

NUNO CRATO ^E AND LUÍS TIRAPICOS

O ECLIPSE DE EINSTEIN

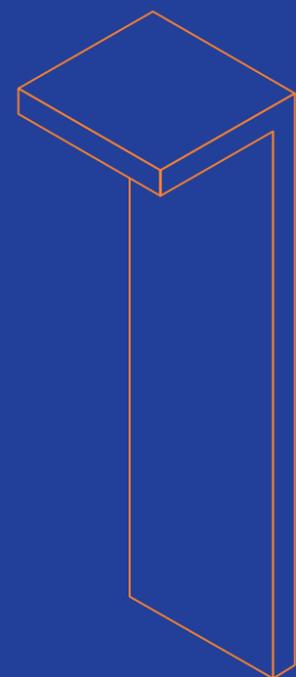
ENTRE LISBOA, LONDRES, SOBRAL E O PRÍNCIPE

EINSTEIN'S ECLIPSE

FROM LISBON AND LONDON TO SOBRAL
AND THE ISLAND OF PRINCIPE



P. 8
NOTA INTRODUTÓRIA
Introduction



P. 14
**À PROCURA DE UM TESTE
PARA A RELATIVIDADE**
In search of a test of relativity



P. 28
**A DEFLEXÃO DA LUZ
JUNTO AO SOL**
The deflection of light
near the Sun

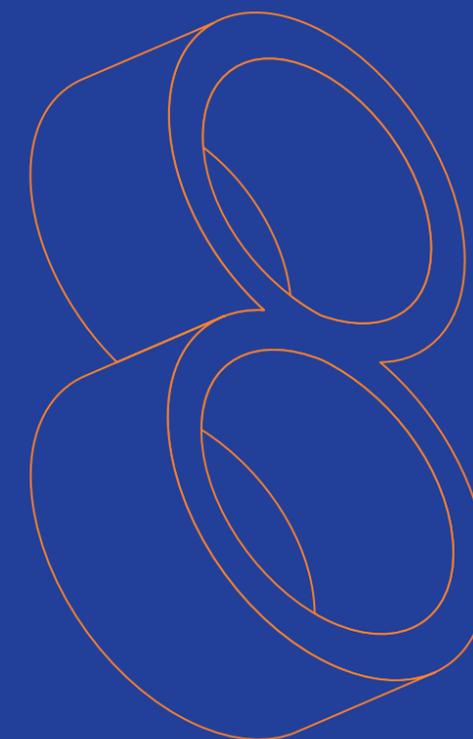
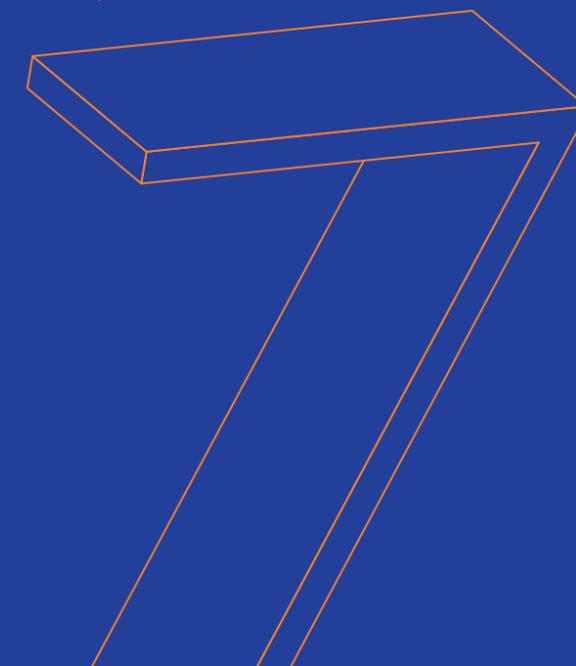


P. 140
**REPERCUSSÕES DAS
MISSÕES BRITÂNICAS**
Impact of the British
expeditions



P. 40
**ASTRÓNOMOS DESPERTAM
PARA A RELATIVIDADE**
Astronomers become
interested in relativity

P. 148
**UMA EXPERIÊNCIA
POLÊMICA**
A controversial
experiment



P. 174
**ONDAS GRAVITACIONAIS:
UM SÉCULO DE
RELATIVIDADE GERAL**
Gravitational waves:
a century of general
relativity



P. 120
**O ECLIPSE DE 1919
EM SOBRAL**
The eclipse of 1919
in Sobral



P. 62
**O ECLIPSE DE 1919
NO PRÍNCIPE**
The eclipse of 1919
in Principe

Einstein era um cidadão do mundo. Teve nacionalidade alemã, que depois repudiou. Durante cinco anos foi apátrida. Ganhou a cidadania suíça, que manteve. Foi durante breves períodos súbdito do Império Austro-Húngaro e do Reino da Prússia. Sendo depois cidadão da República de Weimar, Alemanha. Finalmente, em 1940, naturalizou-se norte-americano e viveu nos Estados Unidos até ao fim da vida. Escreveu cerca de 300 artigos científicos e é sobretudo conhecido pela sua teoria da relatividade restrita, ou especial, pela sua equação de equivalência entre massa e energia, que fundamenta teoricamente, entre outras, a energia atômica, e pela sua teoria da relatividade geral, ou generalizada. Qualquer destas contribuições seria suficiente para o imortalizar, mas o nome de Einstein aparece associado a toda a ciência moderna, desde a cosmologia, por exemplo, ao estudo das lentes gravitacionais, dos buracos negros e da expansão do Universo, até às suas aplicações, tais como os raios *laser* e o GPS.

