

# Tópicos de 'Pré-história' da Relatividade

André Noronha

2012

Tópicos de História da Física Moderna

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

# Apresentação

- História das “coisas internas à relatividade”;
- Uma história das “coisas externas à relatividade”;
- Proposta espontânea;
- Referência.

# Histórias das “coisas internas à relatividade”

- Sequência da história mais comum (e caricaturizada) da relatividade:
  1. PALCO: Lorentz, Teoria do Elétron, Equações de Maxwell;
  2. PROBLEMA: experimentos e Michelson e Morley, resultados “nulos”;
  3. TENTATIVA: hipótese *ad hoc* de Lorentz e Fitzgerald, contração dos braços do interferômetro;
  4. DRAMA/CRISE: explicação “ruim”, espera-se “A” explicação;
  5. SOLUÇÃO/DESFECHE: Einstein, Teoria da Relatividade Especial. Posteriormente, como generalização, Teoria da Relatividade Geral.

# Histórias das “coisas internas à relatividade”

- História da relatividade e cosmologia segundo a matemática:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) \\ t' &= \gamma(t - vx/c^2) \\ \vec{f} &= q(\vec{v} \times \vec{B}) \\ \gamma &= 1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{E}{c^2} \\ v' &= \frac{v + u}{1 + uv/c^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'^{\mu} &= \Lambda^{\mu}_{\nu} x^{\nu}, \quad x^0 \equiv ct \\ ds^2 &= -\Delta x^{0^2} + \Delta \vec{x}^2 = -\Delta x'^{0^2} + \Delta \vec{x}'^2 \\ x'^0 &= \gamma(x^0 - \beta x^1) \\ x'^1 &= \gamma(x^1 - \beta x^0) \end{aligned}$$

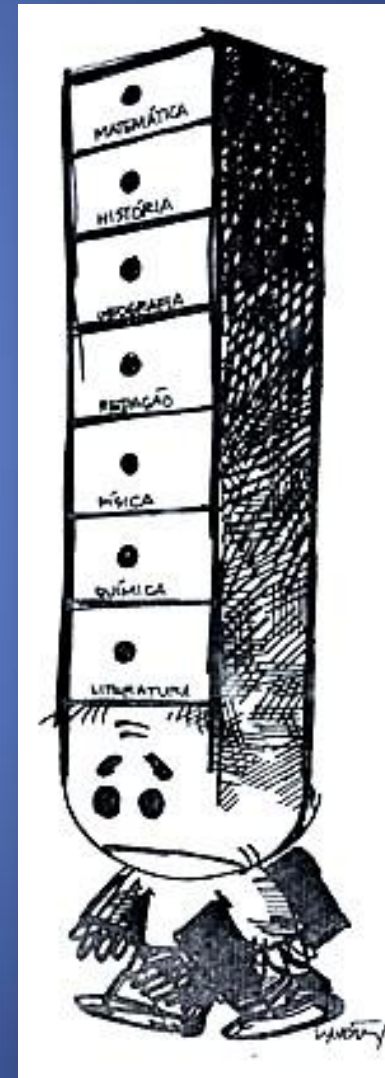
$$\begin{aligned} U^{\mu} &= \frac{dx^{\mu}}{d\tau} = (c\gamma, \gamma\vec{v}) \\ p^{\mu} &= mU^{\mu} = (E/c, \gamma\vec{p}) \\ E^2 &= p^2 c^2 + m^2 c^4 \\ F^{\mu} &= \frac{dp^{\mu}}{d\tau} = \left( \frac{1}{c} \frac{dE}{d\tau}, \gamma\vec{F} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_i &= m_g \\ \frac{d^2 x^{\lambda}}{dt^2} + \Gamma^{\lambda}_{\mu\nu} \frac{dx^{\mu}}{dt} \frac{dx^{\nu}}{dt} &= 0 \\ R_{\mu\nu} + \frac{R}{2} g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} &= \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds^2 &= c^2 dt^2 - a^2(t) \left( dr^2 (1 - kr^2)^{-1} \right. \\ &\quad \left. + r^2 d\theta^2 + \right. \\ &\quad \left. + r^2 \sin^2(\theta) d\phi^2 \right) \\ T^{\mu\nu} &= (p + \rho) u^{\mu} u^{\nu} - p g^{\mu\nu} \\ H_0 &= \frac{\dot{R}}{R} \end{aligned}$$

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- História externalista da ciência?
- Transcende a imagem do conhecimento como um conjunto de “gavetas demarcadas”.

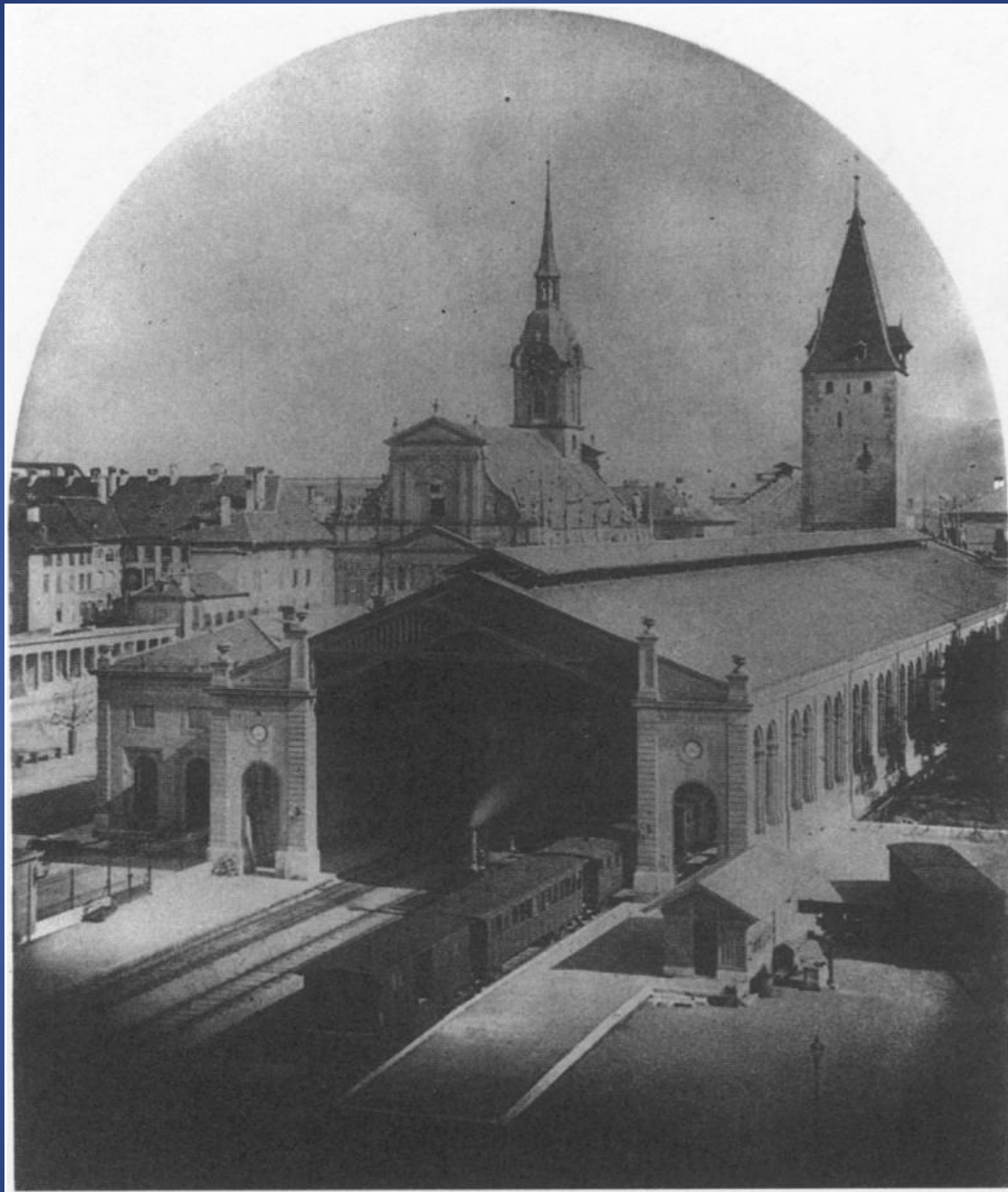


# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Elementos chave para nossa história externalista da relatividade:

## *Sincronicidade e Simultaneidade*

- Como saber se dois eventos distanciados são simultâneos?
- Como sincronizar relógios distanciados?



