmo tempo, deslindaremos certos postulados que esta teoria implica.

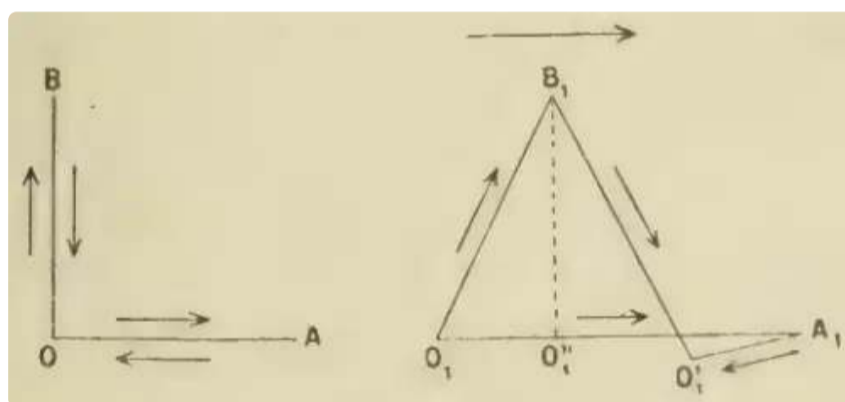


Figura 7

## CAPÍTULO 8.1.

### «Linhas de luz» e «linhas rígidas»

Eis então, num sistema  $S$  imóvel, a experiência Michelson-Morley (Figura 7). Chamemos «*linha rígida*» ou simplesmente «*linha*» a uma linha geométrica como  $OA$  ou  $OB$ . Chamemos «*linha de luz*» o raio luminoso que percorre ao longo dela. Para o observador interior ao sistema, os dois raios lançados respectivamente de  $O$  para  $B$  e de  $O$  para  $A$ , nas duas direções retangulares, regressam exatamente sobre si mesmos. A experiência oferece-lhe, portanto, a imagem de uma dupla linha de luz estendida entre  $O$  e  $B$ , e de uma dupla linha de luz também estendida entre  $O$  e  $A$ , sendo estas duas duplas linhas de luz perpendiculares uma à outra e iguais entre si.

Olhando agora o sistema em repouso, imaginemos que ele se mova com uma velocidade  $v$ . Qual será a nossa dupla representação?

## CAPÍTULO 8.2.

## A «figura de luz» e a figura de espaço: como coincidem e como se dissociam

Enquanto está em repouso, podemos considerá-lo, indiferentemente, como constituído por duas linhas simples rígidas, retangulares, ou por duas duplas linhas de luz, ainda retangulares: a figura de luz e a figura rígida coincidem. Logo que o supomos em movimento, as duas figuras dissociam-se. A figura rígida mantém-se composta por duas retas retangulares. Mas a figura de luz deforma-se. A dupla linha de luz estendida ao longo da reta  $OB$  torna-se uma linha de luz quebrada  $O_1 B_1 O_1'$ . A dupla linha de luz estendida ao longo de  $OA$  torna-se a linha de luz  $O_1 A_1 O_1'$  (a porção  $O_1 A_1$  desta linha aplica-se na realidade sobre  $O_1 A_1$ , mas, para maior clareza, destacamo-la na figura). Quanto à forma. Consideremos a grandeza.

Aquele que tivesse raciocinado *a priori*, antes que a experiência Michelson-Morley tivesse sido efetivamente realizada, teria dito: «Devo supor que a figura rígida mantém o que é, não só porque as duas linhas permanecem retangulares, mas também porque são sempre iguais. Isto resulta do próprio conceito de rigidez. Quanto às duas duplas linhas de luz, primitivamente iguais, vejo-as, em imaginação, tornarem-se desiguais quando se dissociam pelo efeito do movimento que o meu pensamento imprime ao sistema. Isto resulta da própria igualdade das duas linhas rígidas.» Em suma, neste raciocínio *a priori* segundo as ideias antigas, ter-se-ia dito: «é a figura rígida do espaço que impõe as suas condições à figura de luz.»

A teoria da Relatividade, tal como resultou da experiência Michelson-Morley efetivamente realizada, consiste em inverter esta proposição, e dizer: «é a figura de luz que impõe as suas condições à figura rígida.» Por outras palavras, a figura rígida não é a própria realidade: não passa de uma construção do espírito; e desta construção é a figura de luz, única dada, que deve fornecer as regras.

A experiência Michelson-Morley ensina-nos, com efeito, que as duas linhas  $O_1 B_1 O_1'$ ,  $O_1 A_1 O_1'$ , mantêm-se iguais, qualquer que seja a velocidade atribuída ao sistema. É, portanto, a igualdade das duas duplas linhas de luz que será sempre considerada como se conservando, e não a das duas linhas rígidas: a estas cabe arranjar-se em consequência. Vejamos como se arranjarão. Para isso, examinemos de perto a deformação da nossa figura de luz. Mas não esqueçamos que tudo se passa na nossa imaginação, ou melhor, no nosso entendimento. Na verdade, a experiência Michelson-Morley é realizada por um físico interior ao seu sistema, e conseqüentemente num sistema imóvel. O sistema só está em movimento se o físico dele sair pelo pensamento. Se o seu pensamento nele permanecer, o seu raciocínio não se aplicará ao seu próprio sistema, mas à experiência Michelson-Morley instituída noutro sistema, ou melhor, à imagem que ele faz, que deve fazer, dessa experiência instituída noutro lugar: pois, onde a experiência é efetivamente realizada, ela ainda o é por um físico interior ao sistema, e conseqüentemente num sistema ainda imóvel. De modo que, em tudo isto, trata-se apenas de uma certa notação a adotar para a experiência que não se faz, a fim de a coordenar com a experiência que se faz. Exprime-se assim simplesmente que não se faz. Sem nunca perder de vista este ponto, sigamos a variação da nossa figura de luz. Vamos examinar separadamente os três efeitos de deformação produzidos pelo movimento: 1º o efeito transversal, que corresponde, como veremos, ao que a teoria da Relatividade chama um alongamento do tempo; 2º o efeito longitudinal, que para ela é uma deslocação da simultaneidade; 3º o duplo efeito transversal-longitudinal, que seria a «contração de Lorentz».

### CAPÍTULO 8.3.

## Triplo efeito da dissociação

1º Efeito transversal ou «*dilatação do tempo*». Atribuíamos à velocidade  $v$  grandezas crescentes a partir de zero. Habitue-mo-nos o nosso pensamento a fazer emergir, da figura primitiva de luz  $OAB$ , uma série de figuras onde se acentua cada vez mais o afastamento entre linhas de luz que inicialmente coincidiam. Exercitemo-nos também a reintegrar na figura original todas aquelas que dela assim se afastaram. Por outras palavras, procedamos como com uma luneta de aproximação da qual puxamos as tubulações para fora, para depois as encaixar novamente umas nas outras. Ou melhor, pensemos naquele brinquedo infantil formado por hastes articuladas ao longo das quais estão dispostos soldados de madeira. Quando os afastamos puxando pelas duas hastes extremas, elas cruzam-se como  $X$  e os soldados dispersam-se; quando os empurrarmos uma contra a outra, justapõem-se e os soldados voltam a ficar em filas cerradas. Repitamos bem que as nossas figuras de luz são em número indefinido e contudo formam apenas uma: a sua multiplicidade exprime simplesmente as visões eventuais que delas teriam observadores em relação aos quais estariam animadas de velocidades diferentes — ou seja, em última análise, as visões que delas teriam observadores em movimento relativamente a elas; e todas estas visões virtuais telescopam-se, por assim dizer, na visão real da figura primitiva  $OAB$ . Qual é a conclusão que se impõe para a linha de luz transversal  $O_1 B_1 O_1'$ , ela que saiu de  $OB$  e que para lá poderia voltar, que para lá volta mesmo efetivamente e já não forma mais do que uma só coisa com  $OB$  no preciso instante em que a representamos? Esta linha é igual a  $\frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , enquanto que a dupla linha primitiva de luz era  $2l$ . O seu alongamento representa portanto exatamente o alongamento do tempo, tal como no-lo dá a teoria da Relatividade. Vemos por aí que esta teoria procede como se tomássemos por padrão do tempo o duplo percurso de ida e volta de um raio de luz entre dois pontos determinados. Mas apercebemo-nos então imediatamente, intuitivamente, da relação dos Tempos múltiplos com o Tempo único e real. Não só os Tempos múltiplos evocados pela teoria da Relatividade não quebram a unidade de um Tempo real, como ainda o implicam e mantêm. O observador real, interior ao sistema, tem consciência, de facto, tanto da distinção como da identidade destes diversos Tempos. Vive um tempo psicológico, e com este Tempo confundem-se todos os Tempos matemáticos mais ou menos dilatados; porque à medida que afasta as hastes articuladas do seu brinquedo — quero dizer, à medida que acelera pelo pensamento o movimento do seu sistema — as linhas de luz alongam-se, mas todas preenchem a mesma duração vivida. Sem esta única duração vivida, sem este Tempo real comum a todos os Tempos matemáticos, que sentido teria dizer que são contemporâneos, que cabem no mesmo intervalo? que sentido se poderia encontrar numa tal afirmação?

Suponhamos (voltaremos em breve a este ponto) que o observador em  $S$  tem o hábito de medir o seu tempo por uma linha de luz, quero dizer de colar o seu tempo psicológico à sua linha de luz  $OB$ . Necessariamente, tempo psicológico e linha de luz (tomada no sistema imóvel) serão para ele sinónimos. Quando, imaginando o seu sistema em movimento, se representar a sua linha de luz mais comprida, dirá que o tempo se alongou; mas verá também que já não se trata de tempo psicológico; é um tempo que já não é, como há pouco, simultaneamente psicológico e matemático; tornou-se exclusivamente matemático, não podendo ser o tempo psicológico de ninguém: logo que uma consciência quisesse viver num destes Tempos alongados  $O_1 B_1, O_2 B_2$ , etc., imediatamente estes contrair-se-iam em  $OB$ , visto que a linha de luz já não seria então apreendida em imaginação, mas na realidade, e que o sistema, até aí posto em movimento apenas pelo pensamento, reivindicaria a sua imobilidade de facto.

Portanto, em resumo, a tese da Relatividade significa aqui que um observador interior ao sistema  $S$ , imaginando este sistema em movimento com todas as velocidades possíveis, veria o tempo matemático do seu sistema alongar-se com o aumento de velocidade se o tempo desse sistema se confundisse com as linhas de luz  $OB, O_1 B_1, O_2 B_2$ , etc. Todos estes Tempos matemáticos diferentes seriam contemporâneos, no sentido em que todos caberiam na mesma duração

psicológica, a do observador em  $S$ . Aliás, não seriam mais do que Tempos fictícios, uma vez que não poderiam ser vividos como diferentes do primeiro por quem quer que fosse, nem pelo observador em  $S$  que os percebe todos na mesma duração, nem por qualquer outro observador real ou possível. Não conservariam o nome de tempo senão porque o primeiro da série, nomeadamente  $OB$ , media a duração psicológica do observador em  $S$ . Então, por extensão, chama-se ainda tempo às linhas de luz, desta vez alongadas, do sistema suposto em movimento, obrigando-se a si mesmo a esquecer que todas cabem na mesma duração. Conservem-lhes o nome de tempo, aceito: serão, por definição, Tempos convencionais, visto não medirem nenhuma duração real ou possível.

Mas como explicar, de um modo geral, esta aproximação entre o tempo e a linha de luz? Porque é que a primeira das linhas de luz,  $OB$ , é colada pelo observador em  $S$  à sua duração psicológica, comunicando então às linhas sucessivas  $O_1 B_1, O_2 B_2 \dots$  etc. o nome e a aparência do tempo, por uma espécie de contaminação? Já respondemos implicitamente à pergunta; não será inútil, contudo, submetê-la a novo exame. Mas vejamos primeiro, — continuando a fazer do tempo uma linha de luz, — o segundo efeito da deformação da figura.

