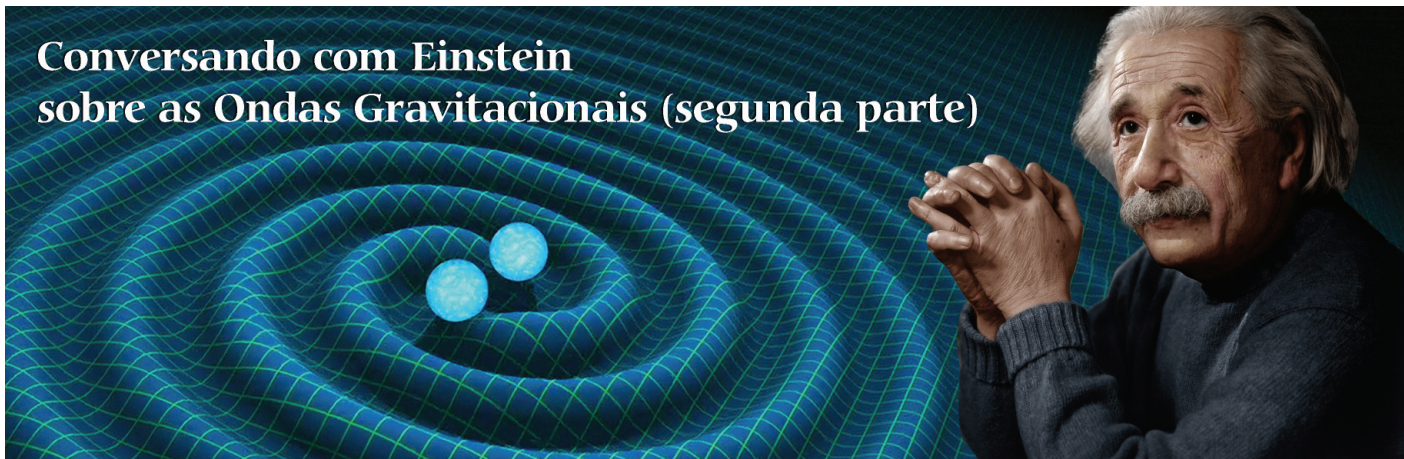


Conversando com Einstein sobre as Ondas Gravitacionais (segunda parte)



.....
Alexandre Medeiros

Departamento de Física, Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife,
PE, Brasil

E-mail: alexmed.df@gmail.com
.....

Terminado o almoço em Galinhos, após a primeira parte da nossa conversa com o velho Albert, na qual ele nos contara suas lembranças sobre as origens da Teoria da Relatividade Geral e a questão de sua Constante Cosmológica que é a avó da Energia Escura, nós nos encaminhamos novamente para a parte de fora do restaurante para continuarmos o nosso animado papo com o velhinho.

Eu continuo com a preocupação de ouvir dele um pouco mais sobre suas ondas gravitacionais, as quais ele apenas se referiu de forma muito breve, até agora. Preciso fazê-lo mudar nesta direção a conversa, mas ainda não sei como fazer.

Talvez também querendo mudar o rumo da prosa; mas não necessariamente com a mesma intenção minha de direcionar o papo diretamente para as Ondas Gravitacionais, nosso amigo Cyrano observa que o velho Albert havia sido muito preciso, antes do almoço, ao citar as datas em seu último relato sobre como encontrara as suas Equações de Campo e lhe pergunta se isso teria sido apenas um detalhe ou se haveria alguma razão especial para ele ter feito isso.

Entretanto, após essa sutil observação do Cyrano, eu e o Charles Robert trocamos um olhar que denota o nosso visível receio de uma possível reação mais emocional do velho Albert que agora permanece subitamente em silêncio, como se não houvesse ouvido a pertinente observação feita pelo nosso perspicaz amigo camarônês.

O silêncio torna-se incômodo e nosso amigo holandês Van Borbha; notando também que há algo estranho no ar; tenta desanuviar o ambiente.

- Se o senhor preferir não comentar essa questão das datas mencionadas pelo Cyrano; pode seguir em frente com sua narrativa que ela está muito interessante.

O velho Albert, porém, permanece

ainda em silêncio e o Charles Robert resolve intervir com claro receio da delicada questão que ele sabe que o Einstein tem de tocar.

- Herr Einstein, como o Alexandre disse no início de nossa conversa, eu escrevi um livro defendendo o senhor das infames acusações que lhe foram lançadas por alguns de seus detratores.

Ao ouvir isso, o velho Albert levanta os olhos e lança um olhar de simpatia ou gratidão para o Charles Robert.

- Eu sei! Eu li seu livro recentemente na Internet e me diverti muito com suas ironias a respeito daquela absurda acusação de plágio que lançaram contra mim. Mas, o episódio que você bem romanceou, de forma irônica, está ligado às acusações infames que foram lançadas contra mim a respeito da origem da Relatividade Restrita e nós temos de admitir que aquela estória do tal Olinto de Pretto era mesmo digna do riso de tão ridícula. Eu nunca me importei muito com aquilo. Só os tolos dariam crédito àquela loucura, embora eu repita que me diverti bastante com a leitura do seu livro. Mas, o caso das datas que eu mencionei de 1915 e de 1916 é algo bem mais importante e que realmente me incomodou por algum tempo.

- Eu não estou entendendo nada - Sussurra Calina; sentada junto ao Charles Robert. Quem é esse tal de Olinto de Pretto e que negócio é esse das datas? - Sussurra ela bem baixinho.

O Charles Robert fala bem baixinho ao ouvido de Calina:

- Olinto de Pretto foi um engenheiro italiano sobre quem alguns infames detratores inventaram uma estória absurda a respeito de um suposto plágio que o Einstein teria cometido de uma obra desse tal sujeito. Eu escrevi um divertido livro sobre isso mostrando a farsa contida naquelas torpes acusações lançadas contra o Einstein. E as datas de 1915 e 1916 estão relacionadas com outra acusação posterior de

Apresentamos neste texto, de uma forma leve e introdutória, a complexa questão das origens históricas da Teoria da Relatividade Geral de um modo pretensamente divertido como uma entrevista fictícia com Albert Einstein. Neste contexto discutimos o conceito da constante cosmológica e preparamos o terreno para que em um artigo seguinte, a ser publicado na próxima edição da revista FnE como uma sequência desta conversa construída; possamos enveredar pela discussão do tema das ondas gravitacionais, desde a sua histórica concepção até a sua recente detecção observacional.

plágio ainda mais forte. Acusações de que o Einstein teria plagiado o matemático David Hilbert na sua formulação da Relatividade Geral. O assunto é realmente delicado. O Cyrano, talvez sem querer; tocou em um ninho de vespas. Acho que o Einstein vai dizer algo sobre isso. Espere!

- Mas, Herr Einstein - Digo eu, que até então havia interferido muito pouco na conversa - Todos nós sabemos que o Hilbert jamais reivindicou qualquer primazia a respeito do seu trabalho e que isso foi feito por outros detratores ainda mais infames e sem o devido cuidado ou respeito com o senhor e pela sua obra.

O velho Albert olha reconfortado em minha direção e me diz:

- Realmente esse é um assunto que eu preferia não comentar; mas já que Monsieur Bahr Etto me perguntou sobre as tais datas; eu tenho de dizer que eu as mencionei justamente para que essas dúvidas não fossem levantadas. De todo modo, embora meu colega da Universidade de Ber-

Em 1936, eu ainda não estava convencido mesmo da existência das Ondas Gravitacionais

lim, o grande matemático David Hilbert; tenha publicado suas Equações do Campo Gravitacional um pouco antes de mim, ele as corrigiu devidamente apenas depois que eu publiquei o meu trabalho.

- E como eu enfatizei, antes; Herr Einstein, o Hilbert jamais reivindicou qualquer tipo de primazia a esse respeito. Logo, o senhor pode prosseguir tranquilamente a sua narrativa.

Cyrano, preocupado com o inesperado incômodo gerado pela sua pergunta vai até o balcão e traz um suco de mangaba bem gelado e o oferece ao velho Albert que já falara bastante até então.

O Albert agradece e bebe lentamente o suco bem gelado; arregalando os olhos e sorrindo.

- Que maravilha é essa, Monsieur Bahr Etto?

- É mangaba, Herr Einstein! Uma fruta que só tem aqui no Nordeste.

- Deliciosa! Tem mais um pouco?

- Certamente! Vou buscar outro copo para o senhor.

- Continue sua história, Herr Einstein. Ela está muito interessante. - Diz Carlos Reys - E todos balançam a cabeça concordando com ele.

Albert toma lentamente seu segundo copo de suco de mangaba e dá um sorriso tranquilizador.

- Tudo bem! Vamos, então, ao ponto sobre o qual vocês me pediram no início de nossa para que eu falasse: as Ondas Gravitacionais. Minha primeira referência clara às Ondas Gravitacionais surgiu já

em fevereiro de 1916 e foi o resultado de uma troca de cartas com o astrônomo Karl Schwarzschild. Nessas cartas eu ainda expressei meu ceticismo sobre a existência de tais ondas. O primeiro artigo sobre Ondas Gravitacionais no contexto da Teoria da Relatividade Geral foi intitulado *Integração aproximada das Equações do Campo Gravitacional* e eu o apresentei em 22 de junho de 1916 à Academia Prusiana de Ciências, em Berlim. Entretanto, por muitos anos, eu mesmo e muitos outros físicos, ainda permanecemos inseguros sobre a existência física real das referidas ondas.

- Mas, como o senhor contornou os problemas matemáticos e conceituais enfrentados àquela época? - Questiona o nosso amigo Van Borbha.