Estação de trens, Berna, por volta de 1860

Railways in France  
 end of June 1842  
 end of 1843  
 end of 1847  
 end of 1850  
 end of 1856  
 end of 1860



Ferrovias na França, 1842-1860

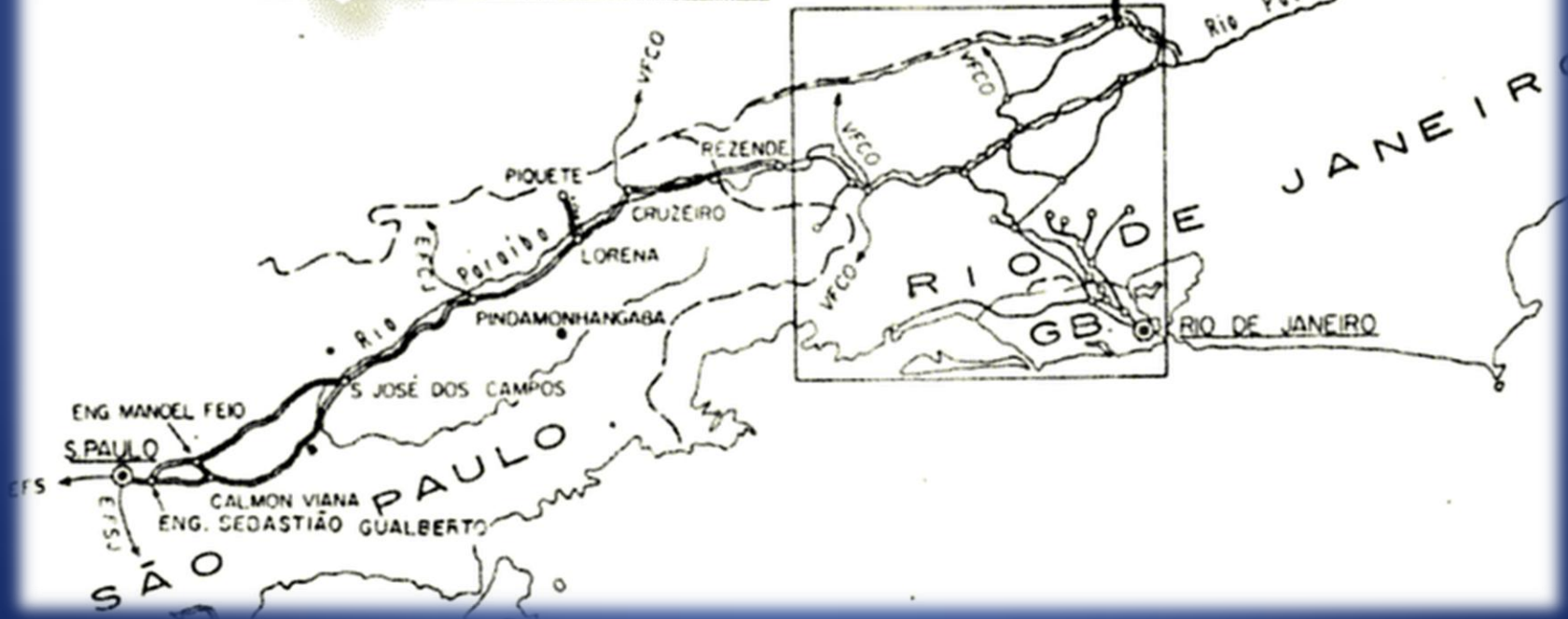


# CONVENÇÕES

-  Tráfego suspenso
-  Supressão programada
-  Erradicação iniciada ou concluida
-  Bitola 1,00m e 1,60m
-  Bitola 1,00m
-  Bitola 1,60m
-  Limite estadual
-  Capital
-  Outras localidades

RAMAIS  
ANTI-  
ECONÔMICOS

EM TRÁFEGO



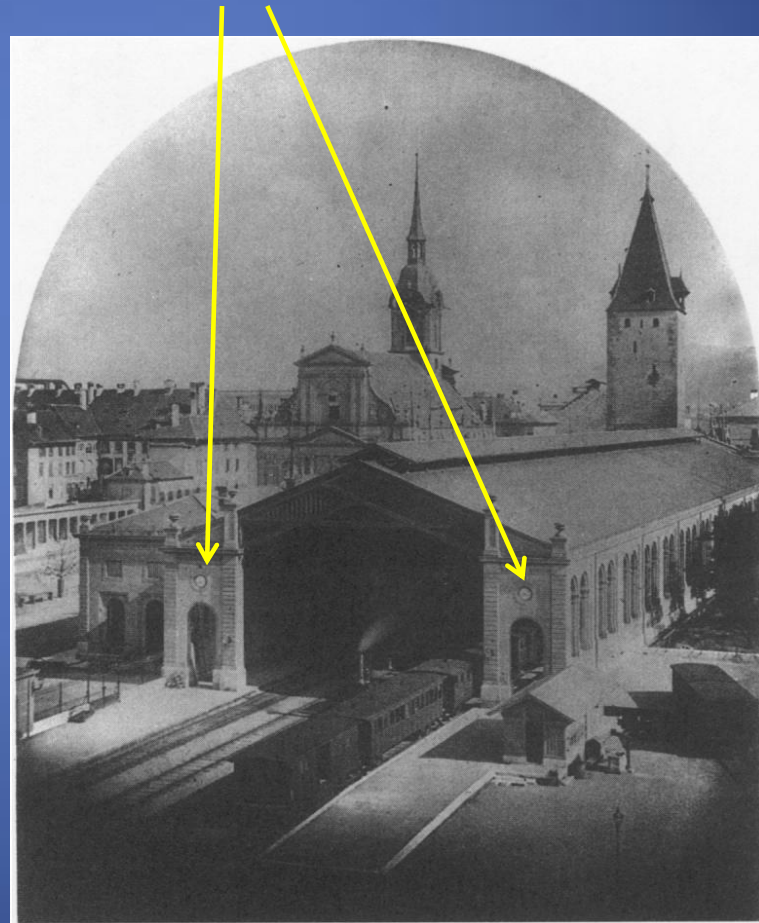
# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Caso se queira evitar acidentes nas estações...



# Uma história das “coisas externas à relatividade”

... é preciso ter relógios sincronizados em todas as estações!



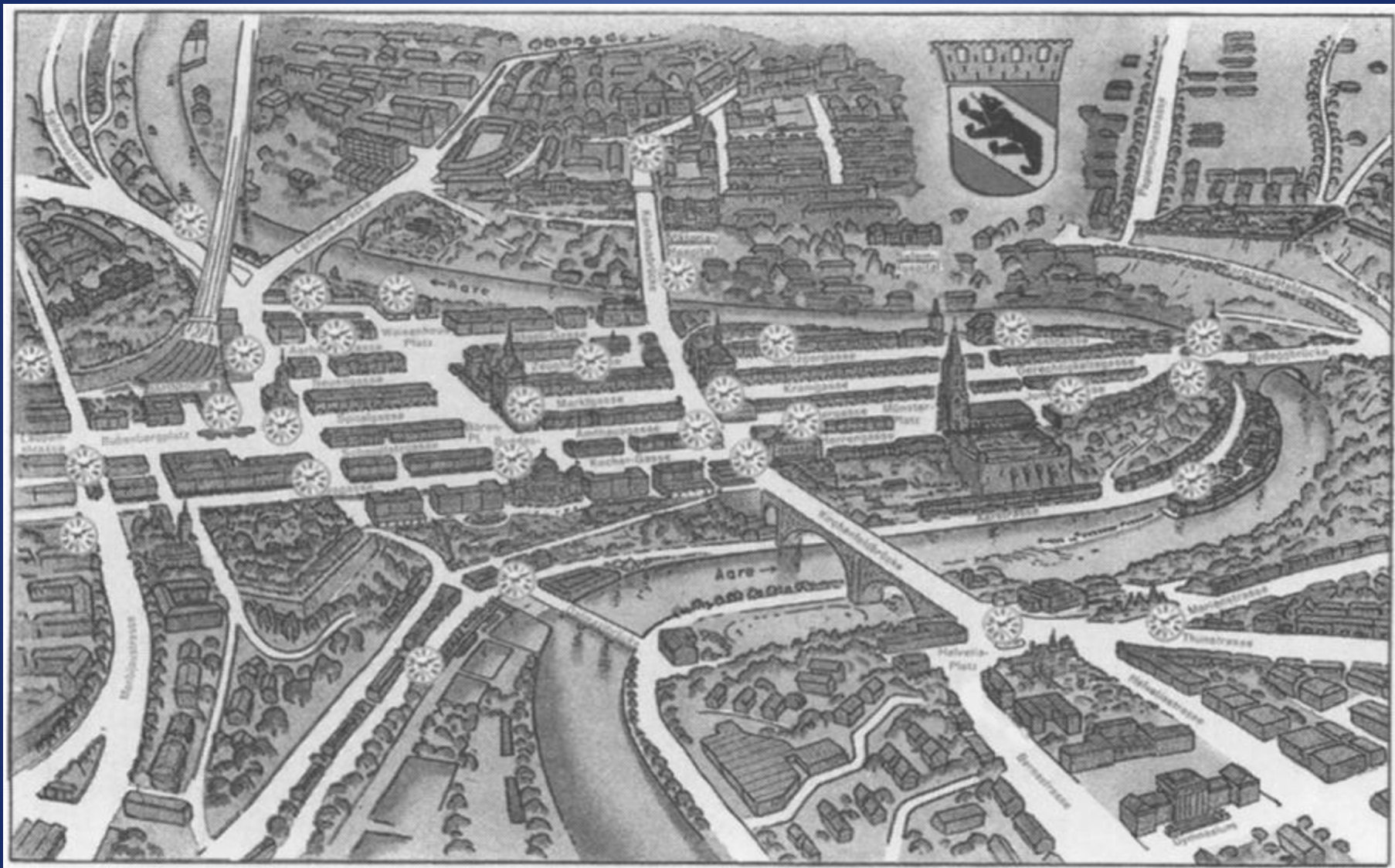
# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Relato de historiador:
  - Na Inglaterra durante a década de 1830, o tempo de Londres precedia de quatro minutos do de Reading, marchava sete minutos e trinta segundos adiantado do de Cirencester, e soava catorze minutos antes de Bridgewater. (...) A Torre de Genebra (...) em seu centro o grande relógio mostrava o tempo de Genebra (cerca de 10:13), na face ao lado mostrava o tempo de Paris com base no percurso da companhia ferroviária Paris-Lion-Mediterrâneo (9:58), e na face da direita havia outro relógio indicando o tempo de Berna – com incríveis cinco minutos de diferença (10:18). (GALISON, 2003)