Einstein was a citizen of the world. He began his life as a German, a nationality to which he later renounced, and was stateless for five years. He acquired the Swiss citizenship, which he kept all his life. For brief periods, he was a subject of the Austro-Hungarian Empire and of Prussia. After that he was a citizen of the Weimar Republic, Germany. And finally, in 1940, he became an American citizen, living in the United States until his death. He wrote more than 300 scientific papers and is known mainly for his special theory of relativity, his formula of equivalence between mass and energy (which in theory substantiates nuclear energy) and his general theory of relativity. Any of these would be enough to make him immortal, but the name Einstein is now associated with all modern science, from cosmology — the study of gravitational lenses, for instance, or black holes and the expansion of the universe — to the applications of science, such as laser beams and the global positioning system (GPS).

Albert Einstein durante uma visita ao Observatório de Monte Wilson, na Califórnia, em Janeiro de 1931. No topo da torre de observação solar, acompanhado pelo astrofísico Charles St. John (no meio) e pelo matemático Walther Mayer (à esquerda).

Albert Einstein during a visit to the Mount Wilson Observatory in January 1931, at the top of the observation tower. He is accompanied by the astrophysicist Charles St. John (middle) and by the mathematician Walter Mayer (left).



COMO UM ECLIPSE PODE TESTAR A RELATIVIDADE

How a solar eclipse can put relativity to test

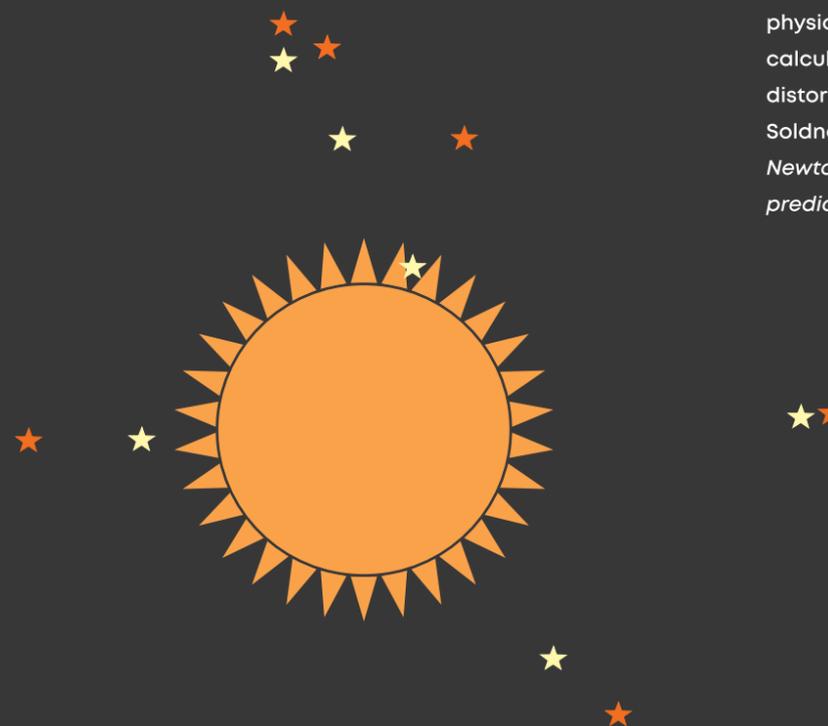
O teste, através de um eclipse, das duas teorias em confronto — a de Newton e a de Einstein — baseia-se numa ideia simples, embora tecnicamente difícil de pôr em prática, como veio a comprovar-se. Se a luz se comporta como matéria ao passar perto de uma massa apreciável, deverá sofrer uma atracção e desviar-se da sua trajetória. O que distingue as previsões baseadas nas duas teorias, não é a existência de um desvio, mas a sua magnitude. Einstein, baseado na sua célebre equação de equivalência entre massa e energia, $E = mc^2$, tinha previsto a existência deste desvio, mas já antes dele o físico alemão Johann Georg von Soldner (1776-1833) o tinha calculado quando trabalhava em Berlim. Os cálculos de Soldner foram esquecidos, pois baseavam-se na ideia de que a luz seria constituída por partículas com massa, o que nos fins do século XIX tinha ficado desacreditado. Com a sua equação de equivalência, Einstein, percebendo que a luz, sendo energia, se comportava também como massa, fez cálculos equivalentes aos de Soldner, que certamente não conhecia, e previu o desvio da luz ao passar perto de uma massa apreciável.

A previsão de Einstein, realizada entre 1907 e 1911, aceitava a teoria da gravitação de Newton. Mas com a sua teoria da relatividade generalizada, de 1915, o genial físico percebeu que o desvio tinha de ser o dobro do previsto nos seus cálculos iniciais. De facto, ao simples factor de atracção teria que acrescentar-se a curvatura do espaço por uma massa, como previsto na relatividade geral.

A previsão de Soldner e a primeira previsão de Einstein são habitualmente designadas «previsão newtoniana». A previsão corrigida de Einstein é habitualmente designada «previsão einsteiniana».