- Bem, Mr. Van Borbha, com a morte do Schwarzschild ainda na Primeira Guerra Mundial, em maio de 1916, eu só voltei a tocar no tema das Ondas Gravitacionais após haver recebido uma carta do astrô-

nomo Willem De Sitter. Foi com o De Sitter que eu percebi que um obstáculo matemático que me impedira de perseguir as ideias do Schwarzschild poderia ser superado. Assim, em junho de 1916, eu publiquei um artigo complementando minha Teoria recente das Equações do Campo Gravitacional no qual previ matematicamente a existência das Ondas Gravitacionais que deveriam viajar com a velocidade da luz e até derivei uma fórmula para a emissão das mesmas.

- E então, desse modo, o senhor finalmente acertou a mão na previsão da existência das Ondas Gravitacionais. - Diz Calina sorrindo.

- Infelizmente ainda não, madame Cacá. Eu cometi outro erro. Risos...

- O que? O senhor cometeu outro erro? E eu pensava que o senhor nunca tinha errado nada em Física e que apenas nós, mortais comuns, é que errávamos todo dia.

O velho Albert dá um sorriso largo e responde:

- Só não erra quem não tenta! Esse meu texto continha um erro significativo, que eu só consegui corrigir dois anos depois, já em 1918. Ao derivar a fórmula para a emissão das Ondas Gravitacionais eu percebi que elas eram muito fracas para serem observadas com a tecnologia que nós dispúnhamos então.

- E deste modo, o senhor conseguiu finalmente obter os resultados corretos e definitivos sobre as tais Ondas Gravitacionais? - Pergunta Cyrano.

- Infelizmente, ainda não, Monsieur Bahr Etto. Meus cálculos envolviam uma aproximação que tornava a minha Teoria da Relatividade Geral muito semelhante formalmente à bem estabelecida Teoria do Campo Eletromagnético. Mas, essa minha aproximação, assim como parte de minhas previsões calculadas a partir de mesma foram duramente criticadas por muitos colegas físicos, principalmente pelo astrônomo inglês Arthur Eddington que era um dos maiores defensores da Teoria da Relatividade Geral.

- Mas, o Eddington não foi exatamente o responsável pelas observações do famoso eclipse solar de 1919 que serviu para corroborar sua Teoria? - Diz Carlos Reys.

- Sim, foi ele mesmo, Dom Carlos! Em 1919, o Eddington conseguiu a primeira grande confirmação observacional de uma das minhas previsões da Teoria da Relatividade Geral; a de que a luz, de fato, se curva na presença do campo gravitacional do Sol, como eu havia previsto; mas, apesar disso as Ondas Gravitacionais permaneceram ainda uma dúvida. Eu mesmo, apesar dos meus cálculos não estava convencido de sua existência.

- E quando, afinal, o senhor resolveu essa sua dúvida? - Pergunta Van Borbha.

- Na verdade, eu ainda persisti com ela durante muito tempo. Para que o senhor tenha uma ideia da dificuldade suscitada em minha mente, em 1936, eu e meu assistente Nathan Rosen escrevemos um trabalho questionando a existência das Ondas Gravitacionais e nossa posição foi, naquela ocasião, contrária à sua existência. Seu título era exatamente *Do Gravitational Waves Exist?*; ou em português: *Existem as Ondas Gravitacionais?* Mas, curiosamente, ao submetermos o nosso artigo à publicação na *Physical Review*; um *referee* apontou um erro no mesmo.

- Outro erro, Herr Einstein? Diz Calina um tanto assustada.

- Sim, madame Calina! Outro erro! Mas, dessa vez, eu não tive muita paciência em aceitar a forma como a correção havia sido feita e mesmo alterando o artigo, nós resolvemos publicar o mesmo em outro periódico, o *Journal of the Franklin Institute* e com uma conclusão completamente diferente daquela à qual havíamos chegado inicialmente no artigo original e com um título mais cauteloso: *On Gravitational Waves* ou em português: *Sobre as Ondas Gravitacionais*; deixando, porém agora a questão de sua existência em aberto. Na verdade, mesmo em 1936, eu ainda não estava convencido mesmo da existência das Ondas Gravitacionais.

- O senhor oscilou bastante nesse meio tempo a esse respeito, não foi? - Digo

eu cautelosamente.

- É verdade! Já em 1916, como eu contei antes, eu formulara a existência das Ondas Gravitacionais como parte integrante inicial da minha Teoria da Relatividade Geral; mas quando eu mergulhei mais profundamente na matemática envolvida, eu fui levado a pensar que elas não deveriam existir. E pelas duas décadas seguintes eu oscilei em minhas convicções a esse respeito até achar que, de fato, elas deveriam existir.

Eu tento ser ainda mais cauteloso neste ponto, mas não consigo deixar de lembrar o velho Albert de alguns detalhes que ele parece haver esquecido em sua narrativa do caso do artigo enviado à *Physical Review* em 1936:

- Mas, qual havia sido exatamente a conclusão inicial naquele primeiro artigo que o senhor escreveu com o Rosen em 1936 e que havia sido enviado à *Physical Review*?

O velho Albert tossiu e fala lentamente:

- Veja, em uma carta que eu escrevi ao meu amigo Max Born em algum momento, não me lembro bem da data, em 1936, eu disse que: "juntamente com um jovem colaborador, eu cheguei ao resultado interessante de que as Ondas Gravitacionais não existem, embora elas tivessem sido assumidas como uma certeza em uma primeira aproximação. Isso mostra que as Equações Relativistas não-lineares do Campo podem nos dizer mais ou, pelo contrário, limitar-nos mais do que temos acreditado até agora".

- Eu li essa sua carta em seus *Collected Papers*, Herr Einstein e por isso é que lhe pergunto isso. Na verdade, o Leopold Infeld chegou para trabalhar com o senhor em Princeton exatamente nesta ocasião, em 1936 e ele escreveu em seu livro autobiográfico de 1941, intitulado *Quest*, na página 239, que ficara chocado com a conclusão à qual o senhor e o Rosen haviam chegado sobre a não existência das Ondas Gravitacionais.

- É verdade! Mas, eu lhe apresentei os meus argumentos teóricos e ele se convenceu de nossa interpretação. Ele até mesmo elaborou a sua própria versão da mesma prova; o que reforçou a sua crença no nosso resultado negativo.

O Charles Robert Des Saints entra em cena, neste momento, para tentar jogar um pouco água fria na polêmica questão que pode incomodar o nosso querido Albert.

- É verdade, Herr Einstein! O próprio Infeld reconhece isso na página 243 do livro que o Alexandre citou.

Nosso grande cientista dá um sorriso de felicidade com a observação do Charles

Robert; mas eu prefiro me arriscar um pouco mais para obter uma entrevista ainda mais substancial de nosso ilustre personagem; mesmo correndo o enorme risco de contrariá-lo e colocar tudo a perder.

- Certamente, Herr Einstein! Mas, quando o John Tate, editor da *Physical Review*, lhe devolveu o artigo com o parecer do referee; o senhor parece que não absorveu bem a crítica feita pelo mesmo. - Digo isso e fico esperando com grande receio a reação do velhinho. Entretanto, para minha surpresa, ele não se abala como fizera antes no caso da injusta acusação lançada contra ele por seus detratores no caso envolvendo o Hilbert que ele já havia anteriormente mencionado. Ao contrário, ele fala pausadamente e sem demonstrar qualquer emoção.

- Estamos em 2016 e, portanto já faz muito tempo que eu morri; em 1955. É natural que eu veja essas coisas hoje de um modo diferente e menos emotivo do que as via em 1936. Naquela época eu estava muito envolvido com aquelas ideias ainda incertas e talvez eu não tenha tido a melhor reação emocional possível às críticas recebidas.

Eu fico feliz em ouvir aquilo e noto que os amigos também ficam mais tranquilos. O Albert prossegue sua narrativa, agora de forma espontânea.

- Realmente, o Tate me escreveu em 23 de julho de 1936 comunicando a posição do *referee* e as suas críticas e me disse que ficaria feliz em saber da minha reação aos vários comentários e críticas do mesmo ao nosso artigo.

- E qual foi exatamente a sua reação, Herr Einstein? - Diz Calina, um tanto apreensiva.

- Olhe! Não foi das melhores! Não foi nada de que eu possa ainda me orgulhar hoje. Eu agi com o coração e isso nem sempre é muito sábio. Eu respondi ao Tate de uma forma um tanto prepotente ao lhe escrever textualmente: "Caro senhor, Nós (o Sr. Rosen e eu) tínhamos enviado o nosso manuscrito para publicação e não havíamos lhe autorizado a mostrar o mesmo a especialistas antes de ser ele impresso. Não vejo razão para abordar os comentários - em todo caso errôneos - de seu especialista anônimo. Com base neste incidente preferimos publicar o nosso artigo em outro

Em uma carta que eu escrevi ao meu amigo Max Born em algum momento, não me lembro bem da data, em 1936, eu disse que: "juntamente com um jovem colaborador, eu cheguei ao resultado interessante de que as Ondas Gravitacionais não existem, embora elas tivessem sido assumidas como uma certeza em uma primeira aproximação"

lugar. Respeitosamente". E assinei o meu nome; colocando ainda a observação de que o Rosen havia viajado para a União Soviética e me autorizado a representá-lo naquela questão.

- E como o John Tate reagiu a esta sua; podemos dizer "dura" resposta, Herr Einstein? Pergunta um tanto surpreso, o Carlos Reys.

- O Tate foi muito elegante comigo; mas ainda assim bastante firme. Eu, na verdade, não estava habituado aos costumes das publicações anglo-saxônicas, muito mais burocráticas que aquelas mais pessoais com as quais eu já me habituara na Alemanha. E desta forma, eu devo ter sido um tanto rude e infeliz naquela ocasião. Vendo hoje o caminho que o tema tomou, eu percebo o quanto agi de forma emocional. Tate me respondeu que lamentava a minha decisão de retirar o artigo, mas afirmou também que, como editor da revista, ele não iria anular o procedimento de revisão da mesma. Em particular, ele afirmou que "não podia aceitar para publicação na *Physical Review* um artigo que o autor não estava disposto a mostrar ao seu Conselho Editorial antes da publicação".