FIG. 8.—Isle Tower, Geneva, 1880, three clocks. Centre d'iconographie genevoise. RVG N13x18 14934.



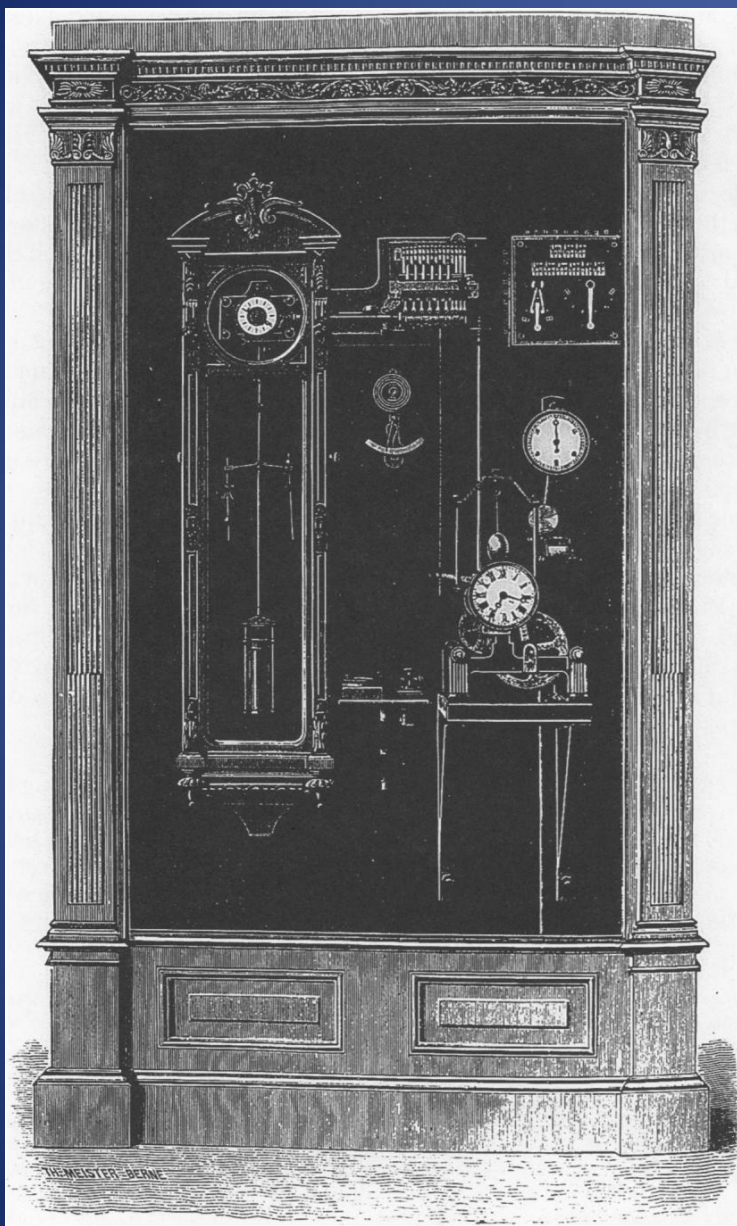


Relógios de Berna, segunda metade século XIX

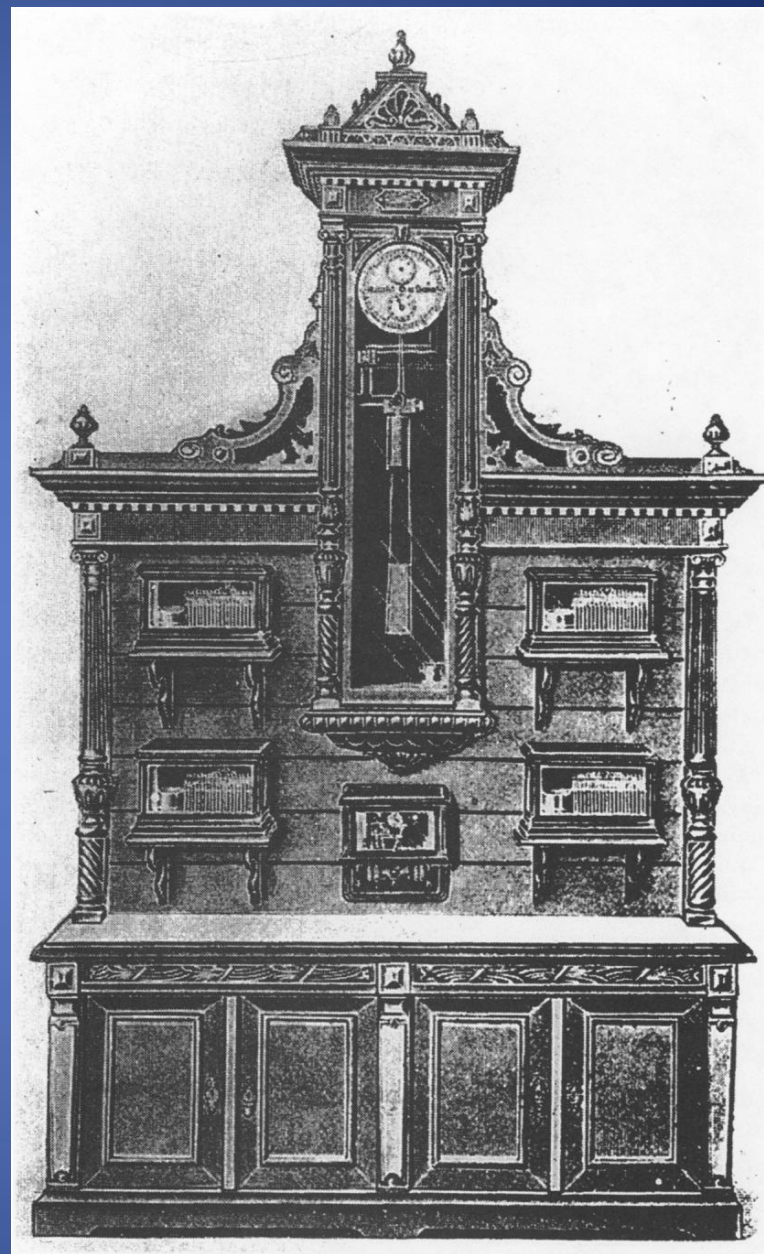
## Uma história das “coisas externas à relatividade”

- E se não há sincronicidade entre os relógios, há a proliferação de *tempos locais*;
- Então, como sincronizar relógios das estações? Ou, da cidade?
- Uma maneira é criar um “relógio-mãe”, central, detentor do “tempo verdadeiro”.





Relógio-mãe francês



Relógio-mãe alemão

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Ideia básica do modelo “relógio-mãe”: um relógio central, envia sinais para todos os outros relógios sincronizando-os com o “tempo verdadeiro”;
- Uma das primeiras tentativas, em Paris e Viena, foi usar dutos subterrâneos para efetuar *sincronizações pneumáticas* dos relógios das cidades - A pressão do ar modulada sincronizaria todos os aparelhos com precisão de dezenas de segundos (!);
- No início do século (XIX) os relógios não tinham ponteiro de minutos! Já no começo da segunda metade do século, atrasos de quinze segundos eram inadmissíveis, se tratava de uma demanda social (industrial, bélica e comercial).

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- A sincronização pneumática apresentou falhas – dutos rompiam no subsolo, apodreciam em regiões úmidas – e logo os relógios de Paris e Viena estavam novamente dessincronizados...
- A ideia de transmissão elétrica, que anos antes era tímida, ganhou projeções em parte pela segunda revolução industrial;
- O sonho promissor se tornara a *sincronização elétrica*.