2º Efeito longitudinal ou «*dislocação da simultaneidade*». À medida que aumenta o desvio entre as linhas de luz que coincidem na figura original, a desigualdade acentua-se entre duas linhas de luz longitudinais como  $O_1 A_1$  e  $A_1 O_1'$ , primitivamente confundidas na linha de luz de dupla espessura  $OA$ . Uma vez que a linha de luz é sempre para nós tempo, diremos que o momento  $A_1$  já não é o meio do intervalo de tempo  $O_1 A_1 O_1'$ , enquanto que o momento  $A$  era o meio do intervalo  $OAO$ . Ora, quer o observador interior ao sistema  $S$  suponha o seu sistema em repouso ou em movimento, a sua suposição, simples ato do seu pensamento, não influi em nada nos relógios do sistema. Mas influi, como se vê, no seu acordo. Os relógios não mudam; é o Tempo que muda. Ele deforma-se e desloca-se entre eles. Eram tempos iguais que, por assim dizer, iam de  $O$  para  $A$  e voltavam de  $A$  para  $O$  na figura primitiva. Agora a ida é mais longa que a volta. Vê-se aliás facilmente que o atraso do segundo relógio em relação ao primeiro será de  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv}{c^2}$  ou de  $\frac{lv}{c^2}$ , conforme se contar em segundos do sistema imóvel ou do sistema em movimento. Como os relógios permanecem o que eram, funcionam como funcionavam, conservam por conseguinte a mesma relação entre si e mantêm-se regulados uns pelos outros como estavam primitivamente, eles encontram-se, no espírito do nosso observador, a atrasar-se cada vez mais uns em relação aos outros à medida que a sua imaginação acelera o movimento do sistema. Percebe-se imóvel? Há realmente simultaneidade entre os dois instantes quando os relógios em  $O$  e em  $A$  marcam a mesma hora. Imagina-se em movimento? Esses dois instantes, sublinhados pelos dois relógios que marcam a mesma hora, deixam por definição de ser simultâneos, uma vez que as duas linhas de luz se tornam desiguais, sendo iguais no início. Quero dizer que era inicialmente igualdade, que é agora desigualdade, que veio infiltrar-se entre os dois relógios, eles próprios não se tendo movido. Mas esta igualdade e esta desigualdade têm o mesmo grau de realidade, se pretendem aplicar-se ao tempo? A primeira era ao mesmo tempo uma igualdade de linhas de luz e uma igualdade de durações psicológicas, isto é, de tempo no sentido em que toda a gente o entende. A segunda já não é mais do que uma desigualdade de linhas de luz, isto é, de Tempos convencionais; produz-se aliás entre as mesmas durações psicológicas que a primeira. E é precisamente porque a duração psicológica subsiste, inalterada, ao longo de todas as imaginações sucessivas do observador, que ele pode considerar como equivalentes todos os Tempos convencionais por ele imaginados. Ele está perante a figura  $BOA$ : percebe uma certa duração psicológica que mede pelas duplas linhas de luz  $OB$  e  $OA$ . Eis que, sem deixar de olhar, percebendo portanto sempre essa mesma duração, vê, em imaginação, as linhas duplas de luz dissociarem-se ao alongarem-se, a dupla linha de luz longitudinal dividir-se em duas linhas de comprimento desigual, a desigualdade crescer com a velocidade. Todas estas desigualdades saem da igualdade primitiva como os tubos de uma luneta; todas voltam a entrar instantaneamente, se ele quiser, por telescopagem. Equivalem-lhe, precisamente porque a

verdadeira realidade é a igualdade primitiva, isto é, a simultaneidade dos momentos indicados pelos dois relógios, e não a sucessão, puramente fictícia e convencional, que seria gerada pelo movimento simplesmente pensado do sistema e a dislocação das linhas de luz que daí resultaria. Todas estas dislocações, todas estas sucessões são portanto virtuais; só a simultaneidade é real. E é porque todas estas virtualidades, todas estas variedades de dislocação se mantêm no interior da simultaneidade realmente percebida que lhe são matematicamente substituíveis. Não obstante, de um lado há o imaginado, o puramente possível, enquanto do outro lado é o percebido e o real.

Mas o facto de, conscientemente ou não, a teoria da Relatividade substituir o tempo por linhas de luz põe em plena evidência um dos princípios da doutrina. Numa série de estudos sobre a teoria da Relatividade<sup>(1)</sup>, M. Ed. Guillaume sustentou que ela consistia essencialmente em tomar para relógio a propagação da luz, e não a rotação da Terra. Acreditamos que há muito mais do que isso na teoria da Relatividade. Mas estimamos que há pelo menos isso. E acrescentaremos que, ao destacar este elemento, não se faz mais do que sublinhar a importância da teoria. Estabelece-se assim que, neste ponto ainda, ela é o desfecho natural e talvez necessário de toda uma evolução. Recordemos em poucas palavras as reflexões penetrantes e profundas que M. Edouard Le Roy apresentava outrora sobre o aperfeiçoamento gradual das nossas medidas, e em particular sobre a medida do tempo<sup>(2)</sup>. Mostrava como este ou aquele método de medição permite estabelecer leis, e como estas leis, uma vez postas, podem reagir sobre o método de medição e forçá-lo a modificar-se. No que diz respeito mais particularmente ao tempo, foi do relógio sideral que se usou para o desenvolvimento da física e da astronomia: nomeadamente, descobriu-se a lei da atração newtoniana e o princípio da conservação da energia. Mas estes resultados são incompatíveis com a constância do dia sideral, porque segundo eles as marés devem agir como um travão sobre a rotação da Terra. De modo que a utilização do relógio sideral conduz a consequências que impõem a adoção de um novo relógio<sup>(3)</sup>. Não há dúvida de que o progresso da física tende a apresentar-nos o relógio ótico — quero dizer a propagação da luz — como o relógio limite, aquele que está no termo de todas estas aproximações sucessivas. A teoria da Relatividade regista este resultado. E como é da essência da física identificar a coisa com a sua medida, a «linha de luz» será ao mesmo tempo a medida do tempo e o tempo em si. Mas então, uma vez que a linha de luz se alonga, mantendo-se ela mesma, quando se imagina em movimento e se deixa no entanto em repouso o sistema onde se observa, teremos Tempos múltiplos, equivalentes; e a hipótese da pluralidade dos Tempos, característica da teoria da Relatividade, aparecer-nos-á como condicionando também a evolução da física em geral. Os Tempos assim definidos serão bem Tempos físicos<sup>(4)</sup>. Serão, aliás, apenas Tempos concebidos, à exceção de um só, que será realmente percebido. Este, sempre o mesmo, é o Tempo do senso comum.

---

<sup>(1)</sup> *Revue de métaphysique* (maio-junho de 1918 e outubro-dezembro de 1920). Cf. *La Théorie de la relativité*, Lausanne, 1921.

<sup>(2)</sup> *Boletim da Sociedade Francesa de Filosofia*, fevereiro de 1905.

<sup>(3)</sup> Cf. *ibid.*, *O espaço e o tempo*, p. 25.

<sup>(4)</sup> Ao longo deste ensaio, chamámo-lhes matemáticos para evitar qualquer confusão. Comparamo-los, de facto, constantemente com o Tempo psicológico. Mas, para tal, era necessário distingui-los e manter sempre presente no espírito essa distinção. Ora, a diferença é clara entre o psicológico e o matemático: é muito menos clara entre o psicológico e o físico. A expressão «Tempo físico» teria por vezes um duplo sentido; com a de «Tempo matemático», não pode haver ambiguidade.

## CAPÍTULO 8.4.

### Verdadeira natureza do Tempo de Einstein

Resumamos em duas palavras. Ao Tempo do senso comum, que pode sempre ser convertido em duração psicológica e que assim se torna real por definição, a teoria da Relatividade substitui um Tempo que só pode ser convertido em duração psicológica no caso de imobilidade do sistema. Em todos os outros casos, esse Tempo, que era ao mesmo tempo linha de luz e duração, não passa de

linha de luz — linha elástica que se estica à medida que aumenta a velocidade atribuída ao sistema. Não pode corresponder a uma nova duração psicológica, pois continua a ocupar essa mesma duração. Mas pouco importa: a teoria da Relatividade é uma teoria física; opta por negligenciar toda a duração psicológica, tanto no primeiro caso como em todos os outros, e por reter do tempo apenas a linha de luz. Como esta se alonga ou se contrai consoante a velocidade do sistema, obtêm-se assim, contemporâneos uns dos outros, Tempos múltiplos. E isso parece-nos paradoxal, porque a duração real continua a assombrar-nos. Mas torna-se, pelo contrário, muito simples e natural, se tomarmos como substituto do tempo uma linha de luz extensível, e se chamarmos simultaneidade e sucessão aos casos de igualdade e desigualdade entre linhas de luz cuja relação entre si muda evidentemente consoante o estado de repouso ou movimento do sistema.

Mas estas considerações sobre as linhas de luz seriam incompletas se nos limitássemos a estudar separadamente os dois efeitos transversal e longitudinal. Devemos agora assistir à sua composição. Veremos como a relação que deve subsistir sempre entre as linhas de luz longitudinais e transversais, qualquer que seja a velocidade do sistema, acarreta certas consequências no que diz respeito à rigidez e, por conseguinte, também à extensão. Assim, captaremos in vivo o entrelaçamento do Espaço e do Tempo na teoria da Relatividade. Este entrelaçamento só aparece claramente quando se reduziu o tempo a uma linha de luz. Com a linha de luz, que é tempo mas que permanece subentendida pelo espaço, que se alonga devido ao movimento do sistema e que assim recolhe pelo caminho espaço com o qual faz tempo, vamos apreender *in concreto*, no Tempo e no Espaço de toda a gente, o facto inicial muito simples que se traduz pela concepção de um Espaço-Tempo a quatro dimensões na teoria da Relatividade.

3º Efeito transversal-longitudinal ou «*contração de Lorentz*». A teoria da Relatividade restrita, como dissemos, consiste essencialmente em representar primeiro a linha dupla de luz  $BOA$ , depois deformá-la em figuras como  $O_1 B_1 A_1 O'$  pelo movimento do sistema, e finalmente fazer entrar, sair e entrar de novo todas essas figuras umas nas outras, habituando-se a pensar que são *ao mesmo tempo* a primeira figura e as figuras que dela saíram. Em suma, obtêm-se, com todas as velocidades possíveis impressas sucessivamente ao sistema, todas as visões possíveis de uma única e mesma coisa, sendo essa coisa supostamente coincidir com todas essas visões ao mesmo tempo. Mas a coisa em questão é essencialmente linha de luz. Consideremos os três pontos  $O, B, A$  da nossa primeira figura. Habitualmente, quando os chamamos pontos fixos, tratamo-los como se estivessem ligados uns aos outros por hastes rígidas. Na teoria da Relatividade, a ligação torna-se um laço de luz que se lançaria de  $O$  para  $B$  de modo a fazê-lo voltar sobre si mesmo e a apanhá-lo em  $O$ , e ainda um laço de luz entre  $O$  e  $A$ , tocando apenas em  $A$  para voltar a  $O$ . Isto quer dizer que o tempo se vai agora amalgamar com o espaço. Na hipótese de hastes rígidas, os três pontos estavam ligados entre si no instantâneo ou, se se quiser, no eterno, enfim fora do tempo: a sua relação no espaço era invariável. Aqui, com hastes elásticas e deformáveis de luz que são representativas do tempo ou antes que são o próprio tempo, a relação dos três pontos no espaço vai cair sob a dependência do tempo.

Para compreender bem a «*contração*» que se seguirá, basta examinar as figuras de luz sucessivas, tendo em conta que são figuras, ou seja, traçados de luz que se consideram de uma só vez, e que no entanto será necessário tratar as suas linhas como se fossem tempo. Dadas apenas estas linhas de luz, teremos de reconstituir mentalmente as linhas de espaço, que geralmente já não se percebem na própria figura. Só poderão ser induzidas, ou seja, reconstruídas pelo pensamento.

Naturalmente, só faz exceção a figura de luz do sistema supostamente imóvel: assim, na nossa primeira figura,  $OB$  e  $OA$  são ao mesmo tempo linhas flexíveis de luz e linhas rígidas de espaço, estando o aparelho  $BOA$  supostamente em repouso. Mas, na nossa segunda figura de luz, como representar o aparelho, as duas linhas de espaço rígidas que suportam os dois espelhos?

Consideremos a posição do aparelho que corresponde ao momento em que  $B$  veio colocar-se em

$B_1$ . Se baixarmos a perpendicular  $B_1 O_1''$  sobre  $O_1 A_1$ , poderemos dizer que a figura  $B_1 O_1'' A_1$  é a do aparelho? Evidentemente que não, porque se a igualdade das linhas de luz  $O_1 B_1$  e  $O_1' B_1$  nos avisa que os momentos  $O_1''$  e  $B_1$  são contemporâneos, se portanto  $O_1'' B_1$  conserva bem o carácter de uma linha de espaço rígida, se por conseguinte  $O_1'' B_1$  representa bem um dos braços do aparelho, pelo contrário, a desigualdade das linhas de luz  $O_1 A_1$  e  $O_1' A_1$  mostra-nos que os dois momentos  $O_1''$  e  $A_1$  são sucessivos. O comprimento  $O_1'' A_1$  representa, portanto, o segundo braço do aparelho, acrescido do espaço percorrido pelo aparelho durante o intervalo de tempo que separa o momento  $O_1''$  do momento  $A_1$ . Assim, para obter o comprimento deste segundo braço, teremos de tomar a diferença entre  $O_1'' A_1$  e o espaço percorrido. É fácil calculá-la. O comprimento  $O_1'' A_1$  é a média aritmética entre  $O_1 A_1$  e  $O_1' A_1$ , e como a soma destes dois últimos comprimentos é igual a  $\frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , visto que a linha total  $O_1 A_1 O_1'$  representa o mesmo tempo que a linha  $O_1 B_1 O_1'$ , vemos que  $O_1'' A_1$  tem o comprimento  $\frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Quanto ao espaço percorrido pelo aparelho no intervalo de tempo entre os momentos  $O_1''$  e  $A_1$ , avaliar-se-á imediatamente notando que este intervalo é medido pelo atraso do relógio situado na extremidade de um dos braços do aparelho em relação ao relógio situado no outro, ou seja, por  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv}{c^2}$ . O caminho percorrido é então  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv^2}{c^2}$ . E, consequentemente, o comprimento do braço, que era  $l$  em repouso, tornou-se

$$\frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{lv^2}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

, ou seja,  $l\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Encontramos assim a «*contração de Lorentz*».