- Ele lhe escreveu isso, Herr Einstein? Puxa! - Diz o nosso amigo Van Borbha.

- Sim, Mr. Van Borbha! Ele me escreveu isso em 30 de julho de 1936 e a referida carta está em meus *Collected Papers*, como os senhores devem saber, eu presumo. O fato é que eu me desagradei daquele procedimento e não mais tentei publicar ali. Depois nós enviamos o nosso artigo para ser publicado, como disse antes, na Revista do Instituto Franklin da Philadelphia.

Eu tento mudar o rumo da prosa e vou direto ao ponto:

- Permita-me deixar um pouco de lado essa questão histórica mais pessoal e emotiva como o senhor hoje mesmo reconhece e que caracterizou a sua reação àquela época, Herr Einstein. Como, entretanto, o senhor veio a reformular posteriormente essa sua interpretação sobre a não existência das Ondas Gravitacionais, eu gostaria de saber exatamente o que lhe levou, em conjunto com o Rosen, a vislumbrar inicialmente aquele surpreendente resultado negativo.

- Na verdade, eu acho que o equívoco

se deu já no ponto de partida. Eu e o Rosen tínhamos a intenção de encontrar uma solução exata para as Equações de Campo da Relatividade Geral que descreviam as Ondas Gravitacionais planas, e nos vimos incapazes de fazê-lo sem a introdução de singularidades para os componentes da métrica que descreve a referida onda. Como resultado nós achamos que poderíamos mostrar que nenhuma solução regular periódica do tipo ondulatório seria possível para as referidas Equações. Ou seja, que as Ondas Gravitacionais não deveriam existir.

- E como foi exatamente a forma como o senhor veio a mudar de opinião a esse respeito? Eu pergunto isso tanto do ponto de vista mais técnico, como também no sentido de saber o que foi aquilo que possivelmente o tenha influenciado na sua mudança de interpretação. - Pergunta, novamente o Carlos Reys.

- Veja, Dom Carlos; não é fácil encontrar uma resposta precisa para a origem das nossas próprias ideias e de nossas mudanças interpretativas assumidas. Às vezes, ao comunicarmos uma ideia que tivemos, nós reengendramos o percurso psicológico da gênese da mesma; de modo que o nosso contexto da justificativa das nossas ideias nem sempre coincide com o contexto de sua descoberta ou de sua elaboração. O Poincaré falava muito sobre essa dimensão intuitiva, por vezes inalcançável, de nossa mente criadora. E na juventude, eu li muito as coisas do Poincaré; especialmente o seu maravilhoso livro "La Science et l'Hypothèse".

- Mas, Herr Einstein, mesmo se o senhor pudesse elaborar agora uma possível reconstrução racional dos eventos ocorridos naquela ocasião, para usar a clássica expressão do Imre Lakatos, isso já nos seria algo muito valioso, nestas circunstâncias; mesmo que não possamos garantir, ainda que com seu esforço de memória, qual tenha sido o verdadeiro percurso cognitivo criador seguido pelo senhor. - Digo eu, me arriscando novamente a colocar tudo a perder.

A reação do velho Albert, entretanto, é surpreendentemente tranquila. Ele tenta pausadamente reconstruir os fatos históricos ocorridos a esse respeito baseando-se em suas boas lembranças devidamente documentadas em seus Collected Papers.

- O que eu posso dizer com segurança, neste caso; é que em julho de 1936, o Howard Percy Robertson, que era também um influente estudioso da Relatividade Geral; voltara para Princeton após um ano sabático em Pasadena e, posteriormente, ele fez amizade com o Leopold Infeld que também havia chegado recentemente para

trabalhar comigo. O Robertson disse ao Infeld que ele não acreditava que o resultado negativo obtido por mim e pelo Rosen estivesse correto. Ele também examinou a tal solução que o Infeld havia elaborado após aquela nossa conversa na qual eu o convencera da validade de nosso argumento e lhe mostrou que ela estava errada. E juntos, eles descobriram também a fonte do erro. O Infeld diz isso explicitamente em suas memórias publicadas em 1941, na página 241, no livro autobiográfico dele, o *Quest*, que você e o Monsieur Des Saints citaram há poucos instantes.

- Eu também li isso no livro de memórias do Infeld, Herr Einstein. - Assevera o Charles Robert.

- Pois bem! Eu não posso garantir que este tenha sido mesmo o percurso cognitivo da minha mudança de pensamento a esse respeito; mas de fato, o Infeld me mostrou a fonte do erro.

- O Infeld é um personagem enigmático que sempre viveu na sua sombra, Herr Einstein. Eu certa vez escrevi, em parceria com um amigo, o Rogério Porto, um artigo sobre a sua vida e a sua obra. Aquele influente livro *A Evolução da Física* que muitos atribuem apenas ao senhor, mas que tem a coautoria do Infeld; é algo que inspirou muita gente a fazer Física. - Digo eu.

- Na verdade, aquele livro foi escrito mesmo pelo Infeld a partir do que ele concebia como sendo a minha visão de mundo muito peculiar a respeito da Física e que não era muito diferente da visão dele mesmo. Eu li os originais daquele livro elaborado pelo Infeld e dei algumas sugestões e alguns retoques finais; mas foi uma parceria bastante assimétrica em termos de escrita e ele é realmente o principal autor do texto, ainda que inspirado em minhas ideias.

- Mas, voltando novamente ao caso das Ondas Gravitacionais, Herr Einstein. - Diz Van Borbha - Como foi mesmo que o senhor mudou de ideia? Qual foi mesmo a fonte do erro que o senhor mencionou que o Infeld lhe apontou após a conversa com o Howard Robertson? O senhor reconheceu, digamos assim, a "mãozinha" dada pelo Robertson? Risos...

Eu me espanto ao ouvir aquela pergunta direta e até mesmo um tanto atrevida feita ao velho Albert pelo nosso amigo holandês. O Carlos Reys abaixa a cabeça como quem não quer nem ver o semblante do velho ao ouvir aquilo. O Charles Robert arregala os olhos e a Calina olha apreensiva para seu professor Cyrano Bahr Etto. Faz-se, então, um silêncio apreensivo; mas, logo em seguida o velho Albert

dá um sorriso amarelo, para a nossa felicidade, e tenta explicar calmamente o ocorrido.

- Eu percebo que vocês estão aflitos em me questionarem sobre este tema; mas fiquem tranquilos, pois como eu já disse antes, o tempo me fez ver as coisas de forma diferente e as minhas atitudes emocionais tomadas naquela época não refletem a continuidade do meu trabalho na área.

Todos nós respiramos aliviados e o velho Albert, sutilmente, percebe isso.

- Vejam! Eu fiz as necessárias alterações no nosso artigo de 1936 antes de enviá-lo à Revista do Instituto Franklin em 13 de novembro de 1936. E elas eram um claro retrato de que eu havia concordado com aquilo que o Infeld havia me mostrado. Eu até anexeí uma nota ao artigo reconhecendo a ajuda recebida indiretamente do Robertson através do Infeld. É verdade que eu não fui muito explícito em explicar o que essa ajuda havia sido. Mas isso não deve ser interpretado como um gesto de ingratidão. Na verdade, eu, sempre fui muito conciso em meus escritos. Vocês se lembram do meu trabalho original sobre a Relatividade Restrita de 1905? Era muito conciso! Ia direto ao ponto!

Van Borbha volta ao ataque:

- Certamente, nós compreendemos isso, Herr Einstein. Todos nós sabemos de sua forma sempre concisa de escrever. Mas, em que consistia, mesmo, o erro detectado pelo Robertson e que influenciou a sua mudança de opinião?

- Acho que a questão principal, Mr. Van Borbha, parece que foi ele haver apontado que a singularidade poderia ser evitada através da construção de uma solução de onda cilíndrica e não plana como nós havíamos tentado.

- E o que dizer do parecer do referee da Physical Review, Herr Einstein? Ele guardava alguma semelhança com a opinião dada pelo Robertson? - Ataca mais uma vez, imprudentemente, o nosso amigo holandês, agora sem maiores receios.

- Para ser sincero, Mr. Van Borbha, eu acho que sim! Eu não devo ter compreendido bem as sugestões do referee no momento que as li apressadamente e acho que agi de "cabeça quente", como ouvi falar lá em Campina Grande. Risos...

Todos nós damos um aliviado sorriso enquanto o velho Albert prossegue espontaneamente a sua delicada narrativa histórica.

- Talvez, eu não devesse ter descartado de imediato os comentários do referee sem os analisar em maior profundidade. Foi como eu disse antes, uma reação infeliz

tomada naquela época. O referee havia observado, apropriadamente, que a métrica adotada por mim e pelo Rosen se fosse posta em coordenadas cilíndricas, poderia remover a aparente dificuldade e, portanto apontar para um resultado diferente. Ele até apontara que facilmente eu poderia observar estar assim descrevendo ondas cilíndricas. Esse relatório do referee está hoje em meus *Collected Papers* e não há porque negar isso.

- O senhor acha que o Robertson pode ter sido exatamente o tal referee anônimo, Herr Einstein? - Pergunta Calina e o Cyrano concorda com ela:

- É mesmo, Herr Einstein! Não deveria haver muitos físicos, naquela época, em plenas condições de entenderem tão bem a Relatividade Geral e em tamanha profundidade a ponto de conseguirem compreender o seu trabalho neste nível de sugestão. Parece razoável essa hipótese da Calina.

