

Henri Poincaré

Cientista e Matemático Universalista

Marcelo Viana

IMPA - Rio de Janeiro

Bienal de Matemática 2012

Outline

- 1 Quem é Poincaré?
- 2 Sistemas Dinâmicos
- 3 Mecânica Celeste
- 4 Muito mais Ciência
- 5 Para saber mais

Jules-Henri Poincaré (1854-1912)



*“La pensée n’est qu’un éclair au milieu d’une longue nuit.
Mais c’est cet éclair qui est tout.”*

Henri Poincaré

Henri Poincaré

- Contribui para a maioria das disciplinas da Matemática e cria novas disciplinas: Teoria das Funções Automorfas, Topologia Algébrica, **Sistemas Dinâmicos**.
- Abre o caminho para a Teoria das Funções de Várias Variáveis Complexas e para a Análise Assintótica.
- Revoluciona a Mecânica Celeste, descobrindo o 'caos'. Encontra novos equilíbrio dos astros e propõe um novo mecanismo para a formação das estrelas duplas.
- É um dos fundadores da Teoria da Relatividade Restrita, de cujas consequências para o movimento dos planetas se apercebe.

Henri Poincaré

- Influencia o desenvolvimento da Física do seu tempo, participando ativamente nos grandes debates, propondo explicações e sugerindo novos experimentos.
- É professor excepcional. Ensina (na Sorbonne, na École Polytechnique etc) temas muito variados na vanguarda da Matemática e da Física.
- Seus cursos são quase sempre redigidos e publicados, contribuindo para aprimorar e divulgar as novas teorias de Boltzmann, Maxwell, Lorentz e outros.
- Atua frequentemente como perito científico do governo e da justiça (por exemplo, no famoso processo Dreyfus).

Henri Poincaré

- Participa ativamente nos grandes debates filosóficos do seu tempo. Publica obras de Filosofia da Ciência que alcançam grande popularidade entre o grande público.
- É excepcional divulgador da Ciência.



Henri Poincaré

- Nasce em Nancy em 29 de abril de 1854. Seu pai é decano da Faculdade de Medicina.
- Em 1860 nasce seu primo Raymond Poincaré, que será Primeiro Ministro e Presidente da República da França.
- Primeiro colocado no vestibular da École Polytechnique, em 1873, e da École des Mines, em 1875. Termina a graduação em 1876.
- Em 1879 trabalha como Engenheiro de Minas, obtém o doutorado em Matemática pela Universidade de Paris e torna-se professor na Universidade de Caen.

Henri Poincaré

- Casa em 1881 com Louise Poulain d'Andecy. O casal terá quatro filhos: Jeanne, Yvonne, Henriette e Léon.
- Professor na Sorbonne, ensina Mecânica, Física Matemática, Cálculo das Probabilidades, Astronomia Matemática e Mecânica Celeste.
- Desde 1883 também é professor na École Polytechnique. Ensina Análise e, mais tarde, Astronomia Geral.
- A partir de 1902 ensina Eletricidade Teórica na École Professionnelle Supérieure des Postes et Telegraphes. Resolve a famosa 'equação dos telegrafistas'.

Henri Poincaré

- Eleito membro da Academia das Ciências em 1887 e do Bureau des Longitudes em 1893. Nomeado Engenheiro Chefe de Minas.
- Presidente da Sociedade Francesa de Matemática em 1886 e 1900 da Sociedade Francesa de Física em 1902. Presidente do Bureau des Longitudes, três vezes.
- Juntamente com Émile Zola, Anatole France, George Clemenceau e outros intelectuais franceses, defende publicamente o capitão Alfred Dreyfus.
- Morre em Paris em 17 de julho de 1912. Em 1928 é criado o Institut Henri Poincaré, em Paris. A Universidade de Nancy 1 passa a ter o seu nome em 1994.