Vê-se o que significa a contração. A identificação do tempo com a linha de luz faz com que o movimento do sistema produza um duplo efeito no tempo: dilatação do segundo, dislocação da simultaneidade. Na diferença

$$\frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{lv^2}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

o primeiro termo corresponde ao efeito de dilatação, o segundo ao efeito de dislocação. Num caso como no outro poder-se-ia dizer que apenas o tempo (o tempo fictício) está em causa. Mas a combinação dos efeitos no Tempo dá o que se chama uma contração de comprimento no Espaço.

## CAPÍTULO 8.5.

### Transição para a teoria do Espaço-Tempo

Percebe-se então na sua essência a teoria da Relatividade restrita. Em termos familiares, exprimir-se-ia assim: «*Dada, em repouso, uma coincidência da figura rígida do espaço com a figura flexível da luz, e dada, por outro lado, uma dissociação ideal destas duas figuras pelo efeito de um movimento que o pensamento atribui ao sistema, as deformações sucessivas da figura flexível da luz pelas diversas velocidades são tudo o que conta: a figura rígida do espaço arranjar-se-á como puder.*» De facto, vemos que, no movimento do sistema, o ziguezague longitudinal da luz deve conservar o mesmo comprimento que o ziguezague transversal, já que a igualdade destes dois tempos prevalece sobre tudo. Como, nestas condições, as duas linhas rígidas do espaço, a longitudinal e a transversal, não podem permanecer iguais, é o espaço que terá de ceder. Cederá necessariamente, o traçado rígido em linhas de espaço puro sendo considerado apenas o registo do efeito global produzido pelas diversas modificações da figura flexível, isto é, das linhas de luz.

## CAPÍTULO 9.

# O Espaço-Tempo a quatro dimensões

## Como se introduz a ideia de uma quarta dimensão

Deixemos agora de lado a nossa figura de luz com as suas deformações sucessivas. Servimo-nos dela para dar corpo às abstrações da teoria da Relatividade e também para desvendar os postulados que ela implica. A relação já estabelecida por nós entre os Tempos múltiplos e o tempo psicológico talvez se tenha tornado mais clara. E talvez se tenha entreaberto a porta por onde se introduz na teoria a ideia de um Espaço-Tempo a quatro dimensões. É do Espaço-Tempo que nos vamos ocupar agora.

A análise que acabámos de fazer mostrou como esta teoria trata a relação entre a coisa e a sua expressão. A coisa é o que é percebido; a expressão é o que o espírito põe no lugar da coisa para a submeter ao cálculo. A coisa é dada numa visão real; a expressão corresponde quando muito ao que chamamos uma visão fantasista. Habitualmente, representamo-nos as visões fantasistas como envolvendo, fugidias, o núcleo estável e firme da visão real. Mas a essência da teoria da Relatividade é colocar todas estas visões no mesmo plano. A visão que chamamos real não seria senão uma das visões fantasistas. Aceito, no sentido de que não há forma de traduzir matematicamente a diferença entre as duas. Mas não se deve concluir daí uma semelhança de natureza. É, no entanto, o que se faz quando se atribui um sentido metafísico ao contínuo de Minkowski e de Einstein, ao seu Espaço-Tempo a quatro dimensões. Vejamos, com efeito, como surge a ideia deste Espaço-Tempo.

Para isso, basta-nos determinar com precisão a natureza das «visões fantasistas» no caso em que um observador interior a um sistema  $S'$ , tendo tido a percepção real de um comprimento invariável  $l$ , se representaria a invariabilidade desse comprimento colocando-se pelo pensamento fora do sistema e supondo então o sistema animado de todas as velocidades possíveis. Diria a si mesmo: «Dado que uma linha  $A'B'$  do sistema móvel  $S'$ , ao passar diante de mim no sistema imóvel  $S$  onde me instalo, coincide com um comprimento  $l$  deste sistema, é que esta linha, em repouso, seria igual a  $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cdot l$ . Consideremos o quadrado  $L^2 = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot l^2$  desta grandeza. Quanto excede ele o quadrado de  $l$ ? Da quantidade  $\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{l^2 v^2}{c^2}$ , que se pode escrever  $c^2 \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv}{c} \right]^2$ . Ora  $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv}{c}$  mede precisamente o intervalo de tempo  $T$  que decorre para mim, transportado para o sistema  $S$ , entre dois acontecimentos que se passam respetivamente em  $A'$  e  $B'$  e que me pareceriam simultâneos se eu estivesse no sistema  $S'$ . Portanto, à medida que a velocidade de  $S'$  cresce a partir de zero, o intervalo de tempo  $T$  aumenta entre os dois acontecimentos que se passam nos pontos  $A'$  e  $B'$  e que são dados em  $S'$  como simultâneos; mas as coisas passam-se de tal modo que a diferença  $L^2 - c^2 T^2$  permanece constante. É esta diferença que eu antigamente chamava  $l^2$ .» Assim, tomando  $c$  por unidade de Tempo, podemos dizer que o que é dado a um observador real em  $S'$  como a fixidez de uma grandeza espacial, como a invariabilidade de um quadrado  $l^2$ , apareceria a um observador fictício em  $S$  como a constância da diferença entre o quadrado de um espaço e o quadrado de um tempo.

Mas acabámos de nos colocar num caso particular. Generalizemos a questão e perguntemo-nos primeiro como se exprime, em relação a eixos retangulares situados no interior de um sistema material  $S'$ , a distância entre dois pontos do sistema. Procuraremos depois como se exprimirá em relação a eixos situados num sistema  $S$  em relação ao qual  $S'$  se tornaria móvel.

Se o nosso espaço fosse a duas dimensões, reduzido à presente folha de papel, se os dois pontos considerados fossem  $A'$  e  $B'$ , cujas distâncias respetivas aos dois eixos  $O'Y'$  e  $O'X'$  são  $x'_1, y'_1$  e  $x'_2, y'_2$ , é claro que teríamos

$$A'B'^2 = (x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2$$

Poderíamos então tomar qualquer outro sistema de eixos imóveis em relação aos primeiros e dar assim a  $x'_1, x'_2, y'_1, y'_2$  valores que seriam geralmente diferentes dos primeiros: a soma dos dois quadrados  $(x'_2 - x'_1)^2$  e  $(y'_2 - y'_1)^2$  permaneceria a mesma, uma vez que seria sempre igual a  $A'B'^2$ . Do mesmo modo, num espaço a três dimensões, os pontos  $A'$  e  $B'$  não sendo mais supostos então no plano  $X'O'Y'$  e sendo desta vez definidos pelas suas distâncias  $x'_1, y'_1, z'_1, x'_2, y'_2, z'_2$  às três faces de um triedro triretângulo cujo vértice é  $O'$ , constatar-se-ia a invariância da soma

$$\textcircled{1} \quad (x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2$$

É por esta mesma invariância que se exprimiria a fixidez da distância entre  $A'$  e  $B'$  para um observador situado em  $S'$ .

Mas suponhamos que o nosso observador se coloca pelo pensamento no sistema  $S$ , em relação ao qual  $S'$  é suposto em movimento. Suponhamos também que ele refere os pontos  $A'$  e  $B'$  a eixos situados no seu novo sistema, colocando-se aliás nas condições simplificadas que descrevemos acima quando estabelecíamos as equações de Lorentz. As distâncias respectivas dos pontos  $A'$  e  $B'$  aos três planos retangulares que se cortam em  $S$  serão agora  $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2$ . O quadrado da distância  $A'B'^2$  dos nossos dois pontos vai aliás ainda ser-nos dado por uma soma de três quadrados que será

$$\textcircled{2} \quad (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

Mas, de acordo com as equações de Lorentz, se os dois últimos quadrados desta soma são idênticos aos dois últimos da anterior, o mesmo não acontece com o primeiro, pois estas equações dão-nos para  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente, os valores  $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(x'_1 + vt'_1)$  e  $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(x'_2 + vt'_2)$ ; de modo que o primeiro quadrado será  $\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}(x'_2 - x'_1)^2$ . Encontramo-nos naturalmente perante o caso particular que estávamos a examinar há pouco. Tínhamos considerado de facto no sistema  $S'$  um certo comprimento  $A'B'$ , ou seja, a distância entre dois eventos instantâneos e simultâneos que ocorrem respectivamente em  $A'$  e  $B'$ . Mas queremos agora generalizar a questão. Suponhamos, portanto, que os dois eventos são sucessivos para o observador em  $S'$ . Se um ocorre no momento  $t'_1$  e o outro no momento  $t'_2$ , as equações de Lorentz dar-nos-ão

$$x_1 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(x'_1 + vt'_1)$$

$$x_2 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(x'_2 + vt'_2)$$

, de modo que o nosso primeiro quadrado se tornará

$$\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}[(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)]^2$$

e a nossa soma primitiva de três quadrados será substituída por

$$\textcircled{3} \quad \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}[(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)]^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$$

, grandeza que depende de  $v$  e já não é invariante. Mas se, nesta expressão, considerarmos o primeiro termo  $\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}[(x_2' - x_1') + v(t_2' - t_1')]^2$ , que nos dá o valor de  $(x_2 - x_1)^2$ , vemos que excede  $(x_2' - x_1')^2$  na quantidade:

$$\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot c^2 [(t_2' - t_1') + \frac{v(x_2' - x_1')}{c^2}]^2 - c^2 (t_2' - t_1')^2$$

Ora, as equações de Lorentz dão:

$$\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} [(t_2' - t_1') + \frac{v(x_2' - x_1')}{c^2}]^2 = (t_2' - t_1')^2$$

Temos, portanto,

$$(x_2 - x_1)^2 - (x_2' - x_1')^2 = c^2 (t_2 - t_1)^2 - c^2 (t_2' - t_1')^2$$

ou

$$(x_2 - x_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2 = (x_2' - x_1')^2 - c^2 (t_2' - t_1')^2$$

ou finalmente

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2 = (x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2 - c^2 (t_2' - t_1')^2$$

Resultado que poderia ser enunciado da seguinte maneira: Se o observador em  $S'$  tivesse considerado, em vez da soma de três quadrados

$$(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2$$

, a expressão

$$(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2 - c^2 (t_2' - t_1')^2$$

onde entra um quarto quadrado, teria restabelecido, com a introdução do Tempo, a invariância que tinha deixado de existir no Espaço.

O nosso cálculo terá parecido um pouco desajeitado. E é-o efectivamente. Nada teria sido mais simples do que constatar imediatamente que a expressão

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2$$

não muda quando se submete os seus termos à transformação de Lorentz. Mas isso teria sido colocar no mesmo plano todos os sistemas onde se supõe terem sido feitas todas as medições. O matemático e o físico devem fazê-lo, uma vez que não procuram interpretar em termos de realidade o Espaço-Tempo da teoria da Relatividade, mas simplesmente utilizá-lo. Pelo contrário, o nosso objectivo é precisamente essa interpretação. Tínhamos, portanto, de partir das medições feitas no sistema  $S'$  pelo observador em  $S'$  — as únicas medições reais atribuíveis a um observador real — e considerar as medições feitas noutros sistemas como alterações ou deformações destas, alterações ou deformações coordenadas entre si de tal modo que certas relações entre as medições se mantenham. Para conservar ao ponto de vista do observador em  $S'$  o seu lugar central e preparar assim a análise que faremos em breve do Espaço-Tempo, o desvio que acabámos de fazer era, portanto, necessário. Era também necessário, como se verá, estabelecer uma distinção entre o caso em que o observador em  $S'$  via como simultâneos os eventos  $A'$  e  $B'$ , e o caso em que os considera sucessivos. Esta distinção ter-se-ia esvanecido se tivéssemos feito da simultaneidade apenas o caso particular em que se tem  $t_2' - t_1' = 0$ ; tê-la-íamos assim absorvido na sucessão; qualquer diferença de natureza teria sido abolida entre as medições realmente feitas pelo observador em  $S'$  e as medições apenas pensadas que seriam feitas por observadores exteriores ao sistema. Mas pouco importa por agora. Mostremos simplesmente como a teoria da Relatividade é bem conduzida pelas considerações precedentes a postular um Espaço-Tempo a quatro dimensões.