- Eu não sei, Monsieur Bahr Etto. Talvez tenha sido ele mesmo; mas se foi, ele tentou disfarçar muito bem ao escrever para o John Tate, editor da *Physical Review* e se referir ao parecer como se tivesse sido ele escrito por outra pessoa.

- Mas, isso é intrigante, Herr Einstein! - Diz Cyrano - Pareceres dados em artigos científicos são geralmente documentos reservados. Se o senhor não mostrou o tal parecer ao Robertson e eu presumo que o Tate também não tenha feito isso; como ele sabia do conteúdo do parecer?

- Eu não sei! Sinceramente, não sei e nunca me preocupei com isso. Risos... Mas, quem sabe? Talvez tenha sido ele mesmo. Risos...

- Desculpe, Herr Einstein, eu não quero ser incômodo - Diz mais uma vez Van Borbha - Mas, eu gostaria de saber o que o Robertson disse exatamente ao editor da *Physical Review*. O senhor se lembra?

- Mais ou menos, Mr. Van Borbha! Ele disse em sua carta, datada de 1937 e que eu só soube dela muito depois, que ele estava familiarizado com as críticas do *referee* (eu não sei como) e reclamou com o John Tate por ele haver esquecido de lhe manter informado sobre o artigo apresentado no verão passado pelo seu colaborador mais distinto; que no caso, ironicamente, era eu. Risos...

- Muito esquisita, essa história, Herr Einstein. - Diz novamente o Cyrano.

- Deixem isso para lá! De toda forma, eu errei ao ser impulsivo e não acatar as críticas do referee. Se, foi ele, ou não, isso não me importa. O que me importa é que as correções foram feitas e adotando-se as coordenadas cilíndricas foi possível mostrar que as Ondas Gravitacionais

deveriam mesmo existir e serem ondas cilíndricas. De todo modo, eu me beneficieei dos conselhos do referee, mesmo que de uma forma indireta e tortuosa.

- O senhor acha, então que o grande mérito dessa solução pode ser creditado à sugestão original do Robertson? - Pergunta o Van Borbha, mais provocativamente do que nunca.

- Eu não sei, Mr. Van Borbha! Mas acho que a sugestão dele foi muito válida; mas não exatamente original.

- Como, assim, Herr Einstein? Eu não compreendi! - Diz o Carlos Reys. - O senhor não havia tentado achar uma solução de ondas planas sem sucesso? A solução elegante das ondas cilíndricas não é um mérito a ser atribuído à sugestão do Robertson?

- No que me toca, sim! Mas, o Guido Beck, um físico austríaco que havia concluído o seu doutorado em 1925, sob a orientação do Hans Thirring, já havia publicado, naquele mesmo ano de 1925, uma sugestão semelhante.

- E o senhor sabia disso? - Pergunta um tanto atrevidamente o Cyrano.

- Claro que não, Monsier Bahr Etto! Se eu e o Rosen soubéssemos disso, não teríamos tentado a solução improdutiva das ondas planas.

Charles Robert sente que o velho dessa vez não gostou da pergunta do Cyrano e tenta logo mudar o rumo da prosa falando um pouco mais do Guido Beck.

- O Guido trabalhou longo tempo no Brasil, Herr Einstein. Ele foi professor do CBPF, no Rio de Janeiro; isso depois de 1951. Antes, entre 1929 e 1932, ele havia sido assistente do Heisenberg em Leipzig. Em 1935 ele se mudou para a União Soviética e em seguida para a França. Em 1941, ele se mudou para Portugal e em 1943 emigrou para a Argentina onde foi trabalhar no Observatório de Córdoba e no ano seguinte foi um dos fundadores da Associação de Física Argentina. Em 1951 ele mudou-se para o Brasil, indo primeiro para o CBPF e depois para a Universidade de São Paulo. https://pt.wikipedia.org/wiki/Guido_Beck. Ele voltou em 1962 para a Argentina e retornou ao Brasil em 1975, onde residiu até a sua morte, aos 85 anos de idade, em 1988, no Rio de Janeiro.

- Mas, infelizmente, mesmo em 1936, eu ainda não conhecia essa solução do Guido Beck e tive de refazer as coisas do modo que descrevi antes. De todo modo, a sua solução, proposta em seu artigo de 1925, infelizmente parece ter tido pouco impacto por ter sido praticamente ignorada.

- E como foi a sequência do seu traba-

lho no tocante às Ondas Gravitacionais? - Pergunta Calina.

- Sinceramente, para clarificar a situação do impasse teórico à qual havíamos chegado em 1936 ainda foi necessário desenvolver vários novos esquemas de aproximações. Um dos primeiros foi aquele que eu e meus dois assistentes em Princeton, o Leopold Infeld e o Banesh Hoffmann elaboramos em 1938 e que nos conduziu à formulação das hoje famosas Equações EIH, em referência às iniciais dos nossos nomes.

- Em que consistia esse novo esquema proposto em 1938, Herr Einstein? - Pergunta o Carlos Reys.

- Era um tratamento matemático pós-Newtoniano, Dom Carlos, para descrever os movimentos de corpos que se moviam lentamente. Segundo nossa aproximação EIH, não existia radiação até a ordem de v/c elevado à quarta potência; a energia permanecia constante. A fórmula do quadrupolo, sobre a qual vocês haviam me perguntado no início de nossa conversa; aparece, entretanto, já na próxima ordem de grandeza; mas isso só foi demonstrado em 1947 pelo Ning Hu.

- Com todas essas idas e vindas ocorridas no desenvolvimento teórico das soluções das Equações do Campo Gravitacional da Relatividade Geral, o senhor, em algum momento; chegou a duvidar da validade da Teoria como um todo? Assim como fez, ao longo do tempo, em relação às Ondas Gravitacionais? - Pergunta o nosso amigo cubano.

- Jamais, Dom Carlos! Note que a Teoria da Relatividade Geral é algo muito mais grandioso que as suas particulares decorrências teóricas, por mais belas e fundamentais que elas sejam. Ela é um edifício consistente que se baseia nas Equações do Campo Gravitacional, cujas soluções conduzem a diversos, importantes e revolucionários conceitos físicos como as Ondas Gravitacionais, os Buracos Negros, as Lentes Gravitacionais, a Energia Escura... Eu nunca duvidei um único momento sequer da validade da Teoria da Relatividade Geral. Certa vez quando me perguntaram sobre a possibilidade meramente hipotética de que um teste observacional pudesse invalidar a referida Teoria, eu fui bem claro ao afirmar ironicamente que se isso viesse a ocorrer, "então eu sentiria pesar pela obra do Senhor, pois a Teoria estaria correta de todo modo". Risos...

Cyrano, um ateu convicto; dá um largo sorriso com essa observação irônica do velho Albert que frequentemente fazia questão de expressar, de forma elegante, o seu sofisticado panteísmo derivado das leituras do Spinoza; enquanto Calina, reli-

giosa de carteirinha; faz cara de quem não gostou muito do que ouviu. Risos...

- Mas, como fica Deus em sua Teoria, Herr Einstein? - Pergunta ela de forma direta.

- Eu sempre me coloquei como um seguidor do Spinoza no sentido de que apesar de não acreditar em um Deus antropomórfico, sempre admiti que devesse haver uma Ordem Matemática subjacente ao Cosmos. Apenas, neste sentido filosófico, me parece válido se identificar possivelmente esta Ordem Matemática Suprema com um significado talvez divino; mas absolutamente diferente dos muitos cultos e religiões que conheço. Esse sentido de uma Ordem Matemática Suprema no Universo pode certamente conter um esboço de religiosidade; mas não se confunde jamais com uma religião. Eu dei longas entrevistas sobre isso ao meu amigo Max Jammer que escreveu baseado nelas, um livro muito interessante.

- Herr Einstein, nosso papo está muito bom; mas essa sua entrevista está ficando muito longa e eu temo que o nosso editor da FnE não vá querer publicá-la na íntegra. O senhor poderia tentar abreviar o seu relato que se segue e chegar logo na detecção mais recente das Ondas Gravitacionais?

- Certamente! Mesmo porque eu só participei ativamente dessa história até 1955 quando morri. Dai por diante foi só me informar pelos livros, pelas revistas científicas e, mais recentemente, pela Internet. Por isso, eu conheço razoavelmente todo o caminho que se seguiu à minha morte e posso tentar abreviar o seu relato.

- Por mais que eu simpatize com o senhor, Herr Einstein, eu não consigo digerir direito esse negócio maluco de o senhor estar aqui conversando conosco depois de morto. Eu sou ateu convicto e isso fere os meus princípios fundamentais. - Diz enfaticamente o Cyrano. Isso é coisa da cabeça do Alexandre que mete os amigos nesses micos dessas suas entrevistas construídas. Risos...

Eu, um reles e anárquico cético da vida; finjo que não ouço a reclamação do Cyrano, mas não deixo de sorrir para ele em face do seu visível inconformismo com a licença literária dessas minhas ficções baseadas em fatos reais e que tem apenas um objetivo didático: o de tornar coisas muitos difíceis um pouco mais palatáveis e, quem sabe, até mesmo, quando possível, um pouco divertidas.

O Charles Robert vem em meu socorro e reforça o meu pedido ao velho Albert para continuar a sua narrativa de forma mais abreviada e direta.

- E como era o cenário mais amplo das pesquisas sobre as Ondas Gravitacionais, naquela época, Herr Einstein?

- Na verdade, Monsieur Des Saints, como o senhor deve saber as Ondas Gravitacionais e a própria Relatividade Geral não se constituíram inicialmente em um tema muito atraente para os físicos. O período que vai da década de 1920 até os anos 1950 tem sido chamado por isso mesmo de "linha de baixa da Relatividade Geral". Aqueles poucos físicos que trabalhavam sobre o assunto naquela época estavam mais interessados em encontrar uma nova teoria para substituir a Relatividade Geral, que pudesse abranger ou mesmo explicar os novos e instigantes desenvolvimentos na Teoria Quântica; ou na discussão de questões mais gerais relacionadas com a Cosmologia, como a Evolução do Universo como um todo. E mesmo esses poucos físicos estavam espalhados por todo o mundo e só raramente trocavam seus resultados ou ideias. Não havia, em outras palavras, um reconhecido campo de pesquisas chamado de "Relatividade Geral (e Gravitação)" como existe atualmente, com instituições científicas inteiras dedicadas a ele.