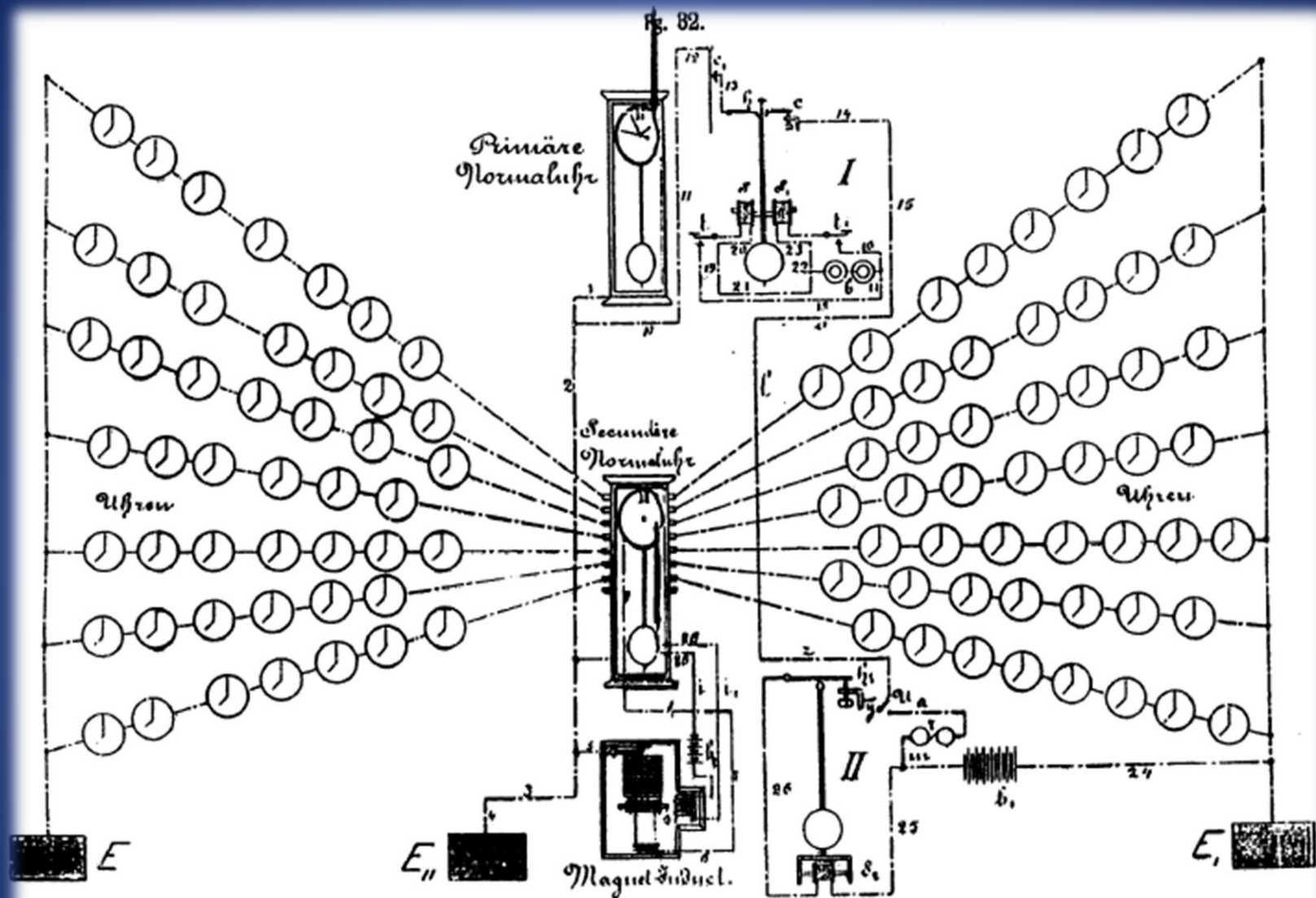


FIG. 20.—Time synchronization network II. From Ladislaus Fiedler, *Die Zeittelegraphen und die elektrischen Uhren vom praktischen Standpunkte* (Vienna, 1890), pp. 88–89.

# UNIFICATION ÉLECTRIQUE DE L'HEURE DANS UNE GRANDE VILLE

Système Favarger & Clé

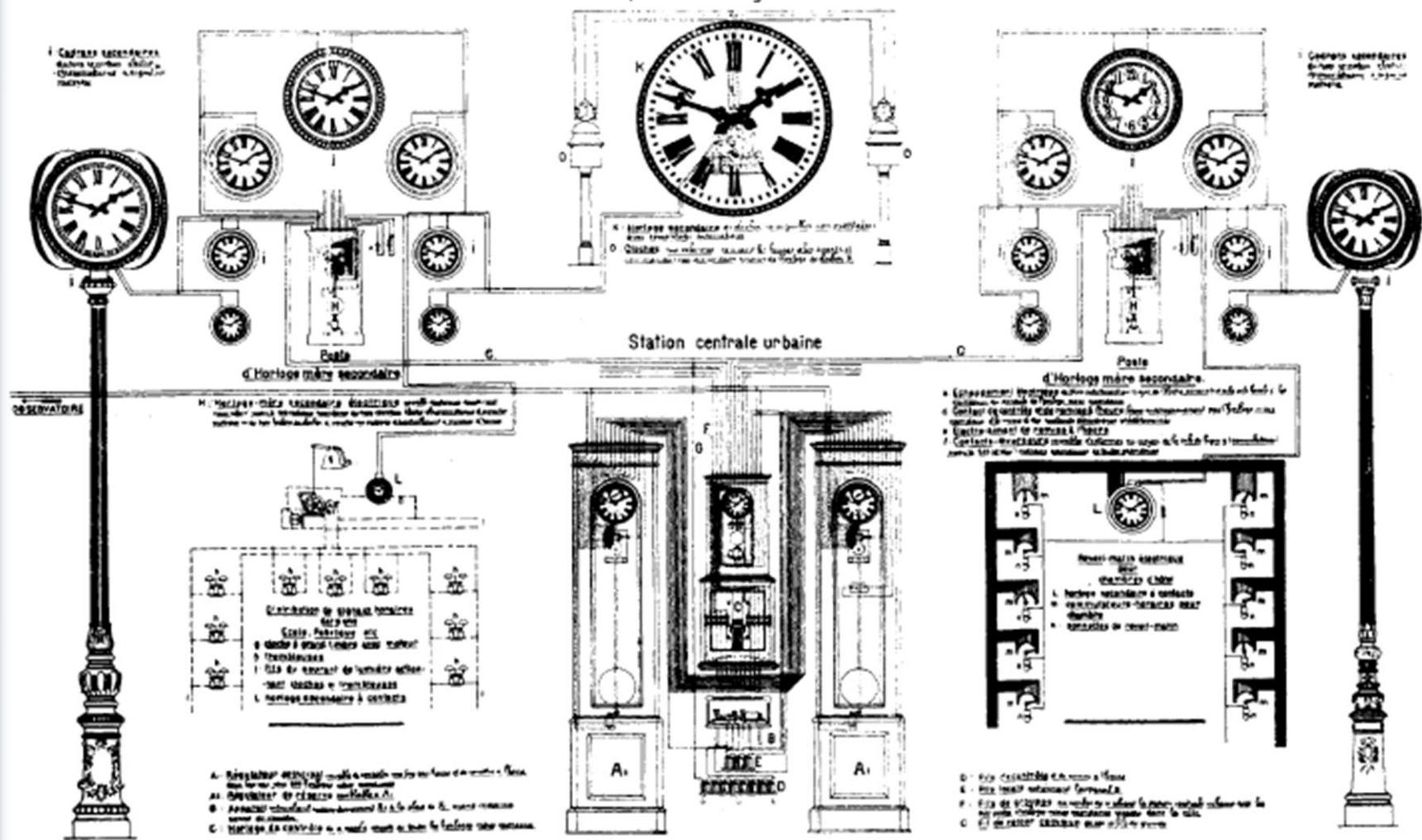
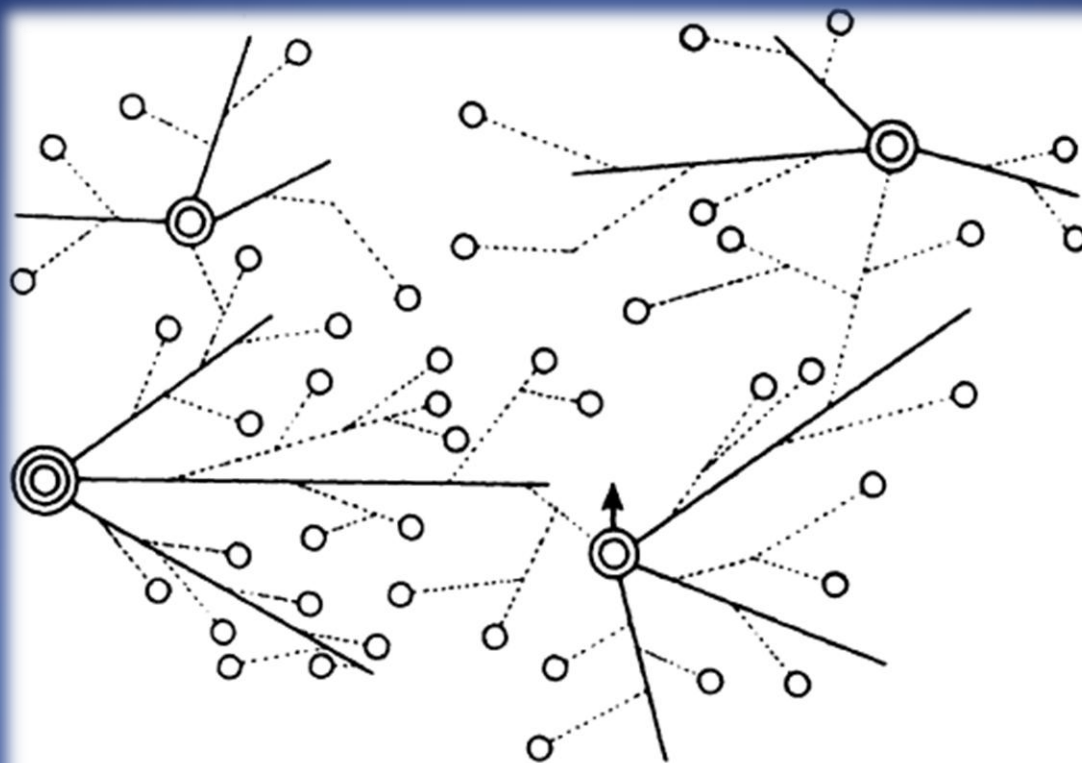