Dizíamos que a expressão do quadrado da distância entre dois pontos  $A'$  e  $B'$  referidos a dois eixos rectangulares num espaço a duas dimensões, é  $(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$ , se chamarmos  $x_1, y_1, x_2, y_2$  às suas distâncias respectivas aos dois eixos. Acrescentávamos que num espaço a três dimensões seria  $(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$ . Nada nos impede de imaginar espaços a 4, 5, 6, ... ,  $n$  dimensões. O quadrado da distância entre dois pontos seria dado por uma soma de 4, 5, 6, ... ,  $n$  quadrados, cada um destes quadrados sendo o da diferença entre as distâncias dos pontos  $A'$  e  $B'$  a um dos 4, 5, 6, ... ,  $n$  planos. Consideremos então a nossa expressão

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2$$

Se a soma dos três primeiros termos fosse invariante, poderia exprimir a invariância da distância, tal como a concebíamos no nosso Espaço a três dimensões antes da teoria da Relatividade. Mas esta consiste essencialmente em dizer que é necessário introduzir o quarto termo para obter a invariância. Porque é que este quarto termo não corresponderia a uma quarta dimensão? Duas considerações parecem a princípio opor-se, se nos ativermos à nossa expressão da distância: por um lado, o quadrado  $(t_2 - t_1)^2$  é precedido do sinal *menos* em vez do sinal *mais*, e por outro lado está afectado de um coeficiente  $c^2$  diferente da unidade. Mas como, num quarto eixo que seria representativo do tempo, os tempos teriam necessariamente de ser representados como comprimentos, podemos decretar que o segundo terá o comprimento  $c$ : o nosso coeficiente tornar-se-á assim a unidade. Por outro lado, se considerarmos um tempo  $\tau$  tal que se tenha  $t = \tau\sqrt{-1}$ , e se, de um modo geral, substituirmos  $t$  pela quantidade imaginária  $\tau\sqrt{-1}$ , o nosso quarto quadrado será  $-\tau^2$ , e é então a uma soma de quatro quadrados que teremos de lidar. Convencionemos chamar  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \tau$  às quatro diferenças  $x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1, \tau_2 - \tau_1$ , que são os acréscimos respectivos de  $x, y, z, \tau$  quando se passa de  $x_1$  a  $x_2$ , de  $y_1$  a  $y_2$ , de  $z_1$  a  $z_2$ , de  $\tau_1$  a  $\tau_2$ , e chamemos  $\Delta s$  o intervalo entre os dois pontos  $A'$  e  $B'$ . Teremos:

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 + \Delta \tau^2$$

E desde então nada nos impedirá de dizer que  $s$  é uma distância, ou melhor um intervalo, no Espaço e no Tempo ao mesmo tempo: o quarto quadrado corresponderia à quarta dimensão de um contínuo Espaço-Tempo onde o Tempo e o Espaço estariam amalgamados.

Nada nos impedirá também de supor os dois pontos  $A'$  e  $B'$  infinitamente próximos, de tal modo que  $A'B'$  possa igualmente ser um elemento de curva. Um acréscimo finito como  $\Delta x$  tornar-se-á então um acréscimo infinitesimal  $dx$ , e teremos a equação diferencial:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + d\tau^2$$

, de onde poderemos remontar por uma soma de elementos infinitamente pequenos, por uma «*integração*», ao intervalo  $s$  entre dois pontos de uma linha desta vez qualquer, ocupando ao mesmo tempo o Espaço e o Tempo, que chamaremos  $AB$ . Escrevê-lo-emos:

$$s = \int_A^B \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2 + d\tau^2}$$

, expressão que é necessário conhecer, mas sobre a qual não voltaremos no que se segue. Será melhor utilizar directamente as considerações pelas quais se chegou a ela <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> O leitor um pouco matemático terá notado que a expressão  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$  pode ser considerada tal qual como correspondendo a um Espaço-Tempo hiperbólico. O artifício, acima descrito, de Minkowski consiste em dar a este Espaço-Tempo a forma euclidiana pela substituição da variável imaginária  $ct\sqrt{-1}$  à variável  $t$ .

Acabamos de ver como a notação de uma quarta dimensão se introduz quase automaticamente na teoria da Relatividade. Daí, sem dúvida, a opinião frequentemente expressa de que devemos a esta teoria a primeira ideia de um meio a quatro dimensões englobando o tempo e o espaço. O que não se notou suficientemente, é que uma quarta dimensão do espaço é sugerida por toda a espacialização do tempo: ela foi, portanto, sempre implicada pela nossa ciência e pela nossa linguagem. Mesmo, extrair-se-ia dela uma forma mais precisa, em todo o caso mais imagética, da

concepção corrente do tempo do que da teoria da Relatividade. Só que, na teoria corrente, a assimilação do tempo a uma quarta dimensão está subentendida, enquanto a física da Relatividade é obrigada a introduzi-la nos seus cálculos. E isso deve-se ao duplo efeito de endosmose e exosmose entre o tempo e o espaço, à sobreposição recíproca de um sobre o outro, que as equações de Lorentz parecem traduzir: torna-se aqui necessário, para situar um ponto, indicar explicitamente a sua posição no tempo tanto como no espaço. Não deixa de ser verdade que o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein é uma *espécie* da qual a espacialização comum do Tempo num Espaço a quatro dimensões é o *género*. O caminho que temos a seguir está então traçado. Devemos começar por procurar o que significa, de uma maneira geral, a introdução de um meio a quatro dimensões que reuniria tempo e espaço. Depois perguntaremos o que se lhe acrescenta, ou o que dele se retira, quando se concebe a relação entre as dimensões espaciais e a dimensão temporal à maneira de Minkowski e de Einstein. Desde já se vislumbra que, se a concepção corrente de um espaço acompanhado de tempo espacializado assume naturalmente para o espírito a forma de um meio a quatro dimensões, e se este meio é fictício na medida em que simboliza simplesmente a convenção de espacializar o tempo, o mesmo acontecerá com as espécies das quais este meio a quatro dimensões terá sido o género. Em todo o caso, a espécie e o género terão sem dúvida o mesmo grau de realidade, e o Espaço-Tempo da teoria da Relatividade não será provavelmente mais incompatível com a nossa antiga concepção da duração do que o era um Espaço-e-Tempo a quatro dimensões simbolizando ao mesmo tempo o espaço habitual e o tempo espacializado. Todavia, não poderemos dispensar-nos de considerar mais especialmente o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein, uma vez que nos tivermos ocupado de um Espaço-e-Tempo geral a quatro dimensões. Apeguemo-nos primeiro a este.

## CAPÍTULO 9.2.

### **A representação geral de um Espaço-e-Tempo a quatro dimensões**

Tem-se dificuldade em imaginar uma dimensão nova se se parte de um Espaço a três dimensões, uma vez que a experiência não nos mostra uma quarta. Mas nada é mais simples, se for um Espaço a duas dimensões que dotamos dessa dimensão suplementar. Podemos evocar seres planos, vivendo numa superfície, confundindo-se com ela, conhecendo apenas duas dimensões do espaço. Um deles terá sido conduzido pelos seus cálculos a postular a existência de uma terceira dimensão. Superficiais no duplo sentido da palavra, os seus congêneres recusarão sem dúvida segui-lo; ele próprio não conseguirá imaginar o que o seu entendimento terá podido conceber. Mas nós, que vivemos num Espaço a três dimensões, teríamos a percepção real daquilo que ele se teria simplesmente representado como possível: dar-nos-íamos exatamente conta do que ele teria acrescentado ao introduzir uma dimensão nova. E como seria algo do mesmo género que faríamos nós próprios se supuséssemos, reduzidos a três dimensões como estamos, que estamos imersos num meio a quatro dimensões, quase assim imaginaríamos essa quarta dimensão que nos parecia inicialmente inimaginável. Não seria exatamente a mesma coisa, é verdade. Porque um espaço com mais de três dimensões é uma pura concepção do espírito e pode não corresponder a nenhuma realidade. Enquanto o Espaço a três dimensões é o da nossa experiência. Portanto, quando, no que se segue, usarmos o nosso Espaço a três dimensões, realmente percebido, para dar corpo às representações de um matemático sujeito a um universo plano — representações para ele concebíveis mas não imagináveis —, isso não quererá dizer que exista ou possa existir um Espaço a quatro dimensões capaz por sua vez de realizar de forma concreta as nossas próprias concepções matemáticas quando transcendem o nosso mundo a três dimensões. Seria dar demasiada importância àqueles que interpretam imediatamente metafisicamente a teoria da Relatividade. O

artifício de que vamos usar tem por único objetivo fornecer um suporte imaginativo à teoria, torná-la assim mais clara, e com isso fazer melhor perceber os erros em que conclusões precipitadas nos fariam cair.

Vamos portanto simplesmente regressar à hipótese de que partimos quando traçamos dois eixos retangulares e consideramos uma linha  $A'B'$  no mesmo plano que eles. Dávamos-nos apenas a superfície da folha de papel. Este mundo a duas dimensões, a teoria da Relatividade dota-o de uma dimensão adicional que seria o tempo: o invariante já não será  $dx^2 + dy^2$  mas  $dx^2 + dy^2 - c^2 dt^2$ . Certamente, esta dimensão adicional é de natureza muito especial, uma vez que o invariante seria  $dx^2 + dy^2 + dt^2$  sem que fosse preciso um artifício de escrita para o trazer a esta forma, se o tempo fosse uma dimensão como as outras. Teremos em conta esta diferença característica, que já nos preocupou e sobre a qual concentraremos a nossa atenção daqui a pouco. Mas deixamo-la de lado por agora, uma vez que a própria teoria da Relatividade nos convida a fazê-lo: se recorreu aqui a um artifício, e se estabeleceu um tempo imaginário, era precisamente para que o seu invariante conservasse a forma de uma soma de quatro quadrados todos com coeficiente unitário, e para que a dimensão nova fosse provisoriamente assimilável às outras. Perguntemo-nos então, de uma maneira geral, o que se traz, o que talvez também se retire, a um universo a duas dimensões quando se faz do seu tempo uma dimensão suplementar. Teremos em conta depois o papel especial que esta nova dimensão desempenha na teoria da Relatividade.

Não se pode repetir demasiado: o tempo do matemático é necessariamente um tempo que se mede e, por conseguinte, um tempo espacializado. Não é necessário colocar-se na hipótese da Relatividade: de qualquer modo (já o fazíamos notar há mais de trinta anos) o tempo matemático poderá ser tratado como uma dimensão adicional do espaço. Suponhamos um universo superficial reduzido ao plano  $P$ , e consideremos nesse plano um móvel  $M$  que descreve uma linha qualquer, por exemplo uma circunferência, a partir de um certo ponto que tomaremos por origem. Nós, que habitamos um mundo a três dimensões, poderemos representar-nos o móvel  $M$  arrastando consigo uma linha  $MN$  perpendicular ao plano e cujo comprimento variável mediria a cada instante o tempo decorrido desde a origem. A extremidade  $N$  dessa linha descreverá no Espaço a três dimensões uma curva que será, no caso presente, de forma helicoidal. É fácil ver que esta curva traçada no Espaço a três dimensões nos revela todas as particularidades temporais da mudança ocorrida no Espaço a duas dimensões  $P$ . A distância de um ponto qualquer da hélice ao plano  $P$  indica-nos, com efeito, o momento do tempo com que temos de lidar, e a tangente à curva nesse ponto dá-nos, pela sua inclinação sobre o plano  $P$ , a velocidade do móvel nesse momento<sup>(1)</sup>. Assim, dir-se-á, a «curva a duas dimensões»<sup>(2)</sup> desenha apenas uma parte da realidade constatada no plano  $P$ , porque não é mais do que espaço, no sentido que os habitantes de  $P$  dão a esta palavra. Pelo contrário, a «curva a três dimensões» contém essa realidade na sua totalidade: tem três dimensões de espaço para nós; seria Espaço-e-Tempo a três dimensões para um matemático a duas dimensões que habitasse o plano  $P$  e que, incapaz de imaginar a terceira dimensão, seria levado pela constatação do movimento a concebê-la e a exprimi-la analiticamente. Poderia depois aprender connosco que uma curva a três dimensões existe efetivamente como imagem.

---

<sup>(1)</sup> Um cálculo muito simples o mostraria.

<sup>(2)</sup> Somos obrigados a empregar estas expressões pouco corretas, «curva a duas dimensões», «curva a três dimensões», para designar aqui a curva plana e a curva esferoidal. Não há outro meio de indicar as implicações espaciais e temporais de uma e de outra.

Uma vez posta, aliás, a curva a três dimensões, espaço e tempo ao mesmo tempo, a curva a duas dimensões apareceria ao matemático do universo plano como uma simples projeção desta sobre o plano que habita. Não seria mais do que o aspeto superficial e espacial de uma realidade sólida que deveria chamar-se tempo e espaço ao mesmo tempo.