- O que tem a ver a Mecânica Quântica com os estudos sobre a Relatividade Geral e mais especificamente sobre as Ondas Gravitacionais, Herr Einstein? - Pergunta Calina.

- Não havia e ainda não há um encontro realmente produtivo entre as duas, madame Calina. O trabalho do Dirac foi, talvez, a última tentativa realmente produtiva nessa direção; mas que envolveu apenas a Relatividade Restrita em sua Quantização bem sucedida do Campo Eletromagnético, ainda que ele tenha se defrontado com dificuldades que foram posteriormente confrontadas pelo Feynman. Na verdade, se eu não simpatizava com o que me parecia um exagerado recurso às descrições meramente probabilísticas da realidade conferidas pelos fundadores da Mecânica Quântica para representar a natureza e sempre acreditei na possibilidade, mesmo remota, de se encontrar algo como uma estrutura fina subjacente às limitações impostas, por exemplo, pelo Princípio da Incerteza do Heisenberg; e discuti isso muitas vezes com meu amigo Bohr, quando fomos colegas em Princeton; sou forçado a admitir que, da perspectiva deles, também existiam problemas em relação às minhas ideias.

- Por favor, seja mais claro, Herr Einstein. - Diz Charles Robert.

- É que na perspectiva deles, da Escola de Copenhague, Monsieur Des Saints, minha equação também criava um proble-

ma, porque ela não lida de forma harmônica com a Mecânica Quântica. A Relatividade Geral é uma teoria extraordinariamente bem sucedida, fornecendo previsões corretas para tudo, desde a Terra e até os aglomerados de galáxias; mas a forma como ela funciona é fundamentalmente incompatível com os métodos convencionais utilizados na Mecânica Quântica. Por quase cem anos, os físicos têm se confrontado com este problema tentando conciliar essas duas teorias; mas nada que eles tentaram até agora foi realmente capaz de produzir algo como uma verdadeira Teoria Quântica da Gravidade.

- Herr Einstein, essa é uma belíssima discussão e eu noto que o senhor não tentou agora aprofundar suas críticas históricas à Escola de Copenhague e que hoje precisariam levar em conta também as recentes descobertas em relação ao emaranhamento quântico. Sua observação de que não se conseguiu ainda construir algo como uma Teoria Quântica da Gravidade, em que pese as muitas tentativas dos teóricos de Cordas, me parece por isso relevante e cautelosa. Mas, apesar da enorme importância deste debate filosófico, voltamos, por favor, ao nosso tema central.

- Eu entendo o seu ponto de vista, mas note que eu só toquei nesse assunto mais filosófico porque ele me pareceu necessário para responder ao questionamento do Monsieur Des Saints. As pesquisas em Relatividade Geral e em especial as considerações sobre as Ondas Gravitacionais sofreram certo atraso e eu diria que a forma de ver a própria Relatividade Geral começou a mudar apenas na metade dos anos 1950.

- Mas, por que a situação das pesquisas em Relatividade Geral mudou e quando ela mudou, Herr Einstein?

- Há uma forte componente social nesta questão. O renascimento da Relatividade Geral só foi possível devido aos consideráveis financiamentos disponibilizados para a Física Teórica após a Segunda Guerra Mundial, assim como pela possibilidade aberta dos cientistas cruzarem as fronteiras internacionais. Mas, a principal força motriz foram os próprios físicos que passaram a reconhecer o enorme potencial para estabelecer uma vibrante comunidade interessada em muitos aspectos da Teoria da Relatividade Geral. Conferências, periódicos e uma sociedade internacional dedicada especificamente à Relatividade Geral foram os resultados. Entre as questões mais candentes que poderiam então ser investigadas estavam exatamente a existência e as possíveis propriedades das Ondas Gravitacionais.

- Como isso ocorreu em uma escala

de tempo, Herr Einstein? Pergunta nosso amigo holandês.

- Por volta da metade da década de 1950, Mr. Van Borbha, exatamente na época em que eu subi para o primeiro andar, ainda existia a forte dúvida teórica se as Ondas Gravitacionais poderiam vir mesmo a ser detectadas por qualquer instrumento que o ser humano viesse a construir.

- Oh, professor, não fale assim - Diz Calina visivelmente amargurada. Para mim o que importa é que o senhor está aqui conversando com a gente, nem que seja devido a essas entrevistas malucas do Alexandre, como diz o professor Cyrano. Vá em frente sem falar que já morreu.

Nesse momento Cyrano fala baixinho ao meu lado:

- Agora vai piorar! Ele vai começar a falar no que aconteceu depois que ele morreu. Como é que ele sabe disso? Argh!

- Relaxa, Cyrano! - Digo eu sorrindo para ele - Viaja na licença literária da entrevista e curte a conversa do velho.

- E então, Herr Einstein, como se deu o ponto de inflexão? - Pergunta sorrindo o Cyrano.

- Logo após a minha morte, discussões acaloradas sobre as Ondas Gravitacionais tiveram lugar na primeira Conferência Internacional inteiramente dedicado à Relatividade Geral realizada em Berna em 1955. Dois anos mais tarde, uma conferência complementar foi realizada em Chapel Hill, na Carolina do Norte. Baseado no trabalho realizado pelo meu amigo, o físico anglo-austríaco Hermann Bondi e pelo físico norte-americano Richard Feynman, um amplo consenso foi formado de que as Ondas Gravitacionais deveriam ser mesmo reais e que elas carregavam energia.

- Mas, como se deu a construção desse consenso, Herr Einstein? - Pergunta Carlos Reys.

- O Richard Feynman e o Hermann Bondi desenvolveram um convincente "experimento em pensamento" denominado de "contas pegajosas". Uma versão "simples" desse "experimento em pensamento" consiste em supor que se tenha algumas contas enfiadas em uma vara pegajosa. Suponha que uma Onda Gravitacional vem e acelera as referidas contas. Estas contas iriam se mover e devido ao atrito iriam transferir um pouco de calor à haste. Esta poderia vir a ser uma hipotética "prova" de que as Ondas Gravitacionais devem transportar energia e que, teoricamente, elas são detectáveis.

- Esse foi realmente o caminho experimental seguido na caça das Ondas Gravitacionais, Herr Einstein? - Pergunta nos-

so amigo holandês.

- Não, Mr. Van Borbha! Outro pesquisador neste campo, o Joseph Webber, da Universidade de Maryland; levantou uma objeção muito razoável, ao afirmar que a tecnologia existente na época era muito pouco sensível para detectar estas ondas gravitacionais, por fatores de bilhões.

- Então, a coisa parou novamente, Herr Einstein? - Pergunta Charles Robert.

- Não, Monsieur Des Saints! As primeiras tentativas para observar os pequenos efeitos produzidos por tais ondas foram feitas exatamente pelo Joseph Weber utilizando um dispositivo que parecia um xilofone. Com alguns assistentes e estudantes, Weber começou sua experimentação por volta de 1960. Após quase uma década, ele anunciou que havia conseguido coletar provas convincentes da existência das ondas gravitacionais. O trabalho do Weber teve um impacto significativo sobre a comunidade científica, o que provocou uma série de experimentos feitos por outros físicos para testar os seus resultados. Nenhum deles, entretanto, conseguiu confirmar as conclusões de Weber; levando, assim, a uma longa e efervescente controvérsia na qual se revelou a importância dos fatores sociais sobre a maneira pela qual as controvérsias científicas a respeito dos resultados experimentais se desdobram e como elas terminam. Embora um consenso finalmente tenha emergido de que nenhuma onda gravitacional havia sido observada nos experimentos de Weber, novas técnicas e metodologias foram desenvolvidas e mais tarde vieram a constituir a base de máquinas maiores, incluindo o LIGO.

- Puxa, Herr Einstein! Gostei de saber dessa alegada influência de fatores sociais na construção de um consenso a respeito da interpretação dos resultados desse experimento do Weber, mesmo sem conhecer ainda os detalhes do caso. Esse negócio de CTSA é a minha área de pesquisa. - Diz o Carlos Reys.

- O que é CTSA, Dom Carlos? - Pergunta sorrindo o velho Albert.

- É a sigla usada, Herr Einstein, para a área de pesquisa em Ensino de Ciências que leva em conta a influência dos fatores tecnológicos e sociais no desenvolvimento e na aprendizagem da Ciência e que engloba hoje aspectos históricos e culturais, assim como outros temas ligados a questões ambientais. Antes se chamava apenas CTS; mas, com o tempo, a relevância das questões ambientais fez o seu nome ser ampliado para CTSA. - Explica Carlos Reys.

- Eu também trabalho com isso. Fiz

o mestrado com o professor Cyrano sobre isso. - Diz Calina.

- Eu também posso dizer que hoje essa é a minha área de atuação, Herr Einstein. Apesar de ter uma carreira em Física Experimental, eu escrevi recentemente um livro sobre Energia com esse enfoque interdisciplinar. - Diz o Charles Robert.

- Muito bem! Então esse novo percurso tomado pelas pesquisas em Relatividade Geral depois de minha morte pode ser tido como um exemplo relevante para esse tipo de estudo que vocês chamam de CTS. Os fatores sociais sempre jogaram um papel importante no desenvolvimento da Ciência. A utilidade prática das coisas e a tecnologia, por exemplo. Vocês talvez achem até estranho que um físico teórico como eu diga algo assim.