Esta gravura mostra, num desenho ilustrativo, como as estrelas no limbo do Sol durante um eclipse se deslocam visualmente, afastando-se. A amarelo estão imagens de estrelas em hipotética fotografia tirada de noite, quando se mostram contra o fundo negro do céu. A cor de laranja revelam-se em posição aparente mais afastada do centro do Sol. Note-se que esse afastamento é tanto maior quanto mais perto do limbo solar a estrela se apresenta. Note-se também que esse afastamento, previsto tanto pela teoria newtoniana como einsteiniana, apenas de magnitude diferente, resulta da deflexão dos raios de luz que se aproximam do Sol provenientes da estrela. Para melhor entender o fenómeno, ver a infografia da página 34.

This image shows how the stars in the limb of the Sun appear to shift outwards during an eclipse. The yellow stars correspond to the normal position of the stars at night, against a dark sky. The orange stars correspond to the apparent position of the same stars — shifting outwards — when the Sun is present. Note that the closer the star is to the limb of the Sun the bigger that outward shifting is. This shifting, predicted by both Newton's theory and Einstein's theory but with different magnitudes, is the result of the deflection of the light coming from the stars as they approach the Sun. To better understand this, see image page 34.



The idea that an eclipse could put the two theories to test — Newton's and Einstein's — was based on a concept that was simple but, as it happened, technically difficult to put into practice.

If light behaves as matter when passing close to a body with considerable mass, it should be subject to its gravitational effect and its path should suffer a deflection. What is different between the predictions by the two theories is not the existence of a deflection, but its magnitude.

Einstein predicted this deflection based on his equivalence formula between mass and energy, $E = mc^2$, but it had already been calculated before him by the German physicist Johann Georg von Soldner (1776-1833), when he was working in Berlin. Soldner's calculations had been forgotten, as they were based on the idea that light was made of particles with mass, which had been discredited at the end of the 19th century. With his equivalence formula, Einstein realised that light, being energy, behaved as mass, and so proceeded to make similar calculations to Soldner's (of which he was most likely unaware), therefore predicting the deflection of a light ray when passing near a massive body.

Einstein's predictions, made between 1907 and 1911, accepted Newton's theory of gravitation. But with his general theory of relativity, in 1915, the brilliant physicist realised that the deflection had to be twice as much as his earlier calculations. In fact, to the simple gravitational pull one must add the distortion of spacetime by mass as predicted by the general relativity. Soldner's prediction and the first prediction by Einstein are usually called *Newton's prediction*. Einstein's revised prediction is usually known as *Einstein's prediction*.

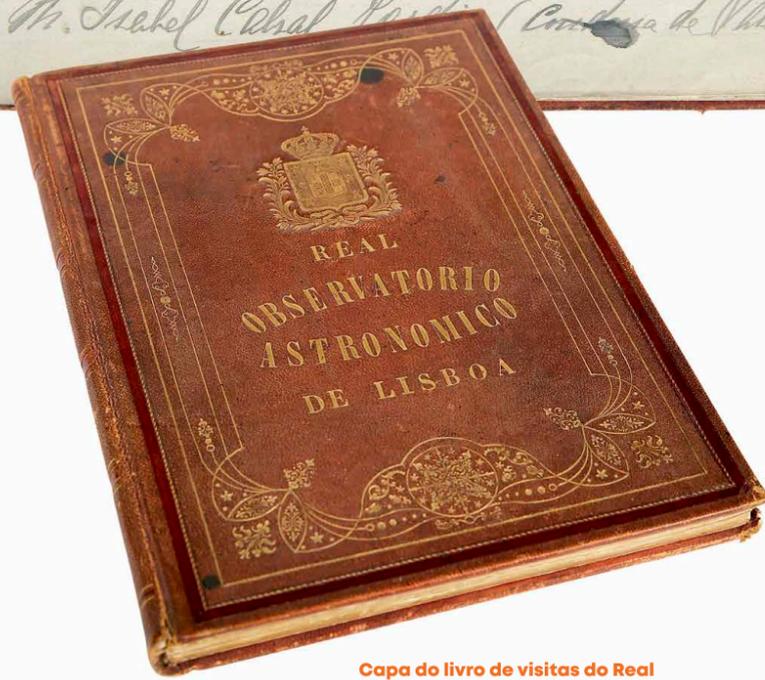
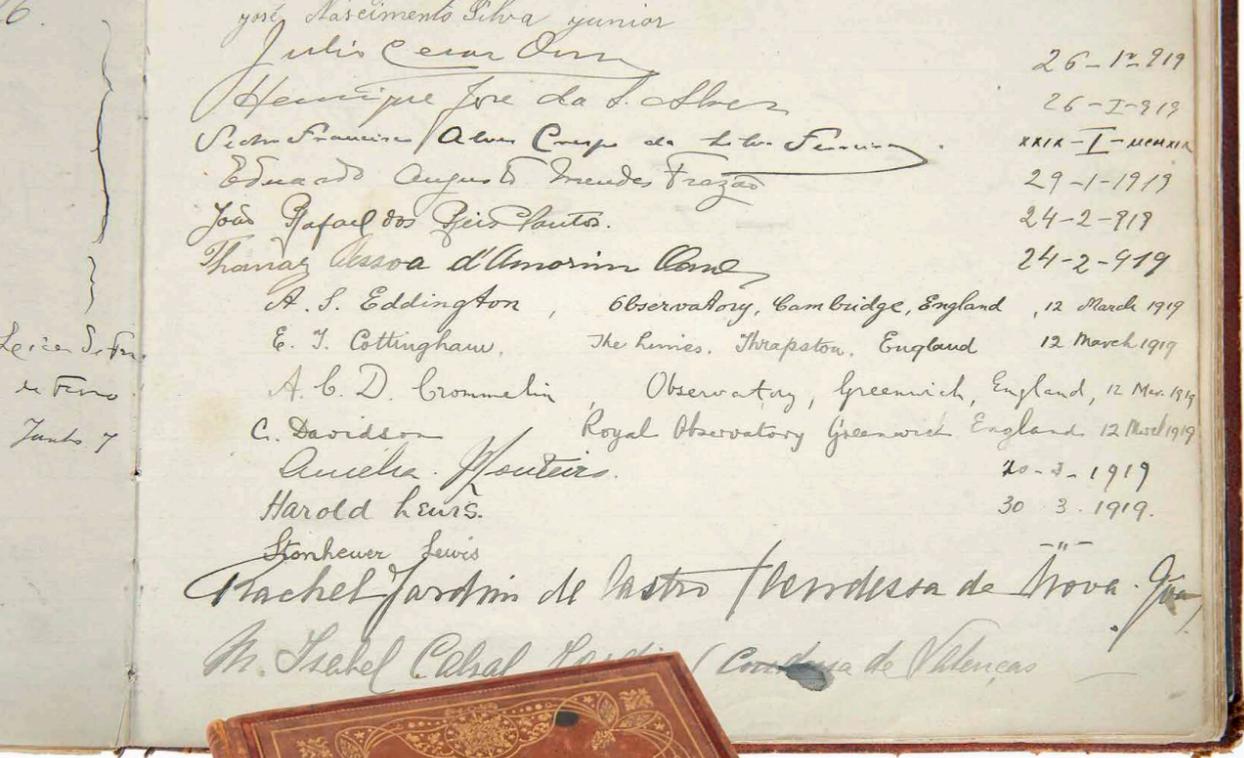