FIG. 21.—Unification électrique de l'heure dans une grande ville. From A. Favarger, *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*, pp. 427–28, pl. 4.

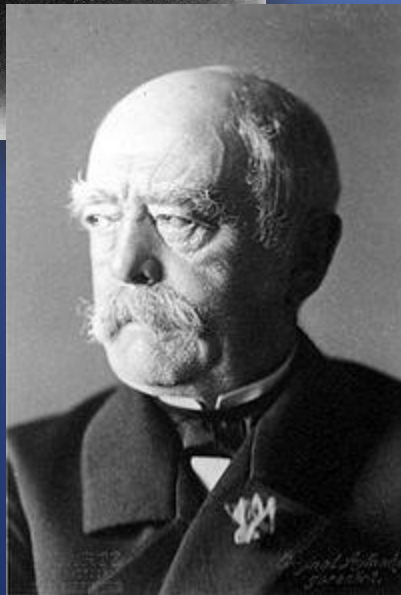


Legende.

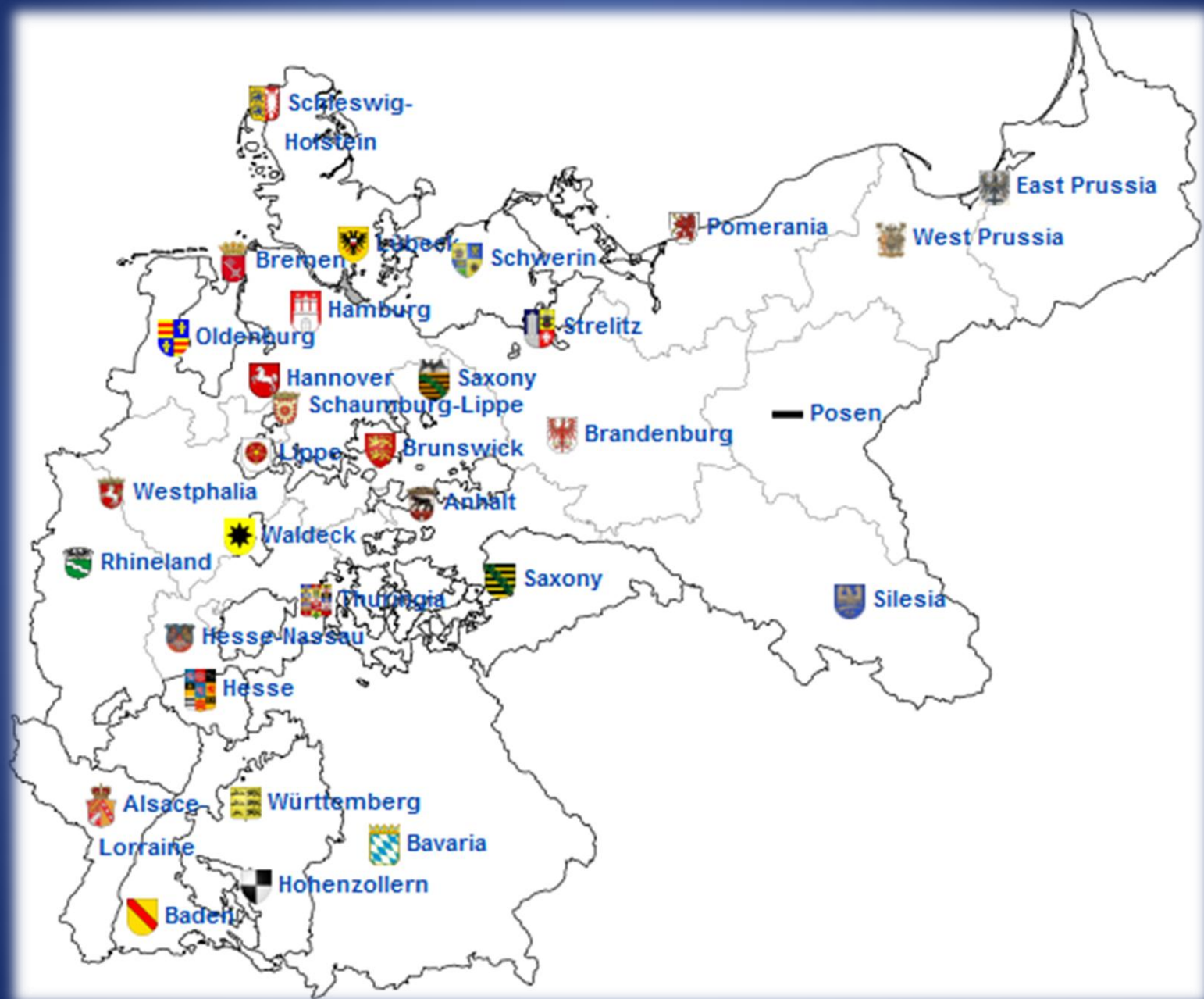
- ◎ Horloge-mère réglante
- Horloge-mère réglée
- ⊙ Horloge-mère réglée et réglante
- Fils principaux de groupe
- Fils secondaires d'embranchement
- Compleurs électro-chronométriques