- Eu não acho nada, Herr Einstein! - Observa o Cyrano - O senhor é apenas um personagem dessa conversa maluca inventada pelo Alexandre. A culpa é dele e não do senhor. Vai ver que o senhor nunca se interessou mesmo por questões práticas e nem tecnológicas. Está dizendo isso só para nos agradar.

- Nada disso, Monsieur Bahr Etto! Eu apesar de ter sido um dos mais influentes físicos teóricos de todos os tempos, sempre fui muito interessado também em tecnologia e nas suas aplicações e implicações sociais, assim como também em educação e em política.

- É verdade, Cyrano! - Diz o Carlos Reys. Eu estudei na Rússia e lá li um livro maravilhoso sobre as muitas invenções tecnológicas de Herr Einstein escrito por Frenkel e Yavelov, chamado *Einstein o Inventor*. Ele inventou e até patenteou diversos modelos de muitas coisas práticas; de geladeira a compasso magnético. Eu mesmo escrevi umas notas para um artigo sobre esse seu invento da geladeira.

- Que bom saber disso! Não sabia que já haviam escrito livros sobre esse meu lado de pouco conhecido de apaixonado pelas tecnologias. Como eu também gostava muito de Educação, se eu ainda estivesse na ativa, esse negócio de CTSA poderia ser também um campo de estudos do meu interesse.

- Nós ficamos muito felizes com esse seu apoio, Herr Einstein; mas, por favor, termine sua narrativa sobre a descoberta das Ondas Gravitacionais. O Nelson, editor da revista, não imagina como o senhor fala pelos cotovelos e mais do que o homem da cobra. Risos... Ele pensa que é sopa escrever essa sua entrevista com o senhor mudando de assunto em torno do nosso tema central a todo o momento. O Tycho Brahe era bem mais direto que o senhor. E essa já é a sua segunda entre-

vista. Na primeira, alguns anos atrás, até que o senhor falou menos e foi mais direto.

Noto que Albert não gosta muito do meu comentário.

- Se você quiser fazer uma entrevista mais curta; vá conversar com o Dirac. Ele costuma dar poucas palavras. Risos...

- Talvez, outro dia, Herr Einstein; mas, agora, eu agradeceria muito que o senhor, se possível, continuasse a sua narrativa.

- Tudo bem! Onde eu estava?

- Estava falando dos resultados negativos dos experimentos do Weber na tentativa de detecção das ondas gravitacionais nos anos 1960.

- Pois bem! Como eu estava dizendo, além dos avanços na tecnologia, um segundo pré-requisito para a detecção direta das Ondas Gravitacionais anunciada recentemente em fevereiro de 2016; foi uma melhor compreensão de suas fontes astronômicas. De fato, uma detecção "indireta" das mesmas já havia sido realizada em 1974, observando-se de perto um sistema binário de estrelas de grande massa orbitando um centro de massa comum e que lentamente perdia energia ao emitir ondas gravitacionais, com a consequência de que as estrelas desaceleravam e se moviam cada vez mais próximas uma da outra. A perda de energia, observada por Joseph Taylor e Russell Hulse, combinava com os cálculos teóricos relativísticos; tendo por isso Hulse e Taylor recebido o Prêmio Nobel de Física em 1993.

- Quer dizer, então que já haviam descoberto as Ondas Gravitacionais antes mesmo desse badalado experimento do LIGO anunciado em fevereiro deste ano de 2016? - Pergunta o Cyrano.

- Não exatamente, Monsieur Bahr Etto! A detecção que deu o Nobel a Taylor e Hulse foi apenas indireta. Essa detecção das ondas gravitacionais recente feita pela equipe do LIGO foi direta, mesmo. Mas, mesmo antes do trabalho do Hulse e do Tayler, ainda em 1962, os físicos russos Gertsenshtein e Pustovoit publicaram um artigo esboçando um método para detectar as Ondas Gravitacionais. As ondas, entretanto, não foram captadas.

- E como se chegou a esse experimento bem recente do LIGO, Herr Einstein? - Pergunta Carlos Reys.

- Em 1972, Dom Carlos, o Rainer Weiss do Massachusetts Institute of Technology (MIT) em Cambridge, nos Estados Unidos; escreveu um artigo descrevendo em linhas gerais o projeto do LIGO. No referido texto, ele propunha um método óptico já bem conhecido, um interferômetro, para detectar as Ondas Gravitacionais.

Mas, voltando um pouco em nossa narrativa, a fonte das ondas gravitacionais detectadas recentemente pelo LIGO é nova, pois ela envolve a colisão de dois buracos negros. O próprio conceito de um buraco negro é algo que resultou de uma nova compreensão das minhas equações relativísticas. Ainda assim, a existência real dos buracos negros só começou a ser levada a sério também depois dos anos 1960, quando observações feitas no campo recém-criado da Radioastronomia indicaram que tais objetos extremos realmente existiam em galáxias distantes. E a tecnologia de rádio que permitiu a obtenção desses resultados havia sido em boa parte desenvolvida como um subproduto das investigações operadas durante a Segunda Guerra Mundial com o RADAR em outro exemplo desse campo que vocês chamam de CTS.

- Muito interessante, Herr Einstein. - Diz o Carlos Reys - Mas, como era a ideia básica desse interferômetro do Rainer Weiss que deu origem ao LIGO?

- Weiss sugeriu uma ideia diferente que iria usar Raios Laser para medir o alongamento e a contração espacial causada por uma Onda Gravitacional que, porventura; passasse pelo seu interferômetro cuja concepção era semelhante ao usado pelo Michelson para estudar a velocidade da luz, ainda no século XIX.

- E como essa ideia progrediu? - Pergunta Van Borbha.

- Em meados dos anos 1970 dois físicos, o Rainer Weiss e o Kip Thorne juntaram os seus esforços com um notável experimentalista, o Ronald Drever. Eles estabeleceram o método de detecção das ondas gravitacionais que consistia em dividir um feixe de laser em dois feixes separados no interferômetro e em seguida, fazê-los passar através de dois braços tubulares em ângulos retos no instrumento. Estes braços tinham quatro quilômetros de extensão e no final de cada um deles havia espelhos dependurados que refletiam os feixes de laser de volta para onde eles haviam efetuado a divisão. Então, esses dois feixes de LASER eram recombinados e atingiam conjuntamente um detector onde era possível se observar o padrão de interferência formado.

- Mas, onde entram, as tais ondas gravitacionais, nesse negócio, Herr Einstein? O senhor só falou em raios LASER desde a fonte até eles atingirem, já recombinados o detector. - Questiona nosso amigo holandês.

- Boa pergunta, Mr. Van Borbha! Suponha que uma onda gravitacional venha ondulando através do nosso sistema solar; ondulando o próprio tecido do espaço-

tempo. Quando ela atingir o instrumento, os braços do mesmo devem mudar de comprimento, e com isso o padrão de interferência dos dois feixes de LASER deve mudar também. Desde a ideia inicial levou cerca de 20 anos; mas, finalmente, em meados dos anos 1990, a construção do LIGO teve início. LIGO significa *Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory* ou Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferometria LASER. E, como vocês sabem bem, em setembro de 2015, a sua importância tornou-se evidente quando a primeira detecção foi feita.

- Mas, antes do LIGO, a equipe de BICEP2 também havia anunciado a mesma descoberta. Como foi isso, Herr Einstein? - Pergunta Cyrano.

- De fato, Monsieur Bahr Etto, em 2014 os pesquisadores do experimento BICEP2 (que se originara no Caltech) anunciaram com grande alarde que eles haviam encontrado as ondas gravitacionais que confirmavam também a existência da Inflação Cósmica, o dramático surto de crescimento do Universo ainda jovem. Uma onda de críticas, entretanto, se seguiu a esse anúncio mostrando que as observações haviam sido confundidas pela poeira galáctica.

- E como foi essa detecção bem sucedida recente do LIGO? - Pergunta Charles Robert.

- As ondas gravitacionais foram captadas em 14 de setembro de 2015 pelos detectores interferométricos gêmeos do LIGO, localizados um em Livingston, na Louisiana e o outro em Hanford, no estado de Washington, nos Estados Unidos; ou seja um na costa Leste e outra na costa Oeste para maximizar a distância entre eles.

- Mas, por que os pesquisadores usaram dois interferômetros, Herr Einstein? Não bastava um? A equipe do LIGO tinha receio que um deles se quebrasse e por isso construíram outro de reserva? E por que tão longe um do outro? - Questiona Calina.

- Na verdade, madame Cacá; não se trata de um instrumento operativo e de outro reserva; pois ambos são utilizados ao mesmo tempo em um processo de triangulação semelhante ao que se faz em Topografia com dois teodolitos para se localizar um objeto. Apenas com um instrumento não seria possível determinar a posição da fonte emissora para depois se investigar sua natureza com poderosos radiotelescópios.

- Entendi! E como essas ondas gravitacionais foram produzidas e qual era essa sua fonte?

- As Ondas gravitacionais carregam

informação acerca das suas origens dramáticas e sobre a natureza da gravidade que não podem ser obtidas de outra forma. Os físicos concluíram que aquelas ondas gravitacionais detectadas haviam sido produzidas durante uma fração de segundo final da fusão de dois buracos negros que geraram um único e mais massivo buraco negro em rotação.

- Mas, que colisões de buracos negros podem ocorrer e que em tais condições deveriam ser produzidas ondas gravitacionais, não era exatamente algo novo. - Observa nosso amigo holandês. - O problema era passar da teoria para a prática.

- Isso mesmo, Van Borbha! Esta colisão de dois buracos negros já tinha sido prevista, mas nunca havia sido observada. Na prática, o que os pesquisadores encontraram foram distorções no tecido do espaço-tempo causadas por dois buracos negros que se chocaram há 1,3 bilhão de anos. A monstruosa colisão lançou ondas gravitacionais em todas as direções até chegarem à Terra no dia 14 de setembro, quando foram captadas pelos instrumentos do LIGO.