O ECLIPSE DE 1919 NO PRÍNCIPE

The eclipse of 1919 in Principe

A 29 de Maio de 1919, na então portuguesa ilha do Príncipe, dois *gentlemen* britânicos desesperavam perante uma manhã irritantemente chuvosa. Arthur Eddington (1882-1944) e o fabricante e técnico de relojoaria Edwin Cottingham (1869-1940) haviam deixado Liverpool a 8 de Março no vapor HMS *Anselm*, com o fim de registarem um eclipse total do Sol. Pretendiam, naquela ilha do golfo da Guiné, medir o deslocamento aparente das estrelas observadas junto ao limbo do Sol. Tinham sido acompanhados até à ilha da Madeira por Andrew Crommelin (1865-1939) e por Charles Davidson (1875-1970), que seguiram para Sobral, no Norte do Brasil, com o mesmo objectivo.

On the morning of 29 May 1919, on the then Portuguese island of Principe, two British men were exasperated by the annoying rain. Arthur Eddington (1882-1944) and the clock expert and maker Edwin Cottingham (1869-1940) had left Liverpool aboard the steamship *Anselm* on 8 March, with the purpose of recording a total eclipse of the Sun. Their intention was to measure the apparent bending of the light of the stars near the limb of the Sun, on the island in the Gulf of Guinea. They had been accompanied to the island of Madeira by Andrew Crommelin (1865-1939) and Charles Davidson (1875-1970), who, with the same purpose, had then gone on to Sobral, a town in the north of Brazil.



Assinaturas autógrafas de A. S. Eddington, E. T. Cottingham, A. C. D. Crommelin e C. Davidson, no livro de visitas do Observatório Astronómico de Lisboa.

Signatures of A. S. Eddington, E. T. Cottingham, A. C. D. Crommelin and C. Davidson in the Visitors' Book of the Astronomical Observatory of Lisbon.

Capa do livro de visitas do Real Observatório Astronómico de Lisboa. Aquando da visita dos astrónomos ingleses, em 1919, o observatório da Tapada da Ajuda já tinha perdido o epíteto de «Real».

Cover of the visitors' book from the Royal Astronomical Observatory of Lisbon. By the time the British astronomers visited it in 1919, the Observatory was no longer "Royal".