Em suma, a forma de uma curva a três dimensões informa-nos aqui tanto sobre a trajetória plana como sobre as particularidades temporais de um movimento que se efetua num espaço a duas dimensões. Mais genericamente, *o que é dado como movimento num espaço de um número qualquer de dimensões pode ser representado como forma num espaço com mais uma dimensão.*

Mas esta representação é realmente adequada ao representado? Contém exatamente o que este contém? À primeira vista, assim o pareceria, como acabamos de dizer. Mas a verdade é que contém mais por um lado, menos por outro, e que se as duas coisas parecem permutáveis, é porque o nosso espírito subtrai sub-repticiamente da representação o que nela sobra, introduz não menos sub-repticiamente o que falta.

### CAPÍTULO 9.3.

## Como a imobilidade se exprime em termos de movimento

Para começar pelo segundo ponto, é evidente que o *devoir* propriamente dito foi eliminado. É que a ciência não tem que ver com isso no caso presente. Qual é o seu objetivo? Simplesmente saber onde estará o móvel num momento qualquer do seu percurso. Transporta-se, portanto, invariavelmente para o extremo de um intervalo já percorrido; ocupa-se apenas do resultado uma vez obtido: se se pode representar de uma só vez todos os resultados adquiridos em todos os momentos, e de modo a saber que resultado corresponde a tal momento, alcançou o mesmo sucesso que a criança que se tornou capaz de ler instantaneamente uma palavra em vez de a soletrar letra por letra. É o que acontece no caso do nosso círculo e da nossa hélice, que se correspondem ponto a ponto. Mas esta correspondência só tem significado porque o nosso espírito *percorre* a curva e ocupa *sucessivamente* pontos dela. Se pudemos substituir a sucessão por uma justaposição, o tempo real por um tempo espacializado, o *devoir* pelo *devido*, é porque conservamos em nós o *devoir*, a duração real: quando a criança lê atualmente a palavra de uma só vez, soletra-a virtualmente letra por letra. Não nos imaginemos, portanto, que a nossa curva a três dimensões nos entrega, cristalizadas por assim dizer juntas, o movimento pelo qual se traça a curva plana e essa curva plana ela mesma. Simplesmente extraiu do *devoir* o que interessa à ciência, e a ciência aliás só poderá utilizar este extrato porque o nosso espírito restabelecerá o *devoir* eliminado ou se sentirá capaz de o fazer. Neste sentido, a curva a  $n + 1$  dimensões *já traçada*, que seria o equivalente da curva a  $n$  dimensões *a traçar-se*, representa realmente menos do que pretende representar.

Mas, noutro sentido, representa mais. Subtraindo por aqui, acrescentando por ali, é duplamente inadequada.

Obtivemo-la, com efeito, por um processo bem definido, pelo movimento circular, no plano  $P$ , de um ponto  $M$  que arrastava consigo a reta de comprimento variável  $MN$ , proporcional ao tempo decorrido. Este plano, este círculo, esta reta, este movimento, eis os elementos perfeitamente determinados da operação pela qual a figura se traçava. Mas a figura já traçada não implica necessariamente este modo de geração. Mesmo que ainda o implique, poderá ter sido o efeito do movimento de outra reta, perpendicular a outro plano, e cuja extremidade  $M$  terá descrito nesse plano, com velocidades totalmente diferentes, uma curva que não era uma circunferência. Dêmo-nos, com efeito, um plano qualquer e projetemos nele a nossa hélice: esta será igualmente representativa da nova curva plana, percorrida com novas velocidades, amalgamada a novos tempos. Se portanto, no sentido que definíamos há pouco, a hélice contém menos do que a circunferência e o movimento que nela se pretende reencontrar, noutro sentido contém mais: uma vez aceite como a amalgamação de uma certa figura plana com um certo modo de movimento, descobrir-se-ia nela igualmente uma infinidade de outras figuras planas completadas respetivamente por uma infinidade de outros movimentos. Em suma, como anunciámos, a

representação é duplamente inadequada: fica aquém, vai além. E adivinha-se a razão. Ao acrescentar uma dimensão ao espaço onde nos encontramos, pode-se sem dúvida figurar por uma coisa, neste novo Espaço, um *processo* ou um *dever* dado no antigo. Mas como se substituiu o *já feito* ao que se vê *a fazer-se*, eliminou-se por um lado o *dever* inerente ao tempo, e introduziu-se por outro a possibilidade de uma infinidade de outros processos pelos quais a coisa teria sido igualmente construída. Ao longo do tempo em que se constatava a *gênese* progressiva dessa coisa, havia um modo de geração bem determinado; mas no novo espaço, acrescido de uma dimensão, onde a coisa se estala de uma só vez pela adjunção do tempo ao espaço antigo, é livre imaginar uma infinidade de modos de geração igualmente possíveis; e aquele que se constatou efetivamente, embora seja o único real, já não aparece como privilegiado: colocar-se-á — erradamente — no mesmo plano que os outros.

#### CAPÍTULO 9.4.

### Como o Tempo parece assim amalgamar-se com o Espaço

Desde já se vislumbra o duplo perigo a que se expõe quando se simboliza o tempo por uma quarta dimensão do espaço. Por um lado, corre-se o risco de tomar o desenrolar de toda a história passada, presente e futura do universo por um simples percurso da nossa consciência ao longo dessa história dada de uma só vez na eternidade: os acontecimentos já não desfilariam diante de nós, seríamos nós que passaríamos diante do seu alinhamento. E por outro lado, no Espaço-e-Tempo ou Espaço-Tempo assim constituído, acreditar-se-á livre para escolher entre uma infinidade de repartições possíveis do Espaço e do Tempo. Contudo, foi com um Espaço bem determinado, um Tempo bem determinado, que este Espaço-Tempo foi construído: apenas uma certa distribuição particular em Espaço e Tempo era real. Mas não se faz distinção entre ela e todas as outras distribuições possíveis: ou antes, já só se vê uma infinidade de distribuições possíveis, a distribuição real sendo apenas uma delas. Em suma, esquece-se que, sendo o tempo mensurável necessariamente simbolizado pelo espaço, há ao mesmo tempo mais e menos na dimensão de espaço tomada como símbolo do que no próprio tempo.

Mas estes dois pontos tornar-se-ão mais claros da seguinte maneira. Supusemos um universo a duas dimensões. Será o plano *P*, prolongado indefinidamente. Cada um dos estados sucessivos do universo será uma imagem instantânea, ocupando a totalidade do plano e compreendendo o conjunto dos objetos, todos planos, de que o universo é feito. O plano será assim como um ecrã sobre o qual se desenrolaria a cinematografia do universo, com a diferença, porém, de que aqui não há cinematógrafo exterior ao ecrã, nem fotografia projetada de fora: a imagem desenha-se espontaneamente no ecrã. Ora, os habitantes do plano *P* poderão representar de duas maneiras diferentes a sucessão das imagens cinematográficas no seu espaço. Dividir-se-ão em dois campos, conforme derem mais importância aos dados da experiência ou ao simbolismo da ciência.

Os primeiros considerarão que há de facto imagens sucessivas, mas que em parte alguma estas imagens estão alinhadas juntas ao longo de uma película; e isso por duas razões: 1.º Onde encontraria a película lugar? Cada uma das imagens, cobrindo sozinha o ecrã, preenche por hipótese a totalidade de um espaço talvez infinito, a totalidade do espaço do universo. É pois forçoso que estas imagens só existam sucessivamente; não poderiam ser dadas globalmente. O tempo apresenta-se aliás à nossa consciência como duração e sucessão, atributos irreduzíveis a qualquer outro e distintos da justaposição. 2.º Numa película, tudo estaria predeterminado ou, se preferirem, determinado. Ilusória seria portanto a nossa consciência de escolher, de agir, de criar. Se há sucessão e duração, é precisamente porque a realidade hesita, tateia, elabora gradualmente novidade imprevisível. Certamente, a parte da determinação absoluta é grande no universo; é precisamente por isso que uma física matemática é possível. Mas o que está predeterminado é

virtualmente o *já feito* e só dura pela sua solidariedade com o que *se faz*, com o que é duração real e sucessão: é preciso ter em conta este entrelaçamento, e vê-se então que a história passada, presente e futura do universo não poderia ser dada globalmente ao longo de uma película <sup>(1)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Sobre este ponto, sobre o que chamávamos o mecanismo cinematográfico do pensamento, e sobre a nossa representação imediata das coisas, ver o capítulo IV de *L'Évolution créatrice*, Paris, 1907.

Os outros responderiam: "Primeiro, não queremos saber da vossa suposta imprevisibilidade. O objectivo da ciência é calcular e, conseqüentemente, prever: portanto, ignoraremos o vosso sentimento de indeterminação, que talvez não passe de uma ilusão. Agora, dizeis que não há lugar, no universo, para alojar imagens além da imagem denominada presente. Isso seria verdade se o universo estivesse condenado a ter apenas as suas duas dimensões. Mas podemos supor-lhe uma terceira, que os nossos sentidos não alcançam, e através da qual viajaria precisamente a nossa consciência quando se desenrola no *«Tempo»*. Graças a esta terceira dimensão do Espaço, todas as imagens que constituem todos os momentos passados e futuros do universo são dadas de uma só vez com a imagem presente, não dispostas umas em relação às outras como as fotografias ao longo de um filme (para isso, de facto, não haveria lugar), mas organizadas numa ordem diferente, que não conseguimos imaginar, mas que podemos conceber. Viver no Tempo consiste em atravessar esta terceira dimensão, ou seja, em detalhá-la, em perceber uma a uma as imagens que ela permite justapor. A aparente indeterminação daquela que vamos perceber consiste simplesmente no facto de ainda não ter sido percebida: é uma objectivação da nossa ignorância <sup>(1)</sup>. Acreditamos que as imagens se criam à medida que aparecem, precisamente porque nos parecem *aparecer*, ou seja, produzir-se diante de nós e para nós, vir até nós. Mas não esqueçamos que todo o movimento é recíproco ou relativo: se as percebemos a vir até nós, também é verdade dizer que vamos até elas. Elas estão na realidade ali; esperam-nos, alinhadas; passamos ao longo da frente. Não digamos, portanto, que os acontecimentos ou acidentes nos acontecem; somos nós que lhes acontecemos. E constatará-lo-íamos imediatamente se conhecêssemos a terceira dimensão como as outras."

---

<sup>(1)</sup> Nas páginas dedicadas ao "mecanismo cinematográfico do pensamento", mostrámos outrora que esta maneira de raciocinar é natural ao espírito humano. (*A Evolução Criadora*, cap. IV.)

Agora, suponho que me tomem por árbitro entre os dois campos. Voltava-me para aqueles que acabam de falar e dir-lhes-ia: "Deixem-me primeiro felicitá-los por terem apenas duas dimensões, porque assim obterão para a vossa tese uma verificação que eu procuraria em vão se fizesse um raciocínio análogo ao vosso no espaço onde o destino me lançou. Acontece, de facto, que habito um espaço a três dimensões; e quando concedo a tal ou tal filósofo que poderia muito bem haver uma quarta, digo algo que talvez seja absurdo em si, ainda que concebível matematicamente. Um sobre-homem, que por minha vez tomaria como árbitro entre eles e mim, explicar-nos-ia talvez que a ideia de uma quarta dimensão se obtém pelo prolongamento de certos hábitos matemáticos contraídos no nosso Espaço (exactamente como obtivestes a ideia de uma terceira dimensão), mas que a ideia não corresponde desta vez e não pode corresponder a nenhuma realidade. Existe, no entanto, um espaço a três dimensões, onde precisamente me encontro: é uma sorte para vós, e poderei informar-vos. Sim, adivinharam bem ao acreditarem possível a coexistência de imagens como as vossas, estendendo-se cada uma sobre uma *«superfície»* infinita, quando é impossível no Espaço truncado onde a totalidade do vosso universo vos parece caber a cada instante. Basta que essas imagens — denominadas por nós *«planas»* — se empilhem, como dizemos, umas sobre as outras. Aqui estão empilhadas. Vejo o vosso universo *«sólido»*, segundo a nossa maneira de falar; é feito do amontoado de todas as vossas imagens planas, passadas, presentes e futuras. Vejo também a vossa consciência a viajar perpendicularmente a esses *«planos»* sobrepostos, tomando conhecimento apenas daquele que atravessa, percebendo-o como presente, recordando-se então daquele que deixa para trás, mas ignorando os que estão à frente e que entram por sua vez no seu presente para virem imediatamente enriquecer o seu passado."

Só que, eis o que ainda me impressiona.