Fig. 282

# Uma história das “coisas externas à relatividade”



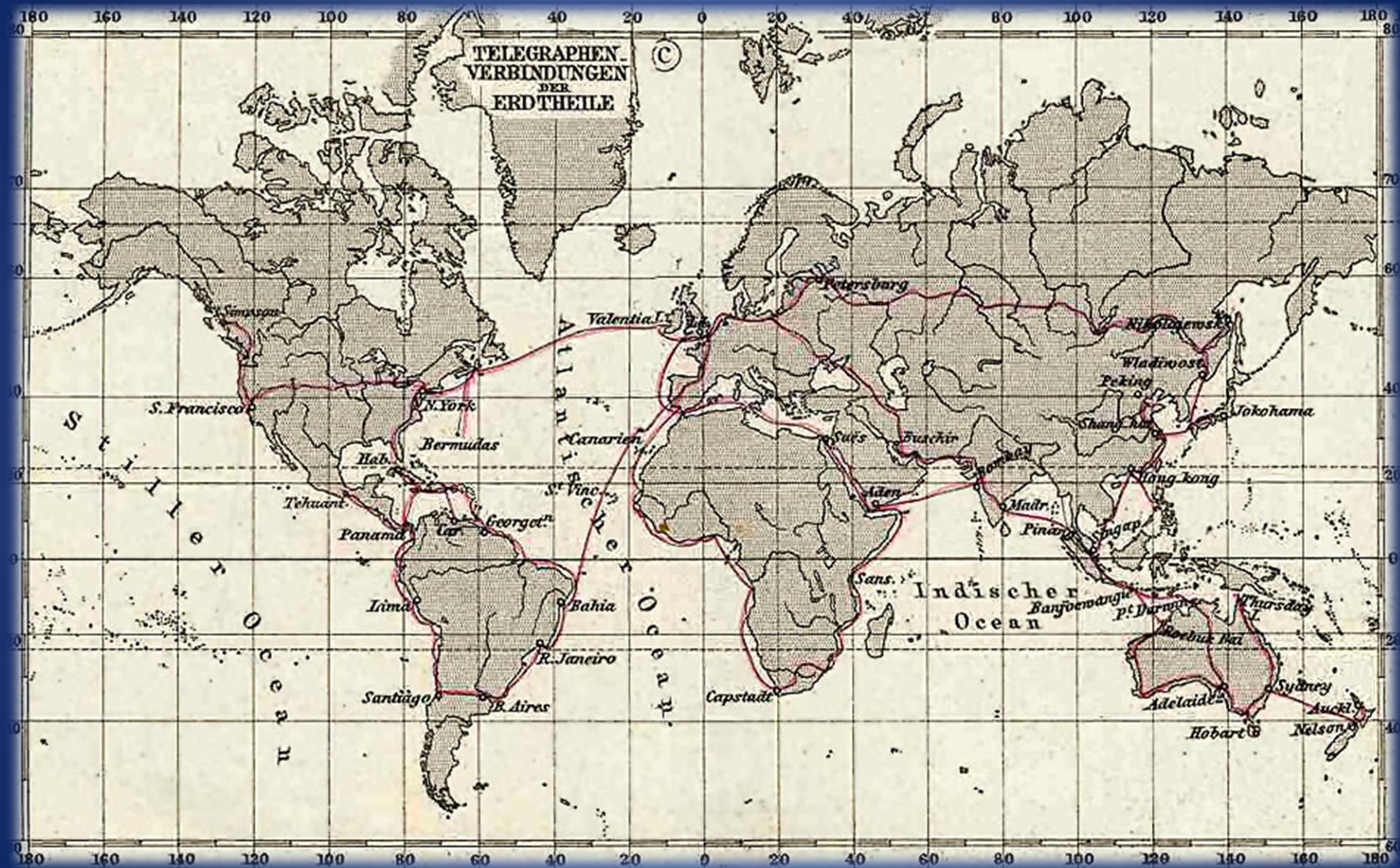
- Helmoth von Moltke (1800 - 1891), pressionado por engenheiros pelo problema do país possuir cinco unidades de tempo diferentes: “No norte da Alemanha, incluindo Saxônia, reconhecemos o tempo de Berlim; na Bavária, reconhecemos o tempo de Munique; em Vurtemberga, reconhecemos o tempo de Stuttgart ; em Baden, vemos o de Carlsruhe, e em Renânia-Palatinado reconhecemos o tempo de Ludwigshafen. [...] [Numa carta ao chanceler alemão Otto Von Bismarck, von Moltke escreveu] *Meine Herren*, unidade do tempo apenas aos trilhos de trem não afastará todas as desvantagens que citei a pouco; isto só será possível quando alcançarmos a unidade do tempo em toda a Alemanha, isto é, quando todos os *tempos locais* forem varridos”

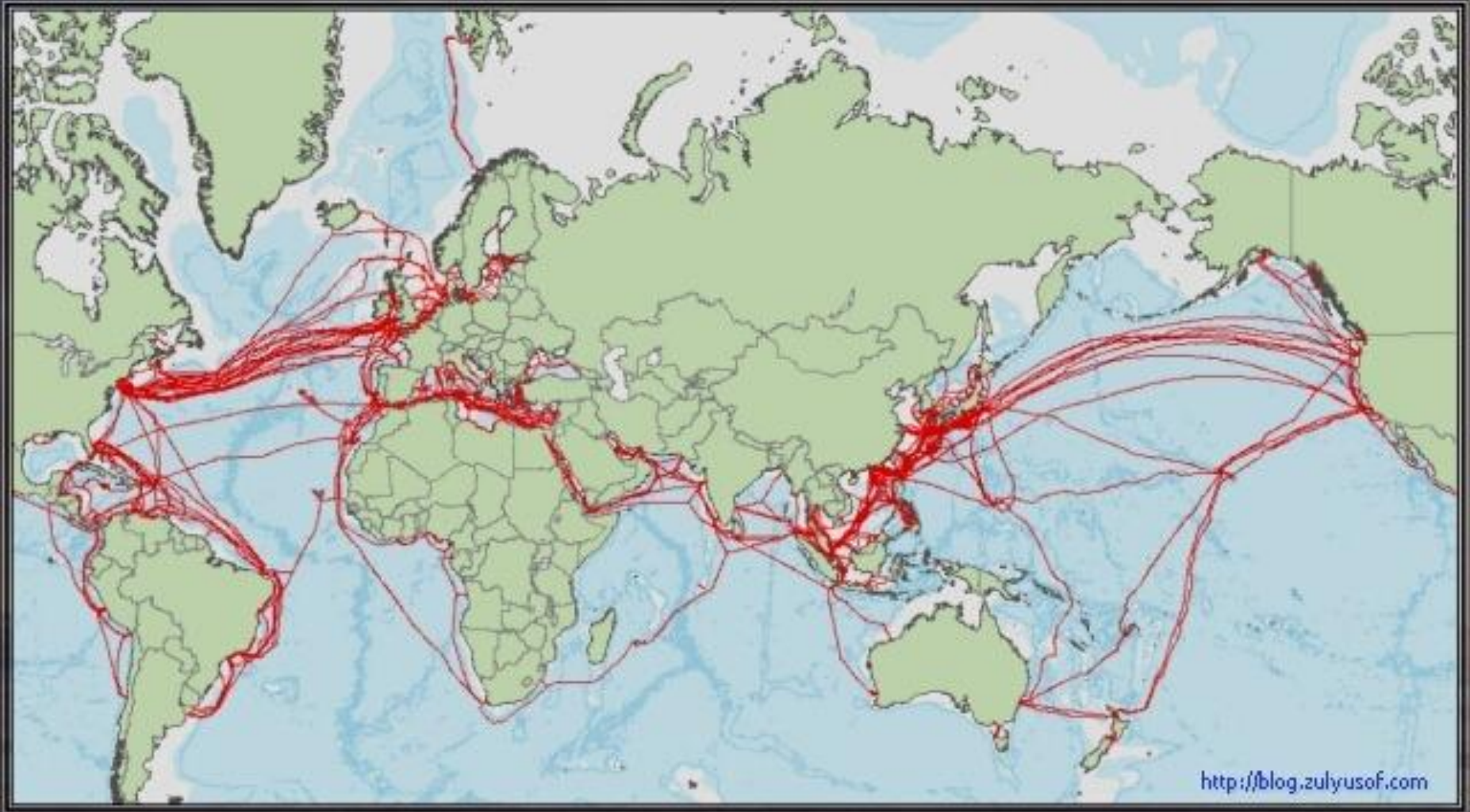




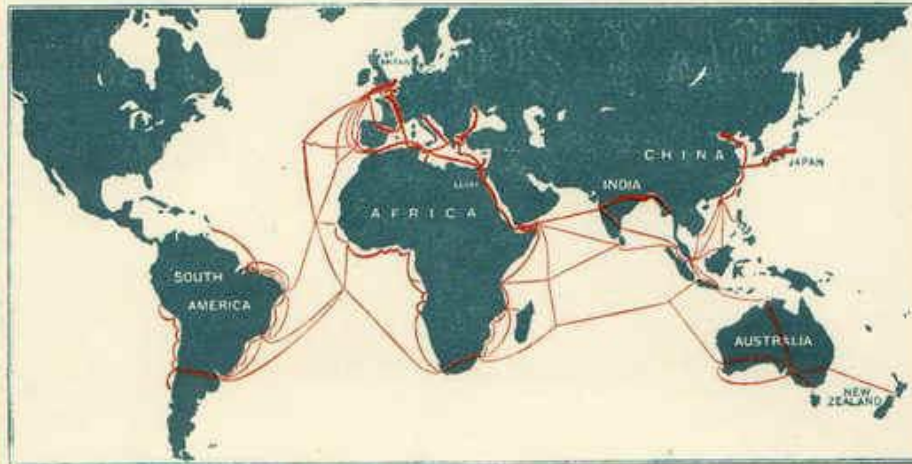
# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- E o tempo da transmissão nos fios?
- “Não precisa considerá-lo, é desprezível”;
- Para uma sincronização de uma cidade, isso é razoável...
- Mas, e para sincronizar os relógios em todo um país (como o Império Alemão)? E os relógios das colônias?
- Como “levar” o “tempo verdadeiro”?





THE EASTERN ASSOCIATED TELEGRAPH COMPANIES  
 ARE ACCEPTING TELEGRAMS TO ANY COUNTRIES OF THE WORLD SERVED  
 BY THEIR CABLES AT REDUCED RATES



|           |            |                       |                 |
|-----------|------------|-----------------------|-----------------|
| No.       | Words      | Official Instructions | Sent at         |
| Code Time | Charge     | <i>"Via Eastern"</i>  | No. and Circuit |
|           | £   s   d. |                       | By              |

\* (This prefix is charged as one word).

**TO Receiver's Name \*XLT**

Address

---



---



---



---



---

Write your Greeting in plain language and hand it in at any of the Companies' offices, or post to the Chief Counter Clerk, The Eastern Telegraph Company Limited, Tower Chambers, Moorgate, London, E.C.2, accompanied by remittance to cover charges.