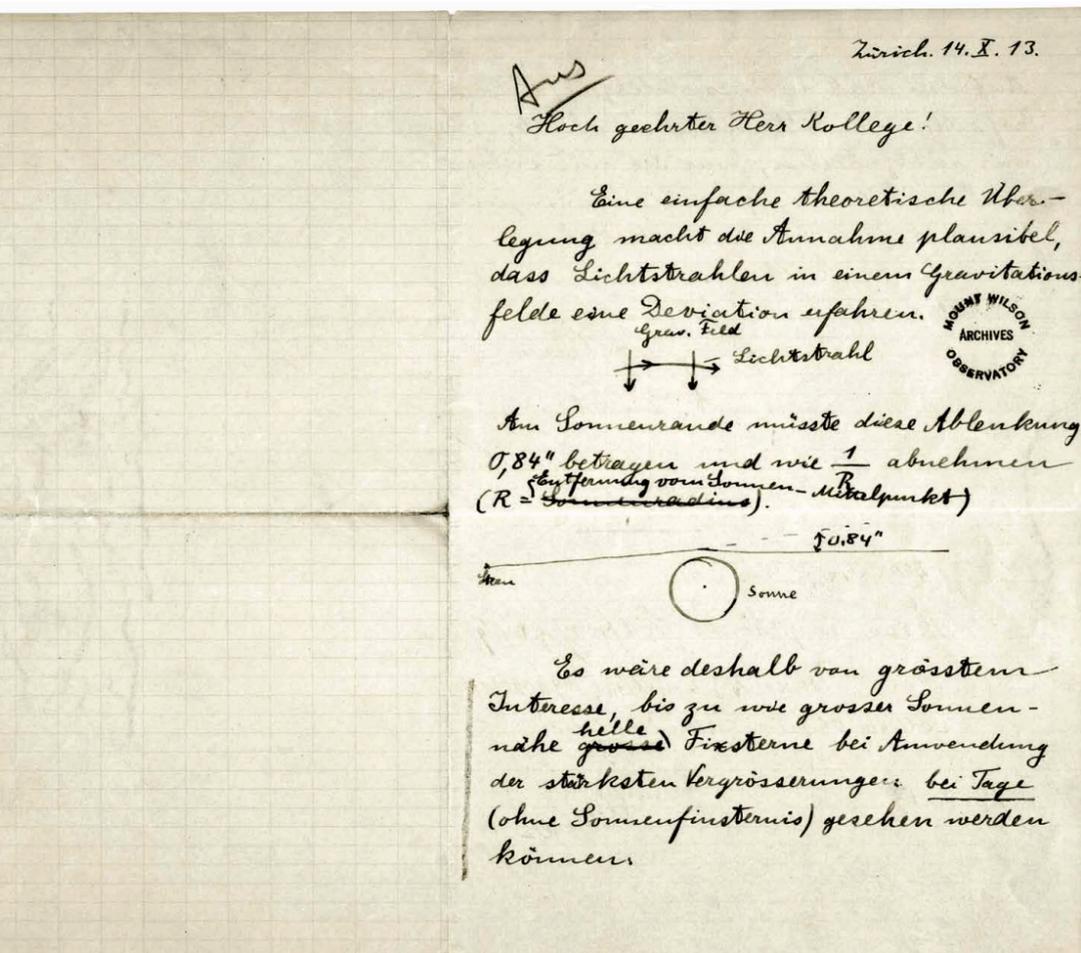


Círculo meridiano do Observatório Astronómico de Lisboa, instalado na sala de observações poente. Este instrumento era usado para medir, com grande rigor, a declinação (ou distância angular em relação ao pólo celeste) dos astros, bem como a latitude do lugar. É constituído por um grande círculo graduado ligado a uma luneta, ambos orientados no plano do meridiano (norte-sul).

Meridian Circle of the Lisbon Astronomical Observatory mounted in the west observatory room. This was used to measure, with great accuracy, the angular distance between the celestial pole and the stars, as well as the latitude of the location. It consists of a big graduated wheel connected to an eyepiece, both aligned with the local meridian (north-south).