- Mas, como funciona mesmo esse interferômetro do LIGO, Herr Einstein? - Pergunta Calina - Eu não visualizei direito

a sua explicação.

O velho Albert tira do bolso um moderno *smartphone*, para nossa surpresa geral, e conecta o mesmo pela Internet em uma página na qual há uma interessante figura ilustrativa e nos diz:

- Para que vocês compreendam melhor os detalhes básicos do método usado no LIGO, vejam essas imagens que eu obtive na Internet. - Fig. 1.

- Notem que o DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS do LIGO consiste, como eu disse antes, de dois TUBOS perpendiculares entre si e rigorosamente de mesmo comprimento. MASSAS ESPELHADAS são suspensas nas extremidades de cada um dos tubos. Um feixe de LASER enviado por uma FONTE localizada no lado esquerdo da figura é dividido em dois outros feixes nesse espelho inclinado do meio da figura e a partir daí esses dois feixes resultantes percorrem respectivamente os dois tubos perpendiculares e são refletidos pelas duas massas espelhadas das extremidades dos mesmos retornando em direção do DETECTOR DE LUZ.

- Agora, vendo essa figura, eu compreendi. - Diz Calina com visível alegria - Mas, onde estão na figura, as tais massas espelhadas penduradas que o senhor

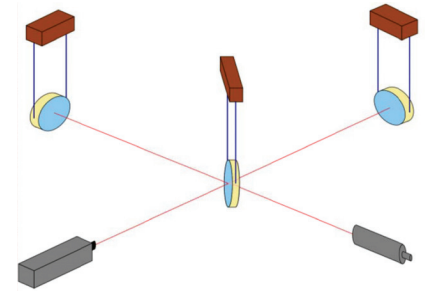


Figura 2: Representação esquemática simplificada do LIGO com seus espelhos defletores.

falou?

- Olhe essa outra figura esquemática ainda mais simples. - Fig. 2.

- Legal! Saquei! Quer dizer, Herr Einstein, que quando uma onda gravitacional passa através do aparelho, as duas massas espelhadas dependuradas nas extremidades dos dois tubos perpendiculares sofrem a sua leve influência e se movem diferentemente de uma distância muito diminuta, mas ainda capaz de provocar uma leve alteração nos comprimentos dos percursos do feixe gerando, assim, um perceptível padrão de interferência?

- Isso mesmo! Acertou em cheio! Os dois feixes de laser são refletidos por espelhos pendurados nas extremidades dos tubos retornando, assim, ao ponto no qual haviam se dividido do feixe original e ali tornam a se recombinar para em seguida atingirem o detector onde o padrão de interferência pode ser analisado.

- E qual é a precisão dessas medidas, Herr Einstein? - Pergunta o Charles Robert.

- É uma precisão colossal, Monsieur Des Saints. Com as novas tecnologias disponíveis, a partir da observação dos padrões de interferência, os físicos podem comparar os comprimentos relativos dos dois braços tubulares do interferômetro com uma incrível precisão de 1/10.000 da largura de um próton.

- UAU! - Dizemos todos nós ao mesmo tempo.

- Pois, é! Essa sensibilidade é suficiente para se perceber a passagem de uma Onda Gravitacional de natureza cilíndrica; uma vez que esta passagem causa uma minúscula dilatação, de outra forma praticamente imperceptível, dos braços do instrumento por diferentes quantidades. Para detectar esses deslocamentos muitíssimo pequenos, no entanto, os cientistas devem amortecer as vibrações, como o ruído das ondas sísmicas, as oscilações do tráfego, e o bater das ondas no litoral distante.

- Como é essa tal onda cilíndrica, Herr Einstein? Eu tenho visto algumas figuras

Esquema de funcionamento dos dois observatórios LIGO

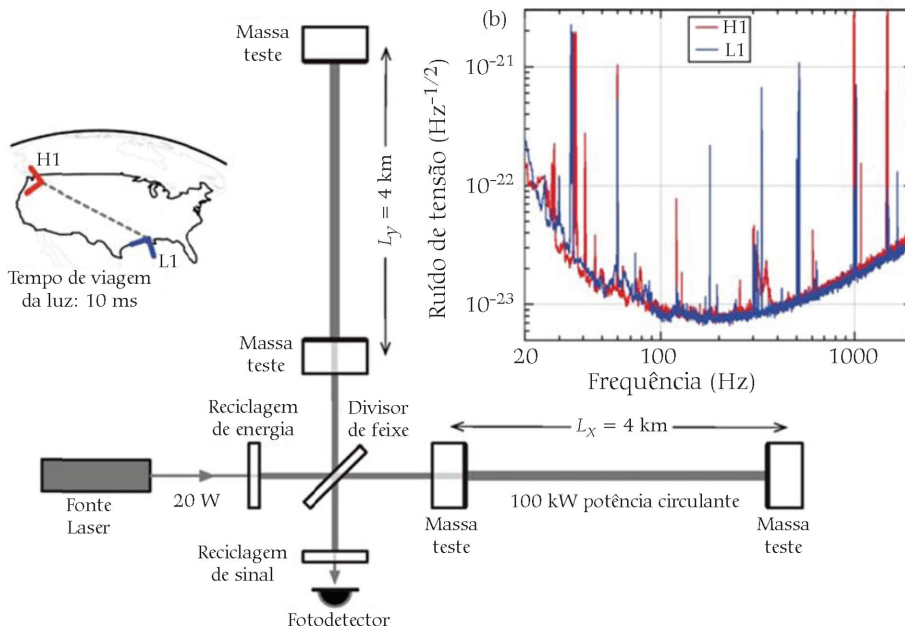


Figura 1: O DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS do LIGO consiste antes, de dois TUBOS perpendiculares entre si e rigorosamente de mesmo comprimento. MASSAS ESPELHADAS são suspensas nas extremidades de cada um dos tubos. Um feixe de LASER enviado por uma FONTE localizada no lado esquerdo da figura é dividido em dois outros feixes nesse espelho inclinado do meio da figura e a partir daí esses dois feixes resultantes percorrem respectivamente os dois tubos perpendiculares e são refletidos pelas duas massas espelhadas das extremidades dos mesmos retornando em direção do DETECTOR DE LUZ.

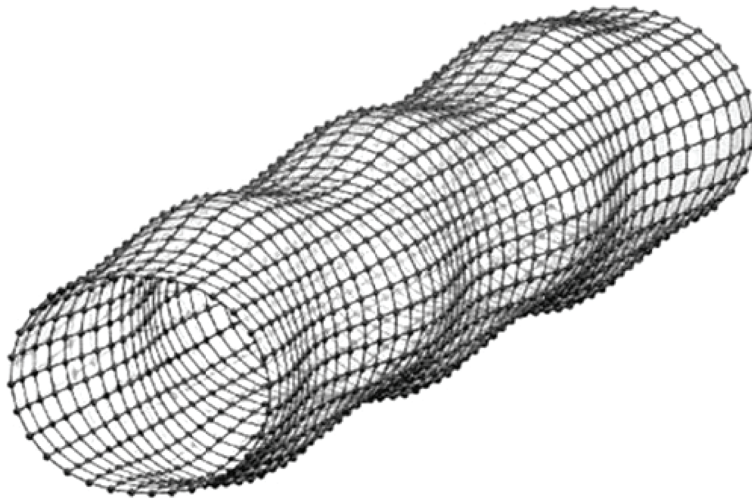


Figura 3: Viajando à velocidade da luz, uma onda gravitacional dilata o espaço em uma

na Internet representando as ondas gravitacionais de uma forma semelhantes às ondas no mar. - Pergunta, novamente, Calina.

- Eu não diria que elas estão rigorosamente erradas, embora estejam mesmo. Risos... O problema é que muitas vezes o autor da figura está querendo representar a geração da onda na fonte emissora e sua captação na Terra sem se preocupar com o seu formato mais preciso. E, convenhamos que em tais circunstâncias não é fácil representar em uma figura assim o formato cilíndrico das ondas gravitacionais. Isso fica mais bem evidenciado em uma

figura específica para tal finalidade, como esta terceira figura. Vejam! - Fig. 3.

- MUITÍSSIMO interessante, Herr Einstein! Diz o nosso amigo cubano - Mas, como podemos visualizar melhor a forma como a tal onda distorce os braços do interferômetro?

- Muito bem, Dom Carlos! Gostei muito do verbo que o senhor empregou ao fazer sua pergunta: "como a onda DISTORCE os braços do interferômetro?". O verbo DISTORCER é interessante, neste contexto, pois pode significar tanto uma DILATAÇÃO quanto um ENCURTAMENTO. E isso tem tudo a ver com a natureza

cilíndrica da onda. Viajando à velocidade da luz, uma onda gravitacional dilata o espaço em uma direção e o encurta em uma direção perpendicular; revertendo em seguida estas mesmas distorções. Vejam esta quarta figura. - Fig. 4.

- Puxa, que legal! - Diz Calina.

- Realmente, Herr Einstein, essa quarta figura é muito ilustrativa de um detalhe pouco discutido em textos de divulgação científica. - Observa nosso amigo holandês.

- E com isso a confirmação da existência das ondas gravitacionais é bem diferente daquela anterior que valeu a Taylor e Hulse o Nobel de 1993. - Diz o Carlos Reys.

- Isso mesmo, Dom Carlos! Com esta descoberta, fica confirmada por uma detecção direta a existência das ondas gravitacionais, a existência de buracos negros e também a coalescência deles em sistemas binários. E tudo isto, coincidentemente, cerca de 100 anos depois da apresentação inicial de minha da Teoria da Relatividade Geral e com minha previsão original da existência dessas tais ondas gravitacionais. Imaginem a minha felicidade! Risos...