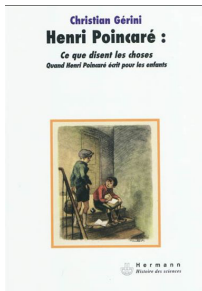
Henri Poincaré

Œuvres Scientifiques (Gauthier-Villars), 10 volumes:

- 1 Equações diferenciais
- 2 Funções automorfias
- 3 Integração algébrica de equações diferenciais
- 4 Funções analíticas de uma ou mais variáveis
- 5 Aritmética
- 6 Geometria algébrica, topologia algébrica
- 7 Mecânica analítica, mecânica celeste
- 8 Mecânica celeste e geodesia
- 9 Física matemática, física teórica
- 10 Física matemática, física teórica

Henri Poincaré

A bibliografia de Henri Poincaré listada por Felix Browder em *The mathematical heritage of Poincaré*, vol II contém 547 trabalhos, entre livros, artigos, notas de cursos, coletâneas, discursos, apresentações etc.



Equações diferenciais

$$\frac{dX}{dt} = F(X), \quad X \in \mathbb{R}^d$$

Antes de Poincaré, a teoria das equações diferenciais se resume a:

- ‘receitas’ avulsas para resolver analiticamente certas equações e
- rudimentos de teoria local: comportamento das soluções perto de um ponto estacionário.

Poincaré dá importantes contribuições à teoria local na sua tese de doutorado, realizada sob a orientação de Hermite. Esse trabalho dará origem à Análise Assintótica.

Equações diferenciais

$$\frac{dX}{dt} = F(X), \quad X \in \mathbb{R}^d$$

Antes de Poincaré, a teoria das equações diferenciais se resume a:

- 'receitas' avulsas para resolver analiticamente certas equações e
- rudimentos de teoria local: comportamento das soluções perto de um ponto estacionário.

Poincaré dá importantes contribuições à teoria local na sua tese de doutorado, realizada sob a orientação de Hermite. Esse trabalho dará origem à Análise Assintótica.

Equações diferenciais

Mas a grande maioria das equações diferenciais não pode ser resolvida analiticamente... E Poincaré compreende que

- o grande objetivo deve ser o estudo do comportamento **global** das soluções;
- a expressão explícita de uma dada solução (supondo que seja possível encontrá-la) provavelmente não terá muita utilidade para esse fim.

Por isso, ele defende que mais importante do que 'resolver' uma equação é descrever **qualitativamente** o comportamento das suas soluções.

Em *Mémoire sur les courbes définies par une équation différentielle* (1881) ele fornece diversas ferramentas para tal.

Equações diferenciais

Mas a grande maioria das equações diferenciais não pode ser resolvida analiticamente... E Poincaré compreende que

- o grande objetivo deve ser o estudo do comportamento **global** das soluções;
- a expressão explícita de uma dada solução (supondo que seja possível encontrá-la) provavelmente não terá muita utilidade para esse fim.

Por isso, ele defende que mais importante do que 'resolver' uma equação é descrever **qualitativamente** o comportamento das suas soluções.

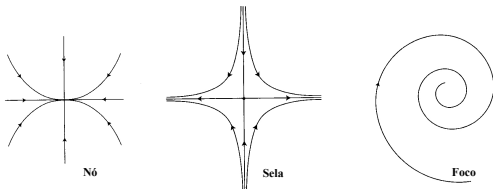
Em *Mémoire sur les courbes définies par une équation différentielle* (1881) ele fornece diversas ferramentas para tal.

Teorema de Poincaré-Hopf

Equações diferenciais polinomiais no plano (ou na esfera)

$$\left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) = (P(x, y), Q(x, y))$$

têm 3 tipos genéricos de pontos estacionários:



Teorema

$N - S + F = 2$, quaisquer que sejam $P(x, y)$ e $Q(x, y)$.

Teorema de Poincaré-Hopf

Esse teorema será generalizado por Einz Hopf em 1926, para todo campo de vetores diferenciável numa variedade compacta.



Antes disso, Poincaré generaliza a fórmula de Euler para variedades de qualquer dimensão (via números de Betti).

Estabilidade do Sistema Solar

Newton prova que, **se ignorarmos a interação gravitacional entre os planetas**, a Lei de Gravitação implica que os planetas se movem em órbitas elípticas com o Sol num dos focos, tal como proposto por Kepler.

Laplace, Leverrier, Adams e outros grandes astrônomos obtêm soluções cada mais precisas, incorporando sucessivamente as interações entre os maiores planetas (Júpiter, Saturno, Urano). Assim é descoberto Netuno, por Johann Galle.