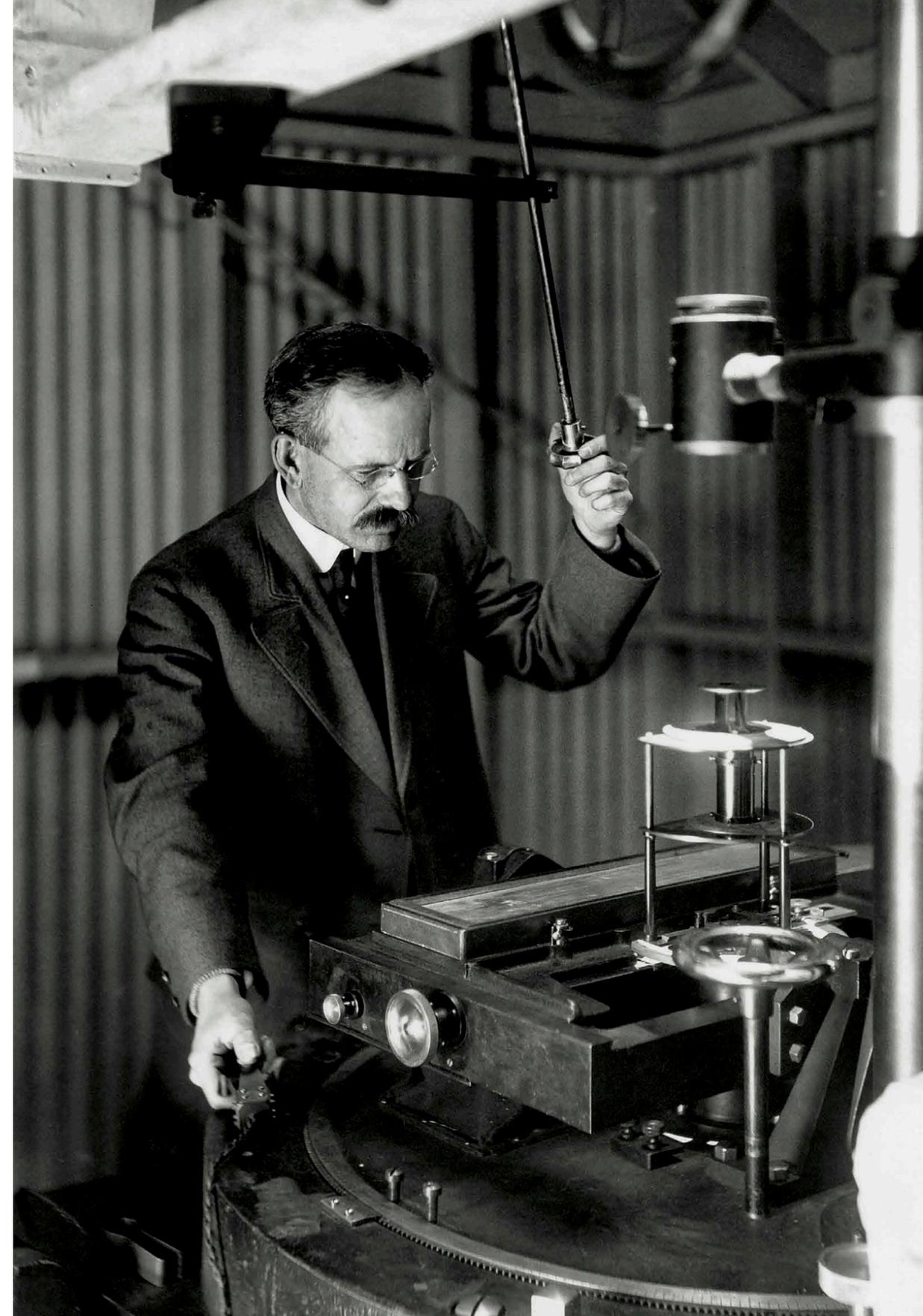
A comparação de chapas fotográficas obtidas sem a interposição do Sol, e durante o eclipse, deveria permitir a medição do deslocamento da posição aparente das estrelas provocado pela presença do forte campo gravitacional do Sol. Em carta escrita a 14 de Outubro de 1913, e enviada ao físico solar norte-americano George Ellery Hale (1868-1938), Einstein indagava sobre a possibilidade de a deflexão da luz ser medida quando o Sol não estivesse eclipsado. A resposta de Hale foi negativa, mas actualmente é possível realizar este teste, usando, em vez da luz visível, ondas electromagnéticas observadas por radioastronomia.

By comparing photographs during an eclipse of the Sun with photographs taken without the Sun, it should be possible to measure the apparent shifting of the stars due to the presence of the Sun's significant gravitational field. In a letter sent to the American solar physicist to George Ellery Hale (1868-1938) on 14 October 1913, Einstein asked if it would be possible to measure the deviation of a beam of light when the Sun was not eclipsed. Hale's reply was negative, but today it is indeed possible to do this, using not visible light but electromagnetic waves, observed by radio astronomy.



Carta de Einstein a George Ellery Hale, 14 de Outubro de 1913.

Einstein's letter to George Ellery Hale, 14 October 1913.



O astrónomo norte-americano George Ellery Hale foi um dos pioneiros da física solar. Teve ainda um papel fundamental na construção dos grandes telescópios que no seu tempo se ergueram nos Observatórios de Yerkes e de Monte Wilson.

The American astrophysicist George Ellery Hale was a pioneer of solar physics. He was also a key figure in the planning and construction of world-leading telescopes in the observatories in Yerkes and Mount Wilson.

Frank Dyson (à direita), que viria a ser o astrónomo real de Inglaterra, e um assistente testam o espectroscópio utilizado na observação do eclipse solar total de 28 de Maio de 1900 em Ovar, Portugal.

Frank Dyson (right), later Astronomer Royal for England, and an assistant test the spectroscope used in the observation of the total solar eclipse of 28 May 1900 in Ovar, Portugal.



Os grupos de estrangeiros que fizeram observações em Ovar representavam a Inglaterra e a Alemanha. Os ingleses eram o astrónomo real, alguns ajudantes do Observatório de Greenwich e diversos membros da Associação Astronómica Britânica. O grupo de Greenwich tomou uma casa em Ovar e foi para lá alguns dias antes do eclipse porque tinha que fazer importantes preparativos; mas o grupo da Associação Astronómica ia lá só de dia, por empregar apenas câmaras fotográficas e telescópios portáteis. Foi acompanhado e auxiliado materialmente por Mr. William Tait, bem conhecido negociante inglês estabelecido no Porto, o qual, embora não fosse astrónomo, fez algumas observações interessantíssimas a respeito da influência que teve o eclipse nas plantas e nos animais. Este cavalheiro, que fala correctamente o português, prestou naquele dia valiosos serviços aos anglo-saxões. As observações que se tinham planeado para Ovar fizeram-se graças ao bom tempo, cumprindo cada observador o seu respectivo programa.