Signature and Address of Sender \_\_\_\_\_  
(This to be telegraphed.)

# Uma história das “coisas externas à relatividade”



Pedro II

- "Já se acha o cabo submarino no território da capital do Brasil. A eletricidade começa a ligar as cidades mais importantes deste Império, como o patriotismo reúne todos os brasileiros no mesmo empenho pela prosperidade de nossa majestosa pátria. O Imperador saúda, pois, a Bahia, Pernambuco e Pará por tão fausto acontecimento, na qualidade de seu primeiro compatriota e sincero amigo. Até aos bons anos de 1874."

## Uma história das “coisas externas à relatividade”



Telegrammas trocados entre o sr. Hermes da Fonseca e o Imperador da Alemanha, a proposito da inauguração do novo cabo sub-marino — RIO, 30. — Tendo sido inaugurado hontem o cabo sub-marino que liga o Recife a Alemanha, foram hoje trocados affectuosos telegrammas entre o sr. presidente da Republica e o imperador Guilherme II da Alemanha, ambos fazendo votos pela affirmação e crescimento dos laços de amizade entre o Brasil e a Alemanha.

Hermes da Fonseca (acima)  
e Guilherme II

# Uma história das “coisas externas à relatividade”



Cabos telegráficos submarinos

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- A grande questão com a “globalização” dos sinais elétricos, é que era preciso agora “descontar” o tempo de propagação nos cabos para obter maior precisão;
- Quanto “descontar”? Há precisão nos “descontos”?
- Enfim: o que pode garantir que dois relógios distanciados estão mesmo sincronizados?



# Uma história das “coisas externas à relatividade”

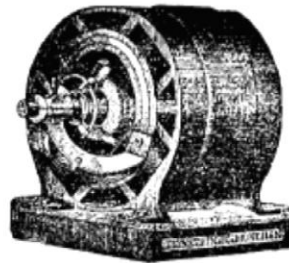
- E o que tudo isso tem a ver com Relatividade? E Einstein?
- Notem, alguns indícios “suspeitos”...
- Einstein trabalhava no coração da nação com tradição na construção de relógios, Suíça;
- Seu pai fundou uma empresa de equipamentos eletrotécnicos, onde se fazia, inclusive, *máquinas sincronizadoras*.

# Elektrotechnische Fabrik

J. Einstein & Cie.

München.

Ausführung  
elektrischer  
Beleuchtungs-  
anlagen  
in jedem Um-  
fange.



Ausführung  
elektrischer  
Kraftüber-  
tragungs-  
anlagen  
jeder Grösse.

Fabrikation

von

**Dynamo-Maschinen**

für

Beleuchtung, Kraftübertragung und Elektrolyse,  
Bogenlampen, Elektrizitätszählern,  
Mess- und Regulirapparaten.

FIG. 12.—Jakob Einstein & Cie. Elektro-  
technische Fabrik. Elektrizität. *Offizielle Zeitung*  
*der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung,*  
*Frankfurt am Main, 1891,* ed. H. Massenbach and  
Max Quarck, 20 Oct. 1891, p. 949.

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- “A relatividade especial nasceu na rua Kramgasse, 49” (Einstein);
- Como assim?





IVĀ GURGEL



ARIOVALDO RIBEIRO

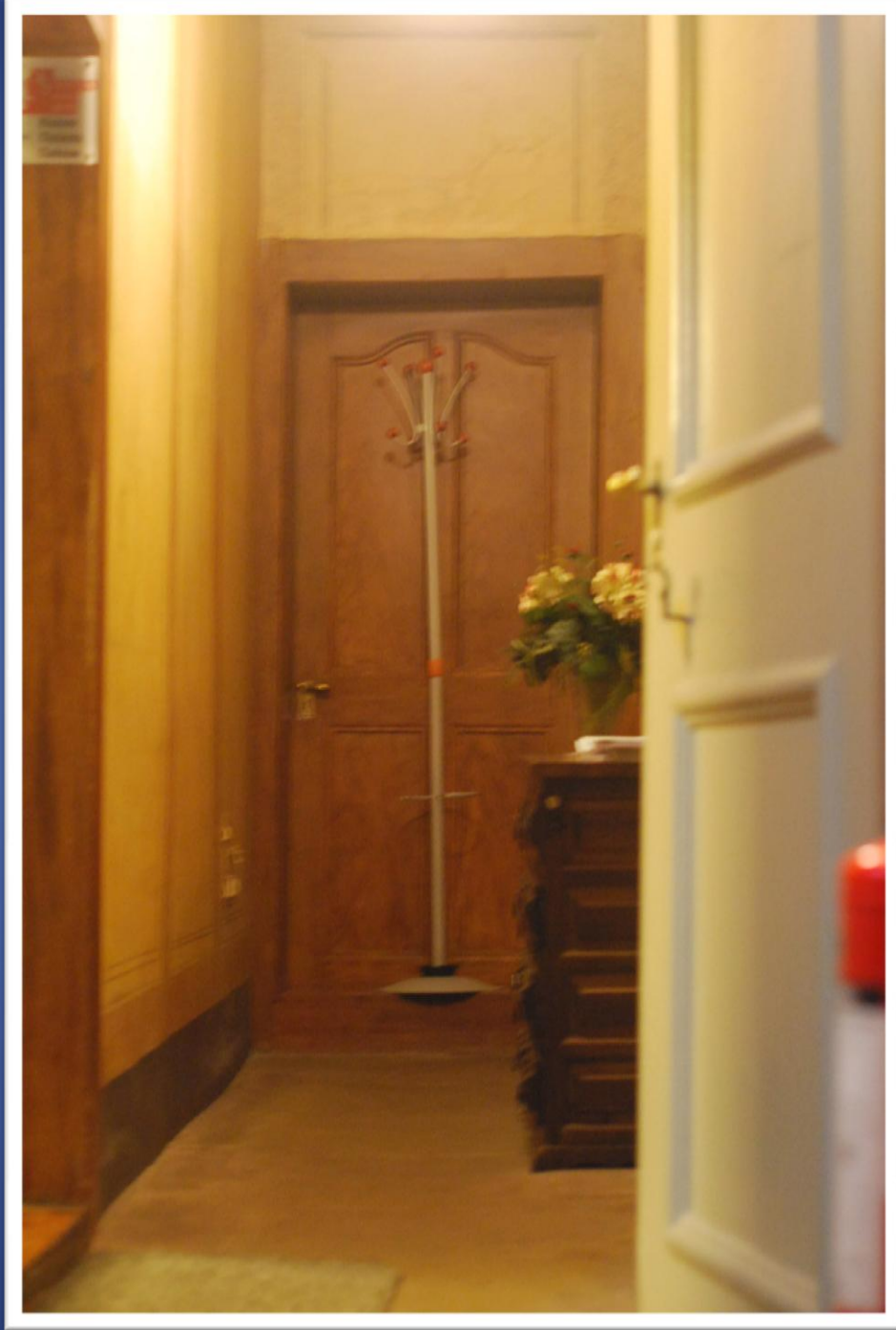










FIG. 14.—Kramgasse Zeitglockenturm, Bern, 1890. Burgerbibliothek Bern, negative 10379.

IVĀ GURGEL



IVÄ GURGEL







# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Einstein no escritório de patentes em Berna;
- *“Trabalhar com a formulação final de patentes tecnológicas foi uma verdadeira benção para mim. Isto me instigou o pensamento múltiplo e também me proveu importante estímulo ao pensamento físico”* (Einstein). Durante sua estadia em Berna, houve uma alta no interesse sobre sistemas de cronometragem elétrica (e máquinas de sincronização!);
- De 1800 a 1900 houve de três a quatro aplicações do tempo elétrico por ano. A transmissão elétrica do tempo cresceu juntamente com o sistema de telegrafia, relógios coordenados começaram a ter papel cada vez mais presente em locais públicos e privados. Os números são: 1901, oito patentes; 1902, dez; 1903, seis, e então em 1904, catorze patentes!

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Relato de historiador:
  - Em algum momento em meados de Maio de 1905 [...], ele [Einstein] e seu amigo mais próximo, Michele Besso, tinham dissecado o problema do eletromagnetismo por todos os ângulos. “Então”, Einstein chamou a atenção, “de repente eu compreendi onde estava a chave para resolver este problema”. Na ocasião seguinte em que se encontrou com Besso ele atravessou os cumprimentos: “Obrigado. Eu resolvi o problema completamente. Uma análise do conceito de tempo é a minha solução. O tempo não pode ser absolutamente definido, e há uma inseparável relação entre tempo e a velocidade do sinal [eletromagnético]”. Apontando para a torre relógio de Berna - um dos mais famosos relógios sincronizados da cidade - e então para a única torre de relógio próxima a Muri (fora da zona de sincronicidade)[...], Einstein estabeleceu a seu amigo a sincronização dos relógios (GALISON, 2003, p.253).