Isto conduz a tentar obter as soluções do problema na forma de expansão em séries trigonométricas ('séries de Lindstedt'). É tomado como fato que estas séries convergem.

Estabilidade do Sistema Solar

Newton prova que, **se ignorarmos a interação gravitacional entre os planetas**, a Lei de Gravitação implica que os planetas se movem em órbitas elípticas com o Sol num dos focos, tal como proposto por Kepler.

Laplace, Leverrier, Adams e outros grandes astrônomos obtêm soluções cada mais precisas, incorporando sucessivamente as interações entre os maiores planetas (Júpiter, Saturno, Urano). Assim é descoberto Netuno, por Johann Galle.

Isto conduz a tentar obter as soluções do problema na forma de expansão em séries trigonométricas ('séries de Lindstedt'). É tomado como fato que estas séries convergem.

Estabilidade do Sistema Solar

Newton prova que, **se ignorarmos a interação gravitacional entre os planetas**, a Lei de Gravitação implica que os planetas se movem em órbitas elípticas com o Sol num dos focos, tal como proposto por Kepler.

Laplace, Leverrier, Adams e outros grandes astrônomos obtêm soluções cada mais precisas, incorporando sucessivamente as interações entre os maiores planetas (Júpiter, Saturno, Urano). Assim é descoberto Netuno, por Johann Galle.

Isto conduz a tentar obter as soluções do problema na forma de expansão em séries trigonométricas ('séries de Lindstedt'). É tomado como fato que estas séries convergem.

Estabilidade do Sistema Solar

Problema

O Sistema Solar é estável?

Newton achava que não: ele acreditava que o funcionamento do Sistema Solar requer intervenção regular de Deus.

Na época de Poincaré esse problema está ligado à questão da convergência das séries de Linstedt. Ele viria a se estender ao longo do século 20 e as respostas ainda são parciais:

- teoria de Kolmogorov, Arnold, Moser (1954-1962)
- simulações numéricas de Jacques Laskar (1990).

Estabilidade do Sistema Solar

Problema

O Sistema Solar é estável?

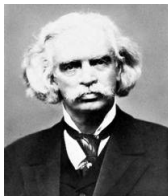
Newton achava que não: ele acreditava que o funcionamento do Sistema Solar requer intervenção regular de Deus.

Na época de Poincaré esse problema está ligado à questão da convergência das séries de Linstedt. Ele viria a se estender ao longo do século 20 e as respostas ainda são parciais:

- teoria de Kolmogorov, Arnold, Moser (1954-1962)
- simulações numéricas de Jacques Laskar (1990).

Prêmio do Rei Oskar II

Em 1885, o rei Oskar II da Suécia e Noruega anuncia um prêmio para 'uma descoberta importante no domínio da análise matemática superior'. A entrega será em 21 de abril de 1889, aniversário de 60 anos do rei.



Por trás da proposta está o matemático sueco Magnus Gösta Mittag-Leffler, que preside o júri. Os outros membros do júri são Karl Weierstrass e Charles Hermite.

Prêmio do Rei Oskar II

O júri seleciona quatro temas. Instado a participar, Poincaré escolhe o *estudo do comportamento de um sistema formado por um número qualquer de corpos que se atraem mutuamente segundo a lei de Newton*, incluindo o problema da estabilidade do Sistema Solar.

Mesmo sem resolver o problema (de fato, ele 'só' trata algumas questões do chamado *problema restrito dos três corpos*), o trabalho de Poincaré ganha facilmente o prêmio de Kr\$ 2.500.

O artigo com os seus resultados, intitulado *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* será publicado na revista *Acta Mathematica*, dirigida por Mittag-Leffler.

Prêmio do Rei Oskar II

O júri seleciona quatro temas. Instado a participar, Poincaré escolhe o *estudo do comportamento de um sistema formado por um número qualquer de corpos que se atraem mutuamente segundo a lei de Newton*, incluindo o problema da estabilidade do Sistema Solar.

Mesmo sem resolver o problema (de fato, ele 'só' trata algumas questões do chamado *problema restrito dos três corpos*), o trabalho de Poincaré ganha facilmente o prêmio de Kr\$ 2.500.