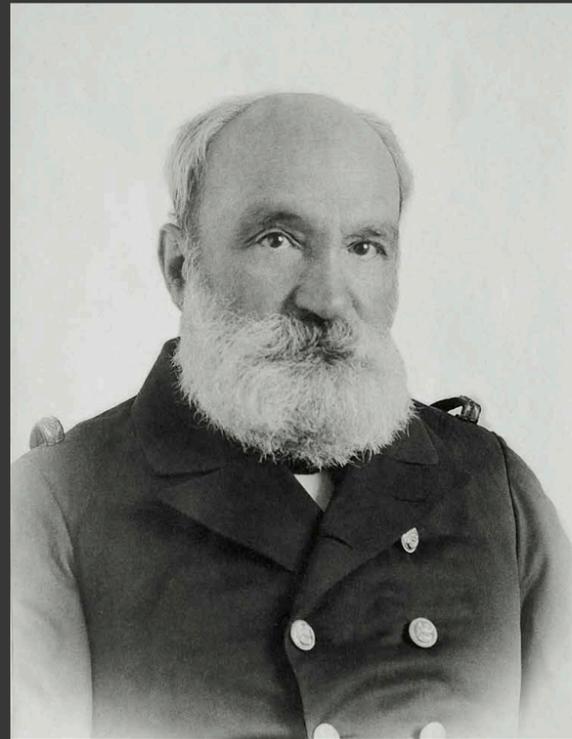
In George F. Chambers e Lopes D'Azevedo, História dos Eclipses, Lisboa, Ferreira & Oliveira, 1905, pp. 183-187.

The groups of foreigners who made observations in Ovar represented England and Germany. The British consisted of the Astronomer Royal and some assistants from the Greenwich Observatory, and several members of the British Astronomical Association. The Greenwich group took a house in Ovar and went there a few days before the eclipse, as they needed to make important preparations; but the British Astronomical Association group only went there during the day, as they used only portable cameras and telescopes. The group was accompanied and materially supported by Mr William Tait, a renowned British merchant established in Oporto, who although not an astronomer, made some extremely interesting observations regarding the effect of the eclipse on plants and animals. This gentleman, who speaks Portuguese correctly, rendered a valuable service to the British that day. The observations that had been planned for Ovar were made thanks to the good weather, each observer having accomplished his own programme.

In George F. Chambers e Lopes D'Azevedo (1905). História dos Eclipses, Lisbon: Ferreira & Oliveira, 183-187.

OS ASTRÓNOMOS DA TAPADA DA AJUDA

The Astronomers of
Tapada da Ajuda



Campos Rodrigues

César Augusto de Campos Rodrigues nasceu em Lisboa, a 9 de Agosto de 1836. Frequentou o liceu e o Real Colégio Militar. Em 1851, assentou praça no Corpo de Guardas-Marinhas. Em 1859, assistiu ao bombardeamento de Cantão pela esquadra inglesa, durante a Guerra do Ópio. Este episódio deu-se a bordo da lancha *Amazona*, durante uma estada de quatro anos em Macau. Foi por esta altura que os seus interesses científicos se começaram a evidenciar. Campos Rodrigues e José Feliciano de Castilho (1838-1864) responderam então ao apelo de Matthew Fontaine Maury (1806-1873) para a recolha de registos meteorológicos, o que fizeram de Lisboa para Macau — numa viagem de 160 dias — e naquela cidade do Oriente. Em 1865, Campos Rodrigues conclui o curso de engenheiro hidrógrafo e participou no levantamento da barra e do porto de Caminha. Em 1869, era adjunto da secção astronómica da Direcção dos Trabalhos Geodésicos, e foi nesse ano que ingressou no Real Observatório Astronómico de Lisboa (ROAL), de que foi nomeado director em Julho de 1890. Em 1902, seria promovido a vice-almirante. O génio mecânico de Campos Rodrigues ficou bem patente nos numerosos aperfeiçoamentos que introduziu nos instrumentos do Observatório de Lisboa. Entre estes, contam-se a cadeira de observação do círculo meridiano Repsold; um diafragma-íris — que só mais tarde surgiria nas câmaras fotográficas — para regulação da iluminação nas oculares; um interruptor para pêndulas de