Tomei imagens quaisquer, ou melhor, películas sem imagens, para figurar o vosso futuro, que não conheço. Assim empilhei sobre o estado presente do vosso universo estados futuros que permanecem para mim em branco: fazem par com os estados passados que estão do outro lado do estado presente e que eu vejo, esses sim, como imagens determinadas. Mas não estou de modo algum seguro de que o vosso futuro coexista assim com o vosso presente. São vocês que mo dizem. Construí a minha figura com base nas vossas indicações, mas a vossa hipótese permanece uma hipótese. Não esqueçam que é uma hipótese, e que traduz simplesmente certas propriedades dos factos muito particulares, recortados na imensidão do real, de que se ocupa a ciência física. Agora, posso dizer-vos, fazendo-vos beneficiar da minha experiência da terceira dimensão, que a vossa representação do tempo pelo espaço vos dará ao mesmo tempo mais e menos do que aquilo que querem representar.

Isso dar-lhe-á menos, porque o amontoado de imagens empilhadas que constitui a totalidade dos estados do universo não tem nada que implique ou explique o movimento pelo qual o seu Espaço  $P$  as ocupa sucessivamente, ou pelo qual (o que vem a dar no mesmo, segundo você) elas vêm sucessivamente preencher o Espaço  $P$  onde você está. Sei bem que esse movimento não conta, aos seus olhos. Dado que todas as imagens são virtualmente dadas — e essa é a sua convicção —, dado que teoricamente se deveria estar em condições de tomar a que se quiser na parte do amontoado que está à frente (nisso consiste o cálculo ou a previsão de um acontecimento), o movimento que o obrigaria a passar primeiro ao longo das imagens intermédias entre essa imagem e a imagem presente — movimento que seria precisamente o tempo — aparece-lhe como um simples <atraso> ou impedimento trazido de facto a uma visão que seria imediata de direito; não haveria aqui senão um déficit do seu conhecimento empírico, precisamente colmatado pela sua ciência matemática. Finalmente, seria negativo; e não se daria *mais*, dar-se-ia *menos* do que se tinha, quando se postula uma sucessão, isto é, uma necessidade de folhear o álbum, quando todas as folhas estão lá. Mas eu, que faço a experiência deste universo a três dimensões e que nele posso perceber efectivamente o movimento por si imaginado, devo adverti-lo de que você encara apenas um aspecto da mobilidade e, conseqüentemente, da duração: o outro, essencial, escapa-lhe. Pode-se sem dúvida considerar como teoricamente amontoadas umas sobre as outras, dadas de antemão de direito, todas as partes de todos os estados futuros do universo que estão predeterminadas: não se faz mais do que exprimir assim a sua predeterminação. Mas essas partes, constitutivas do que se chama o mundo físico, estão enquadradas noutras, sobre as quais o seu cálculo não teve até agora qualquer poder, e que você declara calculáveis em virtude de uma assimilação inteiramente hipotética: há o orgânico, há o consciente. Eu, que estou inserido no mundo organizado pelo meu corpo, no mundo consciente pelo espírito, percebo a marcha em frente como um enriquecimento gradual, como uma continuidade de invenção e de criação. O tempo é para mim o que há de mais real e de mais necessário; é a condição fundamental da acção; — que digo? é a própria acção; e a obrigação em que estou de o viver, a impossibilidade de jamais transpor o intervalo de tempo futuro, bastariam para me demonstrar — se não tivesse disso o sentimento imediato — que o futuro está realmente aberto, imprevisível, indeterminado. Não me tome por um metafísico, se assim chama o homem das construções dialécticas. Não construí nada, simplesmente constatei. Entrego-lhe o que se oferece aos meus sentidos e à minha consciência: o imediatamente dado deve ser tido por real enquanto não se convenceu de ser uma simples aparência; a você, portanto, se vê aí uma ilusão, cabe trazer a prova. Mas você só suspeita aí uma ilusão porque faz, você, uma construção metafísica. Ou melhor, a construção já está feita: data de Platão, que tinha o tempo por uma simples privação de eternidade; e a maioria dos metafísicos antigos e modernos adoptou-a tal qual, porque responde de facto a uma exigência fundamental do entendimento humano. Feito para estabelecer leis, isto é, para extrair do fluxo cambiante das coisas certas relações que não mudam, o nosso entendimento é naturalmente levado a não ver senão elas; só elas existem para ele; cumpre

portanto a sua função, responde à sua destinação colocando-se fora do tempo que corre e que dura. Mas o pensamento, que transborda o puro entendimento, sabe bem que, se a inteligência tem por essência desembaraçar leis, é para que a nossa acção tenha em que se apoiar, é para que a nossa vontade tenha mais poder sobre as coisas: o entendimento trata a duração como um déficit, como uma pura negação, para que possamos trabalhar com a maior eficácia possível nesta duração que é contudo o que há de mais positivo no mundo. A metafísica da maioria dos metafísicos não é portanto senão a própria lei do funcionamento do entendimento, o qual é uma das faculdades do pensamento, mas não o pensamento mesmo. Este, na sua integralidade, tem em conta a experiência integral, e a integralidade da nossa experiência é duração. Portanto, faça o que fizer, você elimina alguma coisa, e mesmo o essencial, ao substituir por um bloco uma vez posto os estados do universo que passam sucessivamente <sup>(1)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Sobre a relação estabelecida pelos metafísicos entre o bloco e as imagens dadas sucessivamente, estendemo-nos longamente em *A Evolução Criadora*, cap. IV.

Dá-se por isso menos do que seria necessário. Mas, noutro sentido, dá-se mais do que seria necessário.

Com efeito, querem que o vosso plano  $P$  atravesse todas as imagens, postadas ali à vossa espera, de todos os momentos sucessivos do universo. Ou — o que vem a dar no mesmo — querem que todas essas imagens dadas no instantâneo ou na eternidade estejam condenadas, devido a uma deficiência da vossa percepção, a aparecer-vos como passando sucessivamente no vosso plano  $P$ . Aliás, pouco importa que se expressem de uma maneira ou de outra: em ambos os casos há um plano  $P$  — é o Espaço —, e um deslocamento desse plano paralelamente a si mesmo — é o Tempo — que faz com que o plano percorra a totalidade do bloco colocado de uma vez por todas. Mas, se o bloco está realmente dado, podem igualmente cortá-lo por qualquer outro plano  $P'$  que se desloque ainda paralelamente a si mesmo e percorra assim noutra direção a totalidade do real <sup>(1)</sup>. Terão feito uma nova repartição do espaço e do tempo, tão legítima como a primeira, uma vez que só o bloco sólido tem uma realidade absoluta. Tal é, de facto, a vossa hipótese. Imaginam ter obtido, pela adição de uma dimensão suplementar, um Espaço-Tempo a três dimensões que pode dividir-se em espaço e tempo de infinitas maneiras; a vossa, aquela que experimentam, seria apenas uma delas; estaria ao mesmo nível que todas as outras. Mas eu, que vejo como seriam todas as experiências, por vós simplesmente concebidas, de observadores ligados aos vossos planos  $P'$  e deslocando-se com eles, posso dizer-vos que, tendo em cada instante a visão de uma imagem feita de pontos emprestados a todos os momentos reais do universo, viveria na incoerência e no absurdo. O conjunto dessas imagens incoerentes e absurdas reproduz de facto o bloco, mas é unicamente porque o bloco foi constituído de uma maneira totalmente diferente — por um plano determinado movendo-se numa direção determinada — que ele existe como bloco, e que se pode então dar ao luxo de o reconstituir pelo pensamento por meio de um plano qualquer movendo-se noutra direção. Colocar essas fantasias no mesmo plano que a realidade, dizer que o movimento efetivamente gerador do bloco não é senão um qualquer dos movimentos possíveis, é negligenciar o segundo ponto que acabo de chamar à vossa atenção: no bloco *já feito*, e libertado da duração em que *se fazia*, o resultado uma vez obtido e destacado já não traz a marca expressa do trabalho pelo qual se obteve. Mil operações diversas, realizadas pelo pensamento, recomporiam-no igualmente de forma ideal, embora tenha sido composto efetivamente de uma maneira única e determinada. Quando a casa estiver construída, a nossa imaginação percorrê-la-á em todos os sentidos e reconstruí-la-á igualmente pondo primeiro o telhado, e depois pendurando-lhe um a um os andares. Quem colocaria este método no mesmo plano que o do arquiteto, e o consideraria equivalente? Olhando de perto, ver-se-ia que o método do arquiteto é o único meio efetivo de compor o todo, ou seja, de o fazer; os outros, apesar das aparências, não são senão meios de o

decompor, ou seja, em suma, de o desfazer; há, portanto, tantos quantos se queira. O que só podia ser construído numa certa ordem pode ser destruído de qualquer maneira.

---

<sup>(1)</sup> É verdade que, na concepção habitual do Tempo espacializado, nunca se é tentado a deslocar o filme numa direção do Tempo, e a imaginar uma nova repartição do contínuo a quatro dimensões em tempo e espaço: não ofereceria qualquer vantagem e daria resultados incoerentes, enquanto a operação parece impor-se na teoria da Relatividade. No entanto, a amalgama do tempo com o espaço, que damos como característica desta teoria, conceber-se-ia à força, como se vê, na teoria corrente, embora com um aspeto diferente.

## CAPÍTULO 9.5.

### Dupla ilusão a que nos expomos

Tais são os dois pontos que nunca se deverá perder de vista quando se juntar o tempo ao espaço dotando este de uma dimensão adicional. Colocámo-nos no caso mais geral; ainda não considerámos o aspeto todo especial que esta nova dimensão apresenta na teoria da Relatividade. É que os teóricos da Relatividade, todas as vezes que saíram da ciência pura para nos dar uma ideia da realidade metafísica que esta matemática traduziria, começaram por admitir implicitamente que a quarta dimensão tinha *pelo menos* os atributos das outras três, reservando-se para acrescentar algo mais. Falaram do seu Espaço-Tempo dando como adquiridos os dois pontos seguintes: 1º Todas as repartições que nele se podem fazer em espaço e tempo devem ser colocadas no mesmo plano (é verdade que estas repartições só poderão ser feitas, na hipótese da Relatividade, segundo uma lei especial, sobre a qual voltaremos daqui a pouco); 2º a nossa experiência de acontecimentos sucessivos não faz senão iluminar um a um os pontos de uma linha dada de uma só vez. Parecem não ter tido em conta que a expressão matemática do tempo, comunicando-lhe necessariamente de facto os caracteres do espaço e exigindo que a quarta dimensão, quaisquer que sejam as suas qualidades próprias, tenha primeiro as das outras três, pecará por defeito e por excesso ao mesmo tempo, como acabamos de mostrar. Quem não trouxer aqui uma dupla correção arriscará enganar-se sobre o significado filosófico da teoria da Relatividade e erigir uma representação matemática em realidade transcendente. Convencer-se-á disso ao transportar-se para certas passagens do livro já clássico de M. Eddington: «*Os acontecimentos não acontecem; estão ali, e encontramos-los no nosso caminho. A <formalidade de ter lugar> é simplesmente a indicação de que o observador, na sua viagem de exploração, passou no futuro absoluto do acontecimento em questão, e é de pouca importância*»<sup>(1)</sup>.» Lia-se já num dos primeiros trabalhos sobre a teoria da Relatividade, o de Silberstein, que M. Wells tinha previsto admiravelmente esta teoria quando fazia dizer ao seu <viajante no Tempo>: *Não há nenhuma diferença entre o Tempo e o Espaço, a não ser que ao longo do Tempo a nossa consciência se move*<sup>(2)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Eddington, *Espaço, Tempo e Gravitação*, trad. fr., p. 51.

<sup>(2)</sup> Silberstein, *The Theory of Relativity*, p. 130.

## CAPÍTULO 9.6.

### Características particulares desta representação na teoria da Relatividade

Mas devemos agora ocupar-nos do aspeto especial que a quarta dimensão assume no Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein. Aqui o invariante  $ds^2$  já não é uma soma de quatro quadrados cada um com coeficiente unitário, como seria se o tempo fosse uma dimensão semelhante às outras: o quarto quadrado, afetado pelo coeficiente  $c^2$ , deve ser subtraído da soma dos três anteriores, encontrando-se assim numa situação à parte. Pode-se, por um artifício apropriado, apagar esta singularidade da expressão matemática: ela não deixa de subsistir na coisa expressa, e

o matemático avisa-nos disso dizendo que as três primeiras dimensões são <reais> e a quarta <imaginária>. Apertemos então o mais possível este Espaço-Tempo de forma particular.