O artigo com os seus resultados, intitulado *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* será publicado na revista *Acta Mathematica*, dirigida por Mittag-Leffler.

Prêmio do Rei Oskar II

O júri seleciona quatro temas. Instado a participar, Poincaré escolhe o *estudo do comportamento de um sistema formado por um número qualquer de corpos que se atraem mutuamente segundo a lei de Newton*, incluindo o problema da estabilidade do Sistema Solar.

Mesmo sem resolver o problema (de fato, ele 'só' trata algumas questões do chamado *problema restrito dos três corpos*), o trabalho de Poincaré ganha facilmente o prêmio de Kr\$ 2.500.

O artigo com os seus resultados, intitulado *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* será publicado na revista *Acta Mathematica*, dirigida por Mittag-Leffler.

O erro de Poincaré

Mas... ao final da revisão o jovem Lars Edvard Phragmén descobre um erro no artigo! Poincaré confirma que o erro é sério e que ele compromete boa parte do trabalho.

Mittag-Leffler fica muito preocupado. A sua própria reputação, que ele tanto preza, está em risco...



Para piorar a situação, Weierstrass faz questão que o erro seja mencionado no relatório final do júri.

O erro de Poincaré

Mas... ao final da revisão o jovem Lars Edvard Phragmén descobre um erro no artigo! Poincaré confirma que o erro é sério e que ele compromete boa parte do trabalho.

Mittag-Leffler fica muito preocupado. A sua própria reputação, que ele tanto preza, está em risco...



Para piorar a situação, Weierstrass faz questão que o erro seja mencionado no relatório final do júri.

O erro de Poincaré

Mittag-Leffler parte para recuperar (quase) todas as cópias da Acta Mathematica que já tinham sido distribuídas e informa Poincaré de que ele terá que pagar a reimpressão.

Sem questionar, Poincaré paga Kr\$ 3.585 (Kr\$ 1.000 mais do que o prêmio!). A edição corrigida é impressa e divulgada.

O idoso Weierstrass não encontra a ocasião para escrever o relatório final do júri e Mittag-Leffler 'esquece' de fazê-lo. Poincaré recebe enfim o prêmio.

O erro de Poincaré

Mittag-Leffler parte para recuperar (quase) todas as cópias da Acta Mathematica que já tinham sido distribuídas e informa Poincaré de que ele terá que pagar a reimpressão.

Sem questionar, Poincaré paga Kr\$ 3.585 (Kr\$ 1.000 mais do que o prêmio!). A edição corrigida é impressa e divulgada.

O idoso Weierstrass não encontra a ocasião para escrever o relatório final do júri e Mittag-Leffler 'esquece' de fazê-lo. Poincaré recebe enfim o prêmio.

O erro de Poincaré

Mittag-Leffler parte para recuperar (quase) todas as cópias da Acta Mathematica que já tinham sido distribuídas e informa Poincaré de que ele terá que pagar a reimpressão.

Sem questionar, Poincaré paga Kr\$ 3.585 (Kr\$ 1.000 mais do que o prêmio!). A edição corrigida é impressa e divulgada.

O idoso Weierstrass não encontra a ocasião para escrever o relatório final do júri e Mittag-Leffler 'esquece' de fazê-lo. Poincaré recebe enfim o prêmio.

Méthodes nouvelles

O artigo de Poincaré virá a dar origem à obra em 3 volumes *Les méthodes nouvelles de la Mécanique Céleste*, publicada entre 1892 e 1899.

Poincaré confirma que as séries de Lindstedt são **divergentes**, em geral, mas também explica que nem por isso elas deixam de ser úteis. O problema da estabilidade continua aberto.

As *Méthodes nouvelles* contêm muitos outros avanços que vão incorporar a nova disciplina de Sistemas Dinâmicos. E, ao final das contas, o erro conduz Poincaré a descobrir o fenômeno chamado *caos determinístico*.

Méthodes nouvelles

O artigo de Poincaré virá a dar origem à obra em 3 volumes *Les méthodes nouvelles de la Mécanique Céleste*, publicada entre 1892 e 1899.

Poincaré confirma que as séries de Lindstedt são **divergentes**, em geral, mas também explica que nem por isso elas deixam de ser úteis. O problema da estabilidade continua aberto.