- C'est Magnifique! - Diz Charles Robert.

- Emocionante! - Diz Carlos Reys.

- Muito Massa! - Diz Calina.

- Genial! - Diz Van Borbha.

- Legal! - Diz Cyrano.

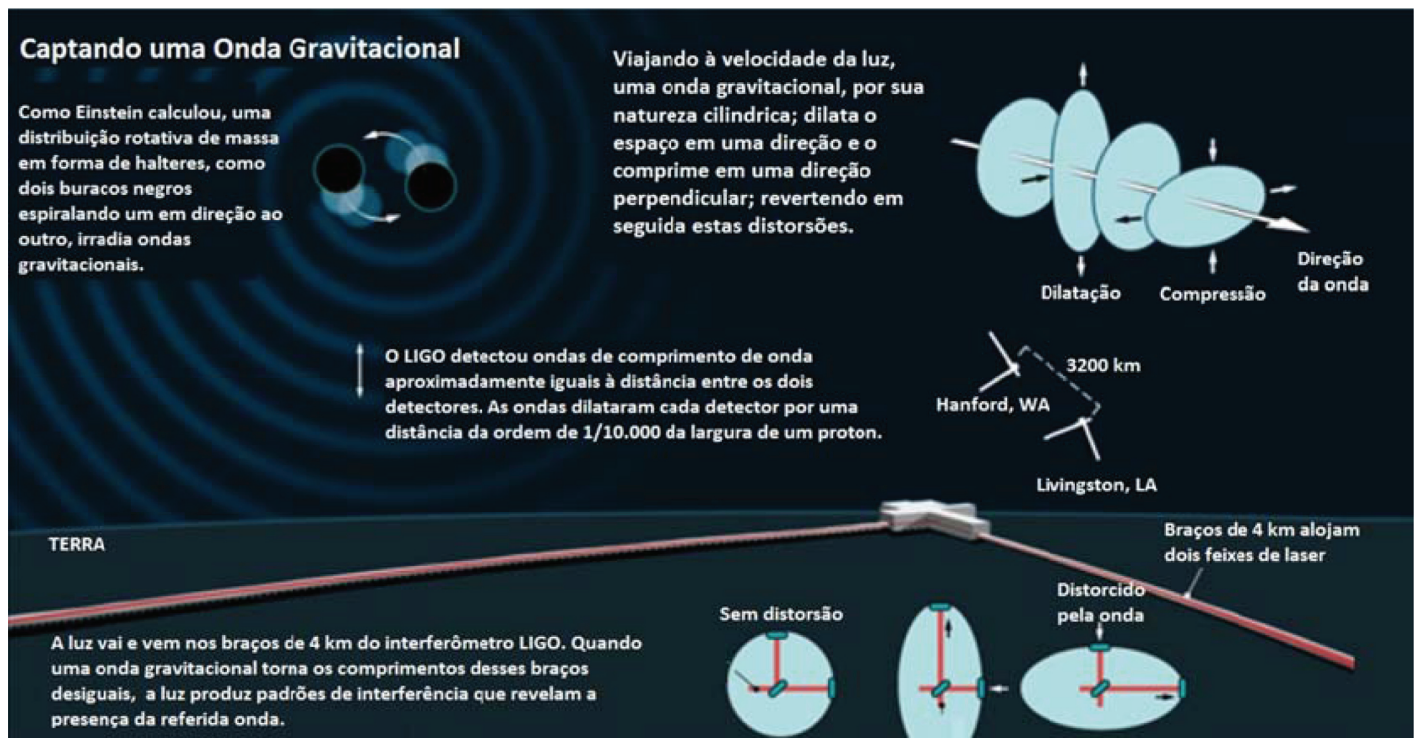


Figura 4: Geração, propagação e captação das Ondas Gravitacionais.

- Finalmente! - Digo eu, Risos...

- E quais são as possibilidades que esta descoberta abre para o ser humano, Herr Einstein? - Dizemos todos nós, de diferentes maneiras e quase ao mesmo tempo.

- Com a detecção das ondas gravitacionais o ser humano poderá ampliar a sua compreensão do Universo. Passaremos a olhar o Universo com novos olhos através das informações trazidas não apenas pela luz visível ou até mesmo pelas ondas eletromagnéticas de um modo mais geral. É como se nós tivéssemos, a partir de agora, descoberto novos tipos de olhos capazes de ver as essas pequenas vibrações do espaço-tempo provocadas por eventos cósmicos dramáticos de dimensões colossais e que são fenômenos extraordinários em todos os sentidos; coisas que eram inimagináveis até bem pouco tempo. No limite nós sonhamos em ver cada vez mais perto o próprio momento da criação.

Todos nós ficamos literalmente encan-

tados e silenciosos com um profundo respeito e admiração ao ouvirmos aquelas elegantes palavras proferidas pelo velho Einstein.

E, de repente, em meio àquele respeitoso silêncio ouvimos o estampido de uma EXPLOÇÃO.

BUUUUUM!

- O que foi isso? - Gritam todos que estão no restaurante, ali na linda praia de Galinhos, literalmente apavorados.

Todos nós corremos imediatamente para a areia da praia para olhar na direção Sul de onde veio o enorme estampido e de onde agora se ergue uma alta coluna de fumaça negra.

Ao longe, nós identificamos a origem do ruído que nos assustou. Foi um dos novos e enormes geradores eólicos instalados sobre as dunas de areia distantes que explodiu (Fig. 5).

Calina, sorrindo, diz:

- Eu pensei que tivessem sido dois buracos negros que tivessem se chocado aqui

na praia de Galinhos e o tremor sentido tivesse sido as suas ondas gravitacionais. Risos... - O senhor não acha; Herr Einstein?

- Herr Einstein? Onde está o senhor?

- Gritamos todos nós já preocupados.

- Sumiu! Escafedeu-se! - Diz Cyrano sorrindo com um ar de ironia e olhando para mim. Agora, você vai ter de inventar outra entrevista maluca se quiser que ele apareça de novo. Risos...



Figura 5: Explosão do gerador eólico, o que comprova a veracidade de toda a estória narrada neste artigo. (risos!)

Saiba mais

- Bill Andrews, in: *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Abhay Ashtekar (ed.) *100 Years of Relativity: Space-Time Structure - Einstein and Beyond* (World Scientific Publishing, Singapore, 2005).
- Marcia Bartusiak, in: *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Carl Brans, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0506063>.
- Bruce Dorminey, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Joshua Frieman, Michel Turner and Dragan Huterer, <https://arxiv.org/abs/0803.0982>.
- Hubert Goenner, <http://arxiv.org/abs/0811.4529>.
- Alex Harvey, <http://arxiv.org/abs/1211.6338>.
- M. Hobson, G. Efstathiou and A. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists* (Cambridge University Press, Cambridge, 2006).
- Leopold Infeld, *Quest - The Evolution of a Physicist* (Gollancz, London, 1941).
- Max Jammer, *Concepts of Simultaneity: From Antiquity to Einstein and Beyond* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006).
- Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Dover Publications Inc., New York, 1993).
- Max Jammer, *Einstein and Religion* (Princeton University Press, Princeton, 1999).
- Daniel Kennefick, <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704002.pdf>.
- Daniel Kennefick, <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704002.pdf>.
- Daniel Kennefick, *Physics Today* (2005).
- Daniel Kennefick, *Traveling at the Speed of Thought. Gives an Excellent Overview of the History of Gravitational Waves*, disponível em http://www.fma.if.usp.br/~rivelles/Int_Relatividade_Geral/int_relgel.pdf.
- Imry Lakatos and Alan Musgrave, *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge University Press, Cambridge, 1970).
- Imri Lakatos, *Proofs and Refutations* (Cambridge University Press, Cambridge, 1976).
- Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Einstein e a Educação* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, (2005).
- Alexandre Medeiros, *Física na Escola* **6**(1), página inicial (2005).
- Alexandre Medeiros e Rogério Porto, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, (2003).
- Steve Nadis, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Hans Ohanian, *Gravitation and Spacetime*. (W.W. Norton & Co., New York, 1976).
- Abraham Pais, *Subtle is the Lord. The Collected Papers of Albert Einstein* (Oxford University Press, New York, 1982).
- Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse* (Dover Publications, London, 2011).
- Gabriel Popkin, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Carlos Santos, *O Plágio de Einstein* (WS Editor, Porto Alegre, 2003).
- Raymond Serway and John Jewett, *Physics for Scientists and Engineers* (Cengage Learning, New York, 2013).
- Donal Shaper (ed.) *Gravitational Physics: Exploring the Structure of Space and Time* (National Academy Press, Washington DC, 2003).
- Vesselin Petkov, *Relativity and the Nature of Spacetime* (Springer-Verlag, Berlin, 2005).
- Wolfgang Rindler, *Relativity Special, General, and Cosmological* (Oxford University Press, Oxford, 2006).
- Moritz Schlick, *Space and Time in Contemporary Physics: An Introduction to the Theory of Relativity and Gravitation* (Dover Pub Inc, New York, 2005).
- Lee Smolin, *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science and What Come Next* (Houghton Mifflin Company, Boston, 2006).
- John Sullivan, *Three Men Discuss Relativity* (Alfred Knopf Ed, New York, 1926).
- Richard Talcott, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Justin Worland, *A Brief History of the Search for Gravitational Waves*. Time, Feb 11, 2016.
- Alexander Blum, Roberto Lalli and Jürgen Renn, *One Hundred Years of Gravitational Waves* (Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, 2016), disponível em <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/content/one-hundred-years-gravitational-waves>.
- Jorge Valdés, *La Grand Illusión III: Las Ondas Gravitacionales* (Fondo de Cultura Economía, Ciudad de México, 1997).