## CAPÍTULO 9.7.

### **Ilusão especial que daí pode resultar**

Mas anunciemos desde já o resultado para o qual nos encaminhamos. Assemelhar-se-á necessariamente muito ao que obtivemos ao examinar os Tempos múltiplos; aliás, não pode ser senão uma nova expressão disso. Contra o senso comum e a tradição filosófica, que se pronunciam por um Tempo único, a teoria da Relatividade parecera inicialmente afirmar a pluralidade dos Tempos. Olhando mais de perto, nunca encontramos senão um único Tempo real, o do físico que constrói a ciência: os outros são Tempos virtuais, quero dizer fictícios, atribuídos por ele a observadores virtuais, quero dizer fantasmagóricos. Cada um desses observadores-fantasma, animando-se subitamente, instalarse-ia na duração real do antigo observador real, tornado fantasma por sua vez. De modo que a concepção habitual do Tempo real subsiste simplesmente, com, além disso, uma construção do espírito destinada a figurar que, aplicando as fórmulas de Lorentz, a expressão matemática dos factos eletromagnéticos permanece a mesma para o observador suposto imóvel e para o observador que se atribui qualquer movimento uniforme. Ora, o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein não representa outra coisa. Se entendermos por Espaço-Tempo a quatro dimensões um meio real onde evoluem seres e objetos reais, o Espaço-Tempo da teoria da Relatividade é o de toda a gente, pois todos nós esboçamos o gesto de colocar um Espaço-Tempo a quatro dimensões, logo que espacializamos o tempo, e não podemos medir o tempo, nem sequer falar dele sem o espacializar<sup>(1)</sup>. Mas, neste Espaço-Tempo, o Tempo e o Espaço permaneceriam distintos: nem o Espaço poderia despejar tempo, nem o Tempo retroceder espaço. Se mordem um no outro, e em proporções variáveis consoante a velocidade do sistema (é o que fazem no Espaço-Tempo de Einstein), então já não se trata senão de um Espaço-Tempo virtual, o de um físico imaginado como experimentando e não mais do físico que experimenta. Pois este último Espaço-Tempo está em repouso, e num Espaço-Tempo que está em repouso o Tempo e o Espaço permanecem distintos um do outro; só se entrelaçam, como veremos, na mistura operada pelo movimento do sistema; mas o sistema só está em movimento se o físico que nele se encontra o abandonar. Ora, ele não pode abandoná-lo sem se instalar noutro sistema: este, que está então em repouso, terá um Espaço e um Tempo nitidamente distintos como os nossos. De modo que um Espaço que ingere Tempo, um Tempo que por sua vez absorve Espaço, são um Tempo ou um Espaço sempre virtuais e simplesmente postos, nunca atuais e realizados. É verdade que a concepção deste Espaço-Tempo atuará então na percepção do Espaço e do Tempo atuais. Através do Tempo e do Espaço que sempre conhecemos distintos, e por isso mesmo amorfos, apercebemo-nos, como por transparência, de um organismo de Espaço-Tempo articulado. A notação matemática destas articulações, efetuada sobre o virtual e levada ao seu mais alto grau de generalidade, dar-nos-á sobre o real uma tomada inesperada. Teremos nas mãos um meio de investigação poderoso, um princípio de pesquisa de que se pode prever, desde já, que o espírito humano não renunciará a ele, mesmo que a experiência impusesse uma nova forma à teoria da Relatividade.

---

<sup>(1)</sup> Isto é o que exprimíamos sob outra forma (p. 76 e segs.) quando dizíamos que a ciência não tem meio algum de distinguir entre o tempo que se desenrola e o tempo desenrolado. Ela espacializa-o pelo simples facto de o medir.

## CAPÍTULO 9.8.

### **O que representa realmente a amalgama Espaço-Tempo**

Para mostrar como o Tempo e o Espaço só começam a entrelaçar-se no momento em que se tornam ambos fictícios, voltemos ao nosso sistema  $S'$  e ao nosso observador que, colocado efectivamente em  $S'$ , se transporta pelo pensamento para outro sistema  $S$ , o imobiliza e supõe então  $S'$  animado de todas as velocidades possíveis. Queremos saber o que significa mais especificamente, na teoria da Relatividade, o entrelaçamento do Espaço com o Tempo considerado como uma dimensão adicional. Não mudaremos nada ao resultado, e simplificaremos a nossa exposição, supondo que o espaço dos sistemas  $S$  e  $S'$  se reduz a uma única dimensão, a uma linha recta, e que o observador em  $S'$ , tendo uma forma vermicular, habita uma porção dessa linha. No fundo, não fazemos senão recolocar-nos nas condições em que nos colocámos há pouco (p. 190). Dizíamos que o nosso observador, enquanto mantém o seu pensamento em  $S'$  onde está, constata pura e simplesmente a persistência do comprimento  $A'B'$  designado por  $l$ . Mas, assim que o seu pensamento se transporta para  $S$ , esquece a invariabilidade constatada e concreta do comprimento  $A'B'$  ou do seu quadrado  $l^2$ ; ele já não o representa senão sob uma forma abstracta como a invariância de uma diferença entre dois quadrados  $L^2$  e  $c^2 T^2$ , que seriam os únicos dados (chamando  $L$  ao espaço alongado  $\frac{l}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ , e  $T$  ao intervalo de tempo  $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{lv}{c^2}$ , que veio intercalar-se entre os dois acontecimentos  $A'$  e  $B'$  percebidos no interior do sistema  $S'$  como simultâneos). Nós, que conhecemos Espaços com mais de uma dimensão, não temos dificuldade em traduzir geometricamente a diferença entre estas duas concepções; pois no Espaço a duas dimensões que nos rodeia a linha  $A'B'$  não temos mais do que elevar sobre ela a perpendicular  $B'C'$  igual a  $cT$ , e notamos imediatamente que o observador real em  $S'$  percebe realmente como invariável o lado  $A'B'$  do triângulo rectângulo, enquanto o observador fictício em  $S$  não percebe (ou antes, não concebe) directamente senão o outro lado  $B'C'$  e a hipotenusa  $A'C'$  deste triângulo: a linha  $A'B'$  já não seria para ele senão um traçado mental pelo qual completa o triângulo, uma expressão figurada de  $\sqrt{A'C'^2 - B'C'^2}$ . Agora, suponhamos que uma varinha mágica coloca o nosso observador, real em  $S'$  e fictício em  $S$ , nas condições em que nós próprios estamos, e lhe faça perceber ou conceber um Espaço com mais de uma dimensão. Enquanto observador real em  $S'$ , ele verá a linha recta  $A'B'$ : é o real. Enquanto físico fictício em  $S$ , ele verá ou conceberá a linha quebrada  $A'C'B'$ : não é senão o virtual; é a linha recta  $A'B'$  a aparecer, alongada e desdobrada, no espelho do movimento. Ora, a linha recta  $A'B'$  é Espaço. Mas a linha quebrada  $A'C'B'$  é Espaço e Tempo; e assim seria com uma infinidade de outras linhas quebradas  $A'D'B'$ ,  $A'E'B'$  ... etc., correspondendo a velocidades diferentes do sistema  $S'$ , enquanto a recta  $A'B'$  permanece Espaço. Estas linhas quebradas de Espaço-Tempo, simplesmente virtuais, saem da linha recta do Espaço pelo simples facto do movimento que o espírito imprime ao sistema. Elas estão todas sujeitas a esta lei que o quadrado da sua parte Espaço, diminuído do quadrado da sua parte Tempo (convencionou-se tomar por unidade de tempo a velocidade da luz) dá um resto igual ao quadrado invariável da linha recta  $A'B'$ , esta última linha de puro Espaço, mas real. Assim, vemos exactamente a relação do amálgama Espaço-Tempo com o Espaço e o Tempo distintos, que se tinha sempre deixado aqui lado a lado mesmo quando se fazia do Tempo, ao espacializá-lo, uma dimensão adicional do Espaço. Esta relação torna-se perfeitamente marcante no caso particular que escolhemos de propósito, aquele em que a linha  $A'B'$ , percebida por um observador colocado em  $S'$ , une um ao outro dois acontecimentos  $A'$  e  $B'$  dados neste sistema como simultâneos. Aqui, Tempo e Espaço estão tão bem distintos que o Tempo se eclipsa, deixando apenas Espaço: um espaço  $A'B'$ , eis tudo o que é constatado, eis o real. Mas esta realidade pode ser reconstituída virtualmente por um amálgama de Espaço virtual e Tempo virtual, este Espaço e este Tempo alongando-se à medida que cresce a velocidade virtual impressa ao sistema pelo observador que

dele se desliga idealmente. Obtemos assim uma infinidade de amálgamas de Espaço e Tempo simplesmente pensados, todos equivalentes ao Espaço puro e simples, percebido e real.

Mas a essência da teoria da Relatividade é colocar no mesmo plano a visão real e as visões virtuais. O real não seria senão um caso particular do virtual. Entre a percepção da linha recta  $A'B'$  no interior do sistema  $S'$ , e a concepção da linha quebrada  $A'C'B'$  quando se supõe no interior do sistema  $S$ , não haveria uma diferença de natureza. A linha recta  $A'B'$  seria uma linha quebrada como  $A'C'B'$  com um segmento como  $C'B'$  nulo, o valor zero afectado aqui por  $c^2 T^2$  sendo um valor como os outros. Matemático e físico têm certamente o direito de se exprimir assim. Mas o filósofo, que deve distinguir o real do simbólico, falará de outro modo. Contentar-se-á de descrever o que acaba de se passar. Há um comprimento percebido, real,  $A'B'$ . E se se convém em não se dar senão a ele, tomando  $A'B'$  e  $B'$  como instantâneos e simultâneos, há simplesmente, por hipótese, este comprimento de Espaço *mais* um nada de Tempo. Mas um movimento impresso pelo pensamento ao sistema faz que o Espaço primitivamente considerado pareça inchar de Tempo:  $l^2$  tornar-se-á  $L^2$ , ou seja,  $l^2 + c^2 T^2$ . Será então necessário que o novo espaço desinche do tempo, que  $L^2$  seja diminuído de  $c^2 T^2$ , para se reencontrar  $l^2$ .

Assim, somos reconduzidos às nossas conclusões anteriores. Mostravam-nos que dois acontecimentos, simultâneos para a personagem que os observa no interior do seu sistema, seriam sucessivos para aquele que se representasse, do exterior, o sistema em movimento. Nós concordávamos, mas fazíamos notar que o intervalo entre os dois acontecimentos tornados sucessivos teria a beleza de se chamar tempo, mas não poderia conter nenhum acontecimento: é, dizíamos, um *<nada dilatado>*<sup>(1)</sup>. Aqui assistimos à dilatação. Para o observador em  $S'$ , a distância entre  $A'$  e  $B'$  era um comprimento de espaço  $l$  acrescido de um zero de tempo. Quando a realidade  $l^2$  se torna a virtualidade  $L^2$ , o zero de tempo real desabrocha num tempo virtual  $c^2 T^2$ . Mas este intervalo de tempo virtual não é senão o nada de tempo primitivo, produzindo não sei que efeito de óptica no espelho do movimento. O pensamento não poderia ali alojar um acontecimento, por mais curto que fosse, tal como não se empurraria um móvel para a sala vislumbrada no fundo de um espelho.

<sup>(1)</sup> Ver acima, página 154.

Mas considerámos um caso particular, aquele em que os eventos em  $A'$  e  $B'$  são percebidos, no interior do sistema  $S'$ , como simultâneos. Pareceu-nos que esta era a melhor maneira de analisar a operação pela qual o Espaço se adiciona ao Tempo e o Tempo ao Espaço na teoria da Relatividade. Consideremos agora o caso mais geral em que os eventos  $A'$  e  $B'$  ocorrem em momentos diferentes para o observador em  $S'$ . Voltamos à nossa primeira notação: chamaremos  $t'_1$  ao tempo do evento  $A'$  e  $t'_2$  ao do evento  $B'$ ; designaremos por  $x'_2 - x'_1$  a distância de  $A'$  a  $B'$  no Espaço, sendo  $x'_1$  e  $x'_2$  as distâncias respectivas de  $A'$  e de  $B'$  a um ponto de origem  $O'$ . Para simplificar, supomos ainda o Espaço reduzido a uma única dimensão. Mas perguntaremos desta vez como é que o observador interior a  $S'$ , constatando neste sistema tanto a constância do comprimento espacial  $x'_2 - x'_1$  como a do comprimento temporal  $t'_2 - t'_1$  para todas as velocidades que se poderiam supor animando o sistema, representaria essa constância ao colocar-se pelo pensamento

num sistema imóvel  $S$ . Sabemos<sup>(1)</sup> que  $(x'_2 - x'_1)^2$  deveria para isso ter-se dilatado em

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} [(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)]^2$$

, quantidade que excede  $(x'_2 - x'_1)^2$  em

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left[ \frac{v^2}{c^2} (x_2' - x_1')^2 + v^2 (t_2' - t_1')^2 + 2v(x_2' - x_1')(t_2' - t_1') \right]$$

Aqui, mais uma vez, um tempo, como se vê, teria vindo inflar um espaço.