Campos Rodrigues

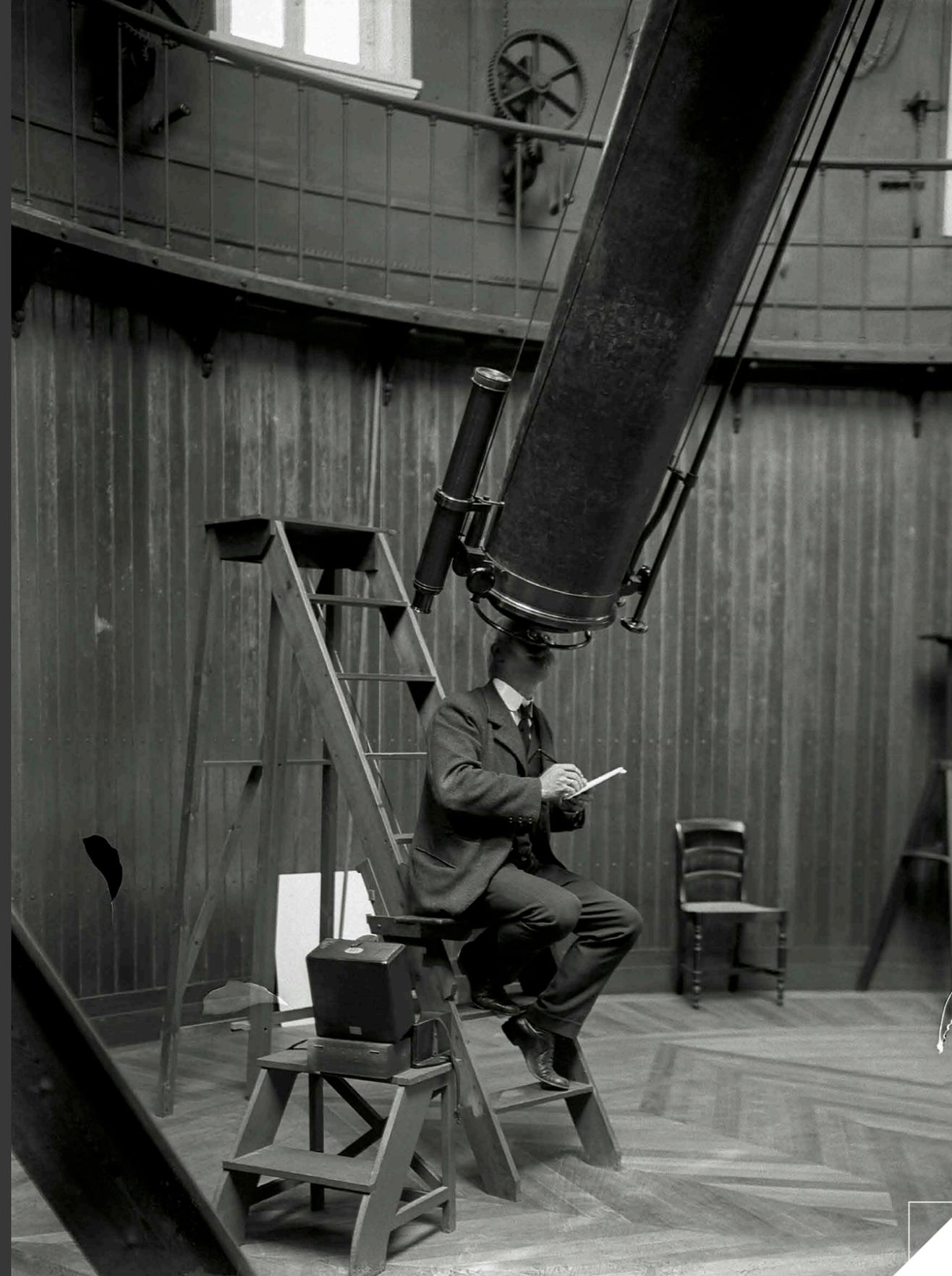
César Augusto de Campos Rodrigues was born in Lisbon on 9 August 1836. He attended the Royal Military School and College and then enlisted in the Navy Guard Corps in 1851. Two years later, while on duty on a four-year commission in Macao, he was witness to Canton's (Guangzhou) bombing by the British naval force during the Second Opium War, aboard the ship *Amazona*. Around this time, he developed an interest in science. Campos Rodrigues, together with José Feliciano de Castilho (1838-1864), accepted a request by Matthew Fontaine Maury (1806-1873) to gather meteorological records, which they did, not only during their 160-day journey from Lisbon to Macao, but also during their whole time in Macao. In 1865, Campos Rodrigues concluded his hydrography course and assisted with the hydrographic survey of the bar and the port of Caminha, in the north of Portugal. In 1869, he worked as an assistant in the astronomical section of the Department of Geodesic Studies, and later that same year he joined the Royal Astronomical Observatory of Lisbon (ROAL), of which he was appointed director in 1890. In 1902 he was promoted Vice-Admiral. Campos Rodrigues' mechanical talent was evident in the several improvements he himself introduced to the instruments of the Lisbon Observatory, which included: the observer's chair of the Repsold meridian circle; an iris diaphragm — only much later introduced in photographic cameras — to regulate the light that comes through the eyepiece (ocular lens); a switch for pendulums to signal time; and a device to determine the personal equation

Frederico Oom

Frederico Thomaz Oom nasceu em Lisboa, a 9 de Abril de 1864 e era filho de Frederico Augusto Oom, o primeiro director do ROAL. Cursou engenharia militar na Escola do Exército, tendo sido promovido a tenente em 1890. No ano seguinte, foi nomeado astrónomo do Observatório da Tapada da Ajuda e em 1900 integrou a missão que, chefiada por Campos Rodrigues, se dirigiu à serra da Estrela para estudar o eclipse solar daquele ano. Realizou uma missão a Hamburgo, em 1907, para estudar os serviços da hora do porto daquela cidade e adquirir instrumentos para um novo observatório a instalar em Lourenço Marques (actual Maputo, em Moçambique). Entre 1908 e 1909, dirigiu a construção e a instalação dos equipamentos do Observatório de Lourenço Marques. Após a morte de Campos Rodrigues, em 1919, foi nomeado director do agora Observatório Astronómico de Lisboa — com a implantação da República, em 1910, a instituição perdeu naturalmente a designação «Real». Contudo, Frederico Oom já há muito que assumira as responsabilidades de gestão e de porta-voz do observatório, ocupando o espaço deixado vago por Campos Rodrigues, que, embora formalmente o director, preferia manter-se na sombra, dedicado essencialmente às suas engenhocas e melhoramentos técnicos. Nesse mesmo ano, foi eleito sócio efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Em resposta a um convite do alto-comissário general Norton de Matos (1867-1955), deslocou-se a Luanda (