As Méthodes nouvelles contêm muitos outros avanços que vão incorporar a nova disciplina de Sistemas Dinâmicos. E, ao final das contas, o erro conduz Poincaré a descobrir o fenômeno chamado *caos determinístico*.

Méthodes nouvelles

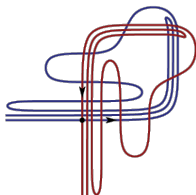
O artigo de Poincaré virá a dar origem à obra em 3 volumes *Les méthodes nouvelles de la Mécanique Céleste*, publicada entre 1892 e 1899.

Poincaré confirma que as séries de Lindstedt são **divergentes**, em geral, mas também explica que nem por isso elas deixam de ser úteis. O problema da estabilidade continua aberto.

As *Méthodes nouvelles* contêm muitos outros avanços que vão incorporar a nova disciplina de Sistemas Dinâmicos. E, ao final das contas, o erro conduz Poincaré a descobrir o fenômeno chamado *caos determinístico*.

Pontos homoclínicos

Na busca para compreender o erro no seu trabalho, Poincaré descobre o fenômeno dos **pontos homoclínicos**. Sabemos agora que ele está na origem do chamado **caos determinístico**.



“É impressionante a complexidade desta figura, que eu nem mesmo tento traçar. Nada é mais adequado para nos dar uma ideia da complicação do problema dos três corpos e, em geral, de todos os problemas de Dinâmica...”

Funções automorfas

Poincaré alcançou fama internacional em 1881-1882 com a sua teoria das funções automorfas, que ele desenvolveu para resolver certas equações diferenciais.

Uma função meromorfa φ numa superfície de Riemann S diz-se **automorfa** se

$$\varphi = \varphi \circ g$$

para todo g num grupo discreto de automorfismos de S .

Poincaré falava de *função fuchsiana* quando S é o disco e *função kleiniana* nos demais casos.

Felix Klein não gostou destas homenagens... e chamou todas de funções automorfas. Poincaré retrucou citando o grande poema *Fausto* de Goethe: *Name is Schaul und Rauch.* (Um nome não passa de ruído e fumaça.)

Funções automorfas

Poincaré alcançou fama internacional em 1881-1882 com a sua teoria das funções automorfas, que ele desenvolveu para resolver certas equações diferenciais.

Uma função meromorfa φ numa superfície de Riemann S diz-se **automorfa** se

$$\varphi = \varphi \circ g$$

para todo g num grupo discreto de automorfismos de S .

Poincaré falava de *função fuchsiana* quando S é o disco e *função kleiniana* nos demais casos.

Felix Klein não gostou destas homenagens... e chamou todas de funções automorfas. Poincaré retrucou citando o grande poema *Fausto* de Goethe: *Name is Schaul und Rauch. (Um nome não passa de ruído e fumaça.)*

Funções automorfas

Poincaré alcançou fama internacional em 1881-1882 com a sua teoria das funções automorfas, que ele desenvolveu para resolver certas equações diferenciais.

Uma função meromorfa φ numa superfície de Riemann S diz-se **automorfa** se

$$\varphi = \varphi \circ g$$

para todo g num grupo discreto de automorfismos de S .

Poincaré falava de *função fuchsiana* quando S é o disco e *função kleiniana* nos demais casos.

Felix Klein não gostou destas homenagens... e chamou todas de funções automorfas. Poincaré retrucou citando o grande poema *Fausto* de Goethe: *Name is Schaul und Rauch.* (Um nome não passa de ruído e fumaça.)

Funções automorfas

Poincaré consegue calcular todos os grupos fuchsianos e todas as funções fuchsianas. A teoria das funções automorfas também conduz ao

Teorema de Uniformização

Toda superfície de Riemann compacta conexa é isomorfa

- 1 à esfera de Riemann ou
- 2 ao quociente do plano por algum reticulado $\mathbb{Z}\omega_1 + \mathbb{Z}\omega_2$
- 3 ou ao quociente do disco por algum grupo fuchsiano.

Este resultado notável foi descoberto (sem demonstração) por Poincaré e por Klein, cerca de 1881, e foi provado por Poincaré e por Koebe, independentemente, em 1907.

Funções automorfas

Inicialmente, Poincaré acreditava que funções fuchsianas não existem:

Durante quinze dias me esforcei para demonstrar que não existiam [funções fuchsianas]. Eu era muito ignorante. Todo o dia eu me sentava à mesa de trabalho e aí passava uma hora ou duas, tentando várias combinações, e não chegava a nenhum resultado.

Mas “os matemáticos transformam café em teoremas”:

Um serão, contra o meu costume, tomei café preto e não consegui dormir. As ideias afluíam sem parar. Eu as sentia chocando entre si, até que duas delas se acomodavam, digamos assim, para formar uma combinação estável. Pela manhã, eu tinha provado a existência de uma classe de funções fuchsianas [...]. Só faltava redigir os resultados, o que tomou apenas algumas horas.

Funções automorfas

Inicialmente, Poincaré acreditava que funções fuchsianas não existem:

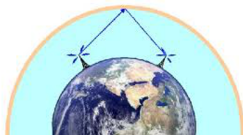
Durante quinze dias me esforcei para demonstrar que não existiam [funções fuchsianas]. Eu era muito ignorante. Todo o dia eu me sentava à mesa de trabalho e aí passava uma hora ou duas, tentando várias combinações, e não chegava a nenhum resultado.

Mas “os matemáticos transformam café em teoremas”:

Um serão, contra o meu costume, tomei café preto e não consegui dormir. As ideias afluíam sem parar. Eu as sentia chocando entre si, até que duas delas se acomodavam, digamos assim, para formar uma combinação estável. Pela manhã, eu tinha provado a existência de uma classe de funções fuchsianas [...]. Só faltava redigir os resultados, o que tomou apenas algumas horas.

Transmissão de ondas

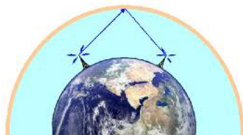
Em 12 de dezembro de 1901 Guglielmo Marconi faz a primeira transmissão de rádio através do Atlântico (mais de 2.500km). Sendo a Terra curva, como as ondas conseguiram chegar?



Poincaré ataca esse problema em 1909, mesmo ano em que Marconi ganha o Prêmio Nobel. O seu trabalho invalida a tese da propagação por difração na Terra, dando força à ideia da propagação por reflexão no oceano e na ionosfera.

Transmissão de ondas

Em 12 de dezembro de 1901 Guglielmo Marconi faz a primeira transmissão de rádio através do Atlântico (mais de 2.500km). Sendo a Terra curva, como as ondas conseguiram chegar?



Poincaré ataca esse problema em 1909, mesmo ano em que Marconi ganha o Prêmio Nobel. O seu trabalho invalida a tese da propagação por difração na Terra, dando força à ideia da propagação por reflexão no oceano e na ionosfera.

Teoria da Relatividade

Em *A Ciência e a Hipótese* (1902, três anos antes do artigo em que Einstein cria a Teoria da Relatividade Restrita), Poincaré escreve:

- 1 Não existe espaço absoluto, nós apenas concebemos movimentos relativos.
- 2 Não existe tempo absoluto; dizer que duas durações são iguais é uma afirmação que não tem qualquer sentido.
- 3 Não temos sequer como comprovar a simultaneidade de dois eventos que tenham lugar em pontos distintos.
- 4 Até a nossa geometria euclideana não é mais que uma espécie de convenção de linguagem.

Teoria da Relatividade

A contribuição de Poincaré para a **relatividade do tempo** vem de 1898 quando, motivado por sua experiência no Bureau des Longitudes, ele aponta que a ideia de *simultaneidade* (logo, de duração) de eventos longínquos não tem sentido.

Na sua palestra no St. Louis Mathematics Congress, em 1904, ele formula o **Postulado da Relatividade**:

As leis dos fenômenos físicos devem ser as mesmas para um observador fixo e para um observador em movimento de translação uniforme, de modo que não temos, nem podemos ter nenhum meio para descobrir se nós mesmos estamos ou não sujeitos a um tal movimento.

Ele insiste que este princípio vale para **todos** os fenômenos físicos, inclusive o eletromagnetismo.

Teoria da Relatividade

A contribuição de Poincaré para a **relatividade do tempo** vem de 1898 quando, motivado por sua experiência no Bureau des Longitudes, ele aponta que a ideia de *simultaneidade* (logo, de duração) de eventos longínquos não tem sentido.

Na sua palestra no St. Louis Mathematics Congress, em 1904, ele formula o **Postulado da Relatividade**:

As leis dos fenômenos físicos devem ser as mesmas para um observador fixo e para um observador em movimento de translação uniforme, de modo que não temos, nem podemos ter nenhum meio para descobrir se nós mesmos estamos ou não sujeitos a um tal movimento.

Ele insiste que este princípio vale para **todos** os fenômenos físicos, inclusive o eletromagnetismo.

Teoria da Relatividade

A contribuição de Poincaré para a **relatividade do tempo** vem de 1898 quando, motivado por sua experiência no Bureau des Longitudes, ele aponta que a ideia de *simultaneidade* (logo, de duração) de eventos longínquos não tem sentido.

Na sua palestra no St. Louis Mathematics Congress, em 1904, ele formula o **Postulado da Relatividade**:

As leis dos fenômenos físicos devem ser as mesmas para um observador fixo e para um observador em movimento de translação uniforme, de modo que não temos, nem podemos ter nenhum meio para descobrir se nós mesmos estamos ou não sujeitos a um tal movimento.

Ele insiste que este princípio vale para **todos** os fenômenos físicos, inclusive o eletromagnetismo.

Teoria da Relatividade

Poincaré ajuda a encontrar a expressão correta das famosas transformações de Lorentz:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ele insiste que tais transformações precisam formar um **grupo** e mostra que, então, as transformações acima são as únicas possíveis, num universo homogêneo e causal.

Lorentz: Poincaré, pelo contrário, obteve invariância perfeita das equações do eletromagnetismo e formulou o 'postulado da relatividade', termos que ele foi o primeiro a usar [...] Acrescentemos que, corrigindo as imperfeições do meu trabalho, ele nunca me censurou por elas.

Teoria da Relatividade

Poincaré ajuda a encontrar a expressão correta das famosas transformações de Lorentz:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ele insiste que tais transformações precisam formar um **grupo** e mostra que, então, as transformações acima são as únicas possíveis, num universo homogêneo e causal.

Lorentz: Poincaré, pelo contrário, obteve invariância perfeita das equações do eletromagnetismo e formulou o 'postulado da relatividade', termos que ele foi o primeiro a usar [...] Acrescentemos que, corrigindo as imperfeições do meu trabalho, ele nunca me censurou por elas.

Teoria da Relatividade

Estes e outros resultados aparecem em *Sur la dynamique de l'électron*, submetido aos Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris em **5 de junho de 1905**.

O famoso artigo de Albert Einstein *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* é submetido aos Annalen de Physik três semanas depois, em **30 de junho de 1905**.

Do ponto de vista prático, as teorias Poincaré e de Einstein são equivalentes. Conceitualmente, a proposta de Einstein é muito mais inovadora. Além disso, o ano de 1905 encerra a participação de Poincaré neste tema, enquanto que para o Einstein é o início de uma trajetória fantástica. Ainda assim, é claro que a contribuição de Poincaré à Relatividade está longe de ser reconhecida como merece.

Teoria da Relatividade

Estes e outros resultados aparecem em *Sur la dynamique de l'électron*, submetido aos Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris em **5 de junho de 1905**.

O famoso artigo de Albert Einstein *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* é submetido aos Annalen de Physik três semanas depois, em **30 de junho de 1905**.

Do ponto de vista prático, as teorias Poincaré e de Einstein são equivalentes. Conceitualmente, a proposta de Einstein é muito mais inovadora. Além disso, o ano de 1905 encerra a participação de Poincaré neste tema, enquanto que para o Einstein é o início de uma trajetória fantástica. Ainda assim, é claro que a contribuição de Poincaré à Relatividade está longe de ser reconhecida como merece.

Para saber mais

Confira <http://www.impa.br/~viana/out/Poincare.pdf>

Visite <http://www.poincare.fr>

Confira a magnífica série de artigos



Assista o vídeo <http://webdoc-hpoincare.univ-nancy2.fr/>

Visite <http://poincare.univ-nancy2.fr/>