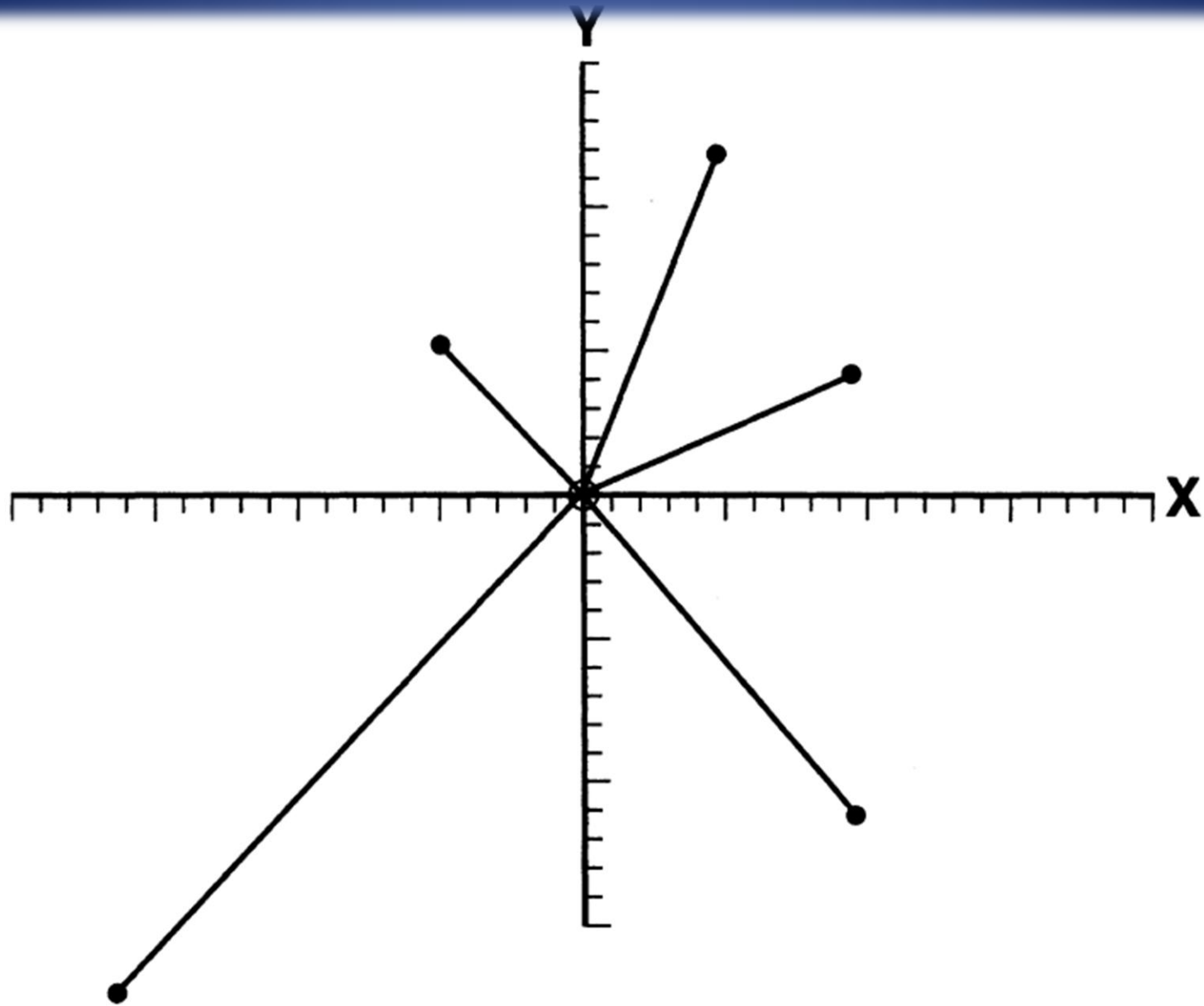


FIG. 2.—Central clock coordination.

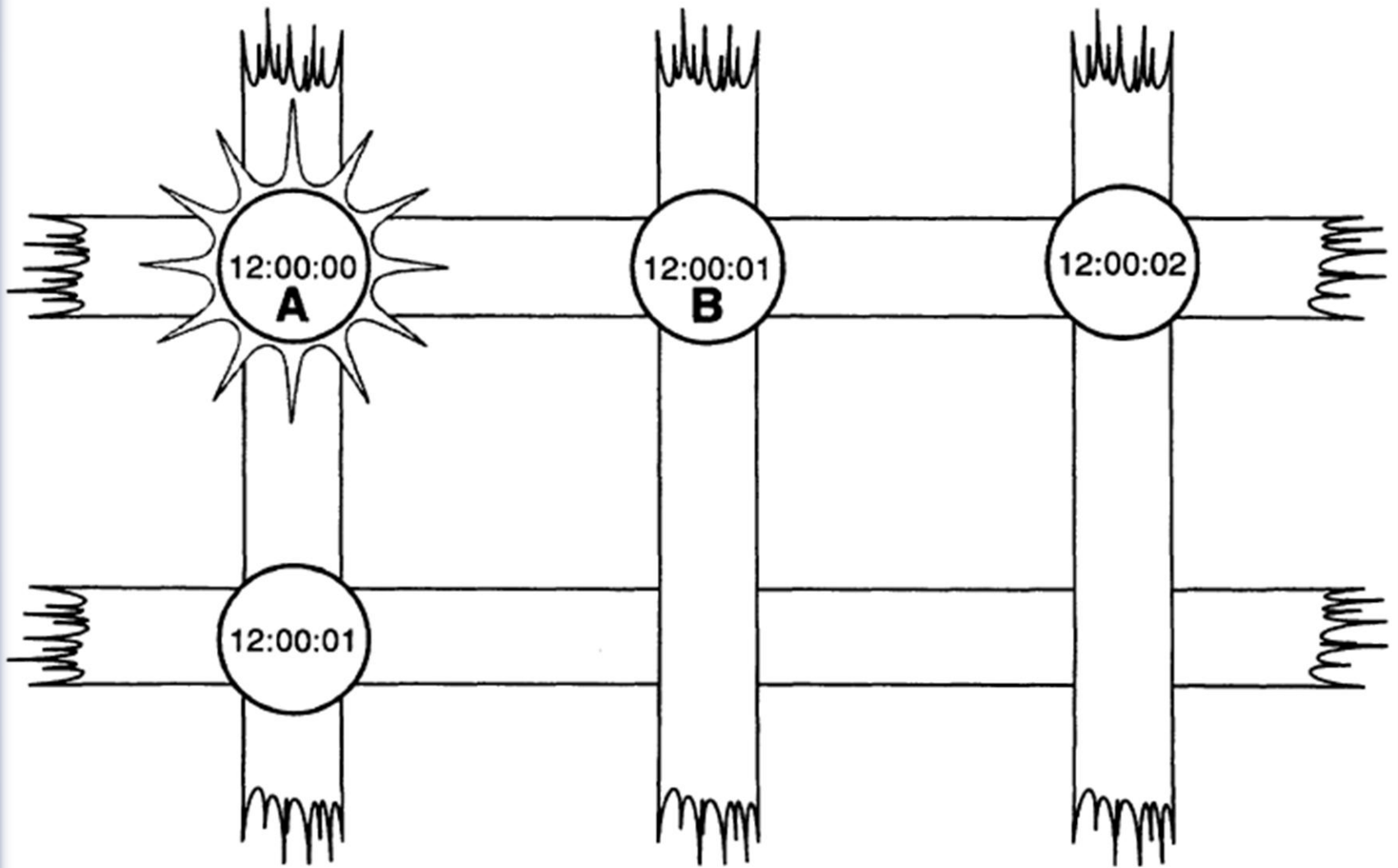


FIG. 3.—Einstein's clock coordination.

# Uma história das “coisas externas à relatividade”

- Método de sincronização de relógios de Einstein: simples, trocar sinais eletromagnéticos! (não se pensava assim – *tempo absoluto* (influência de Mach));
- Preocupação com definição de tempo: “tempo é o que se mede no meu relógio”! É assim que está no início do seu artigo de 1905.
- Se estabelece “sincronicidade” pela “simultaneidade” (o trem chega aqui às 7 horas significa algo como ‘a chegada do trem na estação e o ponteiro do relógio estar sobre o 7 são eventos simultâneos’);
- Não se necessita de “relógio-mãe” (referencial absoluto de tempo)... se estabelece o tempo por convenção (Poincaré), e para sincronizar relógios, troca de sinais (Einstein)! Nenhum relógio é mais importante que outro (não há relógio privilegiado...), desde de que possam se sincronizar;

# Proposta espontânea

- Quais as vantagens e desvantagens de contar uma história externalista como essa para alguém (um colega seu) que não conhece nem teoria, nem sua história?

# Referência

Peter Galison, “Einstein’s Clocks, Poincaré Maps: Empires of Time”, New York: WW. Norton & Company Ltd (2003).

Peter Galison, “Einstein’s Clocks: The Place of Time”, *Critical Inquiry* 26 (2000), 355–89.