Mas, por sua vez, um espaço sobrepôs-se a um tempo, pois o que era primitivamente  $(t_2' - t_1')^2$  tornou-se<sup>(2)</sup>

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left[ (t_2' - t_1') + \frac{v(x_2' - x_1')}{c^2} \right]^2$$

, quantidade que excede  $(t_2' - t_1')^2$  em

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left[ \frac{v^2}{c^2} (x_2' - x_1')^2 + \frac{v^2}{c^2} (t_2' - t_1')^2 + \frac{2v}{c^2} (x_2' - x_1')(t_2' - t_1') \right]$$

<sup>(1)</sup> Ver p. 193

<sup>(2)</sup> Ver p. 194

De modo que o quadrado do tempo aumentou de uma quantidade que, multiplicada por  $c^2$ , daria o aumento do quadrado do espaço. Vemos assim constituir-se diante dos nossos olhos, o espaço a recolher tempo e o tempo a recolher espaço, a invariância da diferença  $(x_2 - x_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2$  para todas as velocidades atribuídas ao sistema.

Mas esta amálgama de Espaço e Tempo só começa a produzir-se, para o observador em  $S'$ , no momento preciso em que o seu pensamento põe o sistema em movimento. E a amálgama só existe no seu pensamento. O que é real, ou seja, observado ou observável, é o Espaço e o Tempo distintos com que ele lida no seu sistema. Ele pode associá-los num contínuo de quatro dimensões: é o que todos fazemos, mais ou menos confusamente, quando espacializamos o tempo, e espacializamo-lo logo que o medimos. Mas o Espaço e o Tempo permanecem então separadamente invariantes. Só se amalgamarão ou, mais precisamente, a invariância só será transferida para a diferença  $(x_2 - x_1)^2 - c^2 (t_2 - t_1)^2$  para os nossos observadores fantásticos. O observador real deixa fazer, pois está tranquilo: como cada um dos seus dois termos  $x_2 - x_1$  e  $t_2 - t_1$ , comprimento espacial e intervalo de tempo, é invariável, qualquer que seja o ponto de onde os considere no interior do seu sistema, ele abandona-os ao observador fantástico para que este os faça entrar como quiser na expressão do seu invariante; antecipadamente, ele adopta esta expressão, antecipadamente sabe que ela convirá ao seu sistema tal como ele próprio o encara, pois uma relação entre termos constantes é necessariamente constante. E ele ganhará muito com isso, pois a expressão que lhe é trazida é a de uma nova verdade física: ela indica como a <transmissão> da luz se comporta face à <translação> dos corpos.

Mas ela informa-o sobre a relação desta transmissão com esta translação, não lhe diz nada de novo sobre o Espaço e o Tempo: estes permanecem o que eram, distintos um do outro, incapazes de se misturarem de outra forma senão pelo efeito de uma ficção matemática destinada a simbolizar uma verdade física. Pois este Espaço e este Tempo que se interpenetram não são o Espaço e o Tempo de nenhum físico real ou concebido como tal. O físico real faz as suas medições no sistema onde se encontra, e que imobiliza ao adoptá-lo como sistema de referência: o Tempo e o Espaço aí permanecem distintos, impenetráveis um pelo outro. O Espaço e o Tempo só se penetram nos sistemas em movimento onde o físico real não está, onde só habitam físicos por ele imaginados — imaginados para o maior bem da ciência. Mas estes físicos não são imaginados como reais ou como podendo sê-lo: supor que são reais, atribuir-lhes uma consciência, seria erigir o seu sistema em sistema de referência, transportar-se para lá e confundir-se com eles, de qualquer forma declarar que o seu Tempo e o seu Espaço deixaram de se compenetrar.

Assim, voltamos por um longo desvio ao nosso ponto de partida. Do Espaço convertível em Tempo e do Tempo reconvertível em Espaço, repetimos simplesmente o que tínhamos dito sobre a pluralidade dos Tempos, sobre a sucessão e a simultaneidade tidas por permutáveis. E é perfeitamente natural, pois trata-se da mesma coisa em ambos os casos. A invariância da expressão  $dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$  resulta imediatamente das equações de Lorentz. E o Espaço-Tempo de Minkowski e de Einstein não faz mais do que simbolizar esta invariância, tal como a hipótese de Tempos múltiplos e de simultaneidades convertíveis em sucessões não faz mais do que traduzir essas equações.

## CAPÍTULO 10.

# Observação Final

Chegámos ao termo do nosso estudo. Ele devia incidir sobre o Tempo e sobre os paradoxes, relativos ao Tempo, que se associam habitualmente à teoria da Relatividade. Limitar-nos-emos, portanto, à Relatividade restrita. Ficaremos por isso no abstracto? De modo nenhum, e não teríamos nada de essencial a acrescentar sobre o Tempo se introduzíssemos na realidade simplificada de que nos ocupámos até aqui um campo de gravitação. Com efeito, segundo a teoria da Relatividade generalizada, já não se pode, num campo de gravitação, definir a sincronização dos relógios nem afirmar que a velocidade da luz seja constante. Por conseguinte, em rigor, a definição óptica do tempo esvanece-se. Logo que se queira então dar um sentido à coordenada *tempo*, colocar-se-á necessariamente nas condições da Relatividade restrita, indo, se necessário, buscá-las ao infinito.

A cada instante, um universo de Relatividade restrita é tangente ao Universo da Relatividade generalizada. Por outro lado, nunca se tem de considerar velocidades comparáveis à da luz, nem campos de gravitação que sejam intensos em proporção. Pode-se portanto, em geral, com uma aproximação suficiente, tomar a noção do Tempo da Relatividade restrita e conservá-la tal como está. Neste sentido, o Tempo pertence à Relatividade restrita, tal como o Espaço pertence à Relatividade generalizada.

Contudo, o Tempo da Relatividade Restrita e o Espaço da Relatividade Generalizada não têm o mesmo grau de realidade. Um estudo aprofundado deste ponto seria singularmente instrutivo para o filósofo. Ele confirmaria a distinção radical de natureza que outrora estabelecemos entre o Tempo real e o Espaço puro, indevidamente considerados análogos pela filosofia tradicional. E talvez não fosse sem interesse para o físico. Ele revelaria que a teoria da Relatividade Restrita e a da Relatividade Generalizada não são animadas exatamente pelo mesmo espírito e não têm exatamente o mesmo significado. A primeira, aliás, resultou de um esforço coletivo, enquanto a segunda reflete o génio próprio de Einstein. Aquela traz-nos sobretudo uma nova fórmula para resultados já adquiridos; ela é, no sentido próprio do termo, uma teoria, um modo de representação. Esta é essencialmente um método de investigação, um instrumento de descoberta. Mas não temos de instituir uma comparação entre elas. Digamos apenas duas palavras sobre a diferença entre o Tempo de uma e o Espaço da outra. Será retomar uma ideia muitas vezes expressa ao longo do presente ensaio.

Quando o físico da Relatividade Generalizada determina a estrutura do Espaço, fala de um Espaço onde está efetivamente colocado. Tudo o que afirma, verificá-lo-ia com instrumentos de medição apropriados. A porção de Espaço cuja curvatura define pode estar tão distante quanto se queira: teoricamente transportar-se-ia para lá, teoricamente far-nos-ia assistir à verificação da sua fórmula. Em suma, o Espaço da Relatividade Generalizada apresenta particularidades que não são

simplesmente concebidas, mas que seriam igualmente perceptíveis. Elas dizem respeito ao sistema onde habita o físico.

Mas as particularidades do tempo e nomeadamente a pluralidade dos Tempos, na teoria da Relatividade Restrita, não escapam apenas de facto à observação do físico que as postula: são inverificáveis em princípio. Enquanto o Espaço da Relatividade Generalizada é um Espaço onde se está, os Tempos da Relatividade Restrita são definidos de modo a serem todos, exceto um único, Tempos onde não se está. Não se poderia lá estar, pois leva-se consigo, para onde quer que se vá, um Tempo que afasta os outros, como a clareira ligada ao caminhante faz recuar a cada passo o nevoeiro. Nem sequer se concebe estar lá, pois transportar-se pelo pensamento para um dos Tempos dilatados seria adotar o sistema a que ele pertence, torná-lo seu sistema de referência: imediatamente esse Tempo contrair-se-ia e voltaria a ser o Tempo que se vive no interior de um sistema, o Tempo que não temos nenhuma razão para não crer ser o mesmo em todos os sistemas.

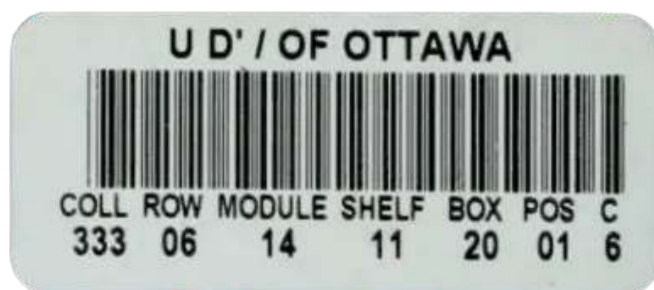
Os Tempos dilatados e deslocados são portanto Tempos auxiliares, intercalados pelo pensamento do físico entre o ponto de partida do cálculo, que é o Tempo real, e o ponto de chegada, que é ainda esse mesmo Tempo real. Neste último, tomaram-se as medidas sobre as quais se opera; a este aplicam-se os resultados da operação. Os outros são intermediários entre o enunciado e a solução do problema.

O físico coloca-os todos no mesmo plano, chama-lhes pelo mesmo nome, trata-os da mesma maneira. E tem razão. Todos são de facto medidas de Tempo; e como a medida de uma coisa é, aos olhos da física, essa própria coisa, todos devem ser para o físico Tempo. Mas num só deles — pensamos tê-lo demonstrado — há sucessão. Um só deles dura, conseqüentemente; os outros não duram. Enquanto esse é um tempo apoiado sem dúvida no comprimento que o mede, mas distinto dele, os outros não são mais do que comprimentos. Mais precisamente, aquele é simultaneamente um Tempo e uma <linha de luz>; os outros não são mais do que linhas de luz. Mas como estas últimas linhas nascem de um alongamento da primeira, e como a primeira estava colada contra o Tempo, dir-se-á delas que são Tempos alongados. Daí todos os Tempos, em número indefinido, da Relatividade Restrita. A sua pluralidade, longe de excluir a unidade do Tempo real, pressupõe-na.

O paradoxo começa quando se afirma que todos estes Tempos são realidades, isto é, coisas que se percebem ou se poderiam perceber, que se vivem ou se poderiam viver. Implicitamente admitira-se o contrário para todos — exceto um — quando se identificara o Tempo com a linha de luz. Tal é a contradição que o nosso espírito pressente, quando não a percebe claramente. Aliás, não é atribuível a nenhum físico enquanto físico: só surgirá numa física que se erigisse em metafísica. A esta contradição o nosso espírito não se pode conformar. Teve-se o erro de atribuir a sua resistência a um preconceito do senso comum. Os preconceitos esvanecem-se ou pelo menos enfraquecem-se com a reflexão. Mas, no caso presente, a reflexão fortifica a nossa convicção e acaba mesmo por a tornar inabalável, porque nos revela nos Tempos da Relatividade Restrita — exceto um deles — Tempos sem duração, onde os acontecimentos não poderiam suceder-se, nem as coisas subsistir, nem os seres envelhecer.

O envelhecimento e a duração pertencem à ordem da qualidade. Nenhum esforço de análise os resolverá em quantidade pura. A coisa permanece aqui distinta da sua medida, que aliás incide sobre um Espaço representativo do Tempo mais do que sobre o próprio Tempo. Mas o mesmo não se passa com o Espaço. A sua medida esgota a sua essência. Desta vez as particularidades descobertas e definidas pela física pertencem à coisa e não mais a uma perspectiva do espírito sobre ela. Digamos melhor: elas são a própria realidade; a coisa é desta vez *relação*. Descartes reduzia a matéria — considerada no instante — à extensão: a física, aos seus olhos, atingia o real na medida em que era geométrica. Um estudo da Relatividade Generalizada, paralelo ao que fizemos da Relatividade Restrita, mostraria que a redução da gravitação à inércia foi precisamente uma eliminação dos conceitos feitos que, interpondo-se entre o físico e o seu objeto, entre o espírito e as

relações constitutivas da coisa, impediam aqui a física de ser geometria. Deste lado, Einstein é o continuador de Descartes.



Com agradecimentos ao  Archive.org e à Universidade de Ottawa,  Canadá por disponibilizar na internet uma cópia física da primeira edição. Visitem o seu departamento de filosofia em [uottawa.ca/faculty-arts/philosophy](http://uottawa.ca/faculty-arts/philosophy)



# CosmicPhilosophy.org

<https://pt.cosmicphilosophy.org/>

*Impresso em 22 de novembro de 2025*

Os nossos outros projetos:

- ▶ [GMODebate.org](https://gmodebate.org/): Um projeto que investiga os fundamentos filosóficos da eugenia, do cientismo, do movimento de "emancipação da ciência da filosofia", da narrativa "anti-ciência" e das formas modernas de inquisição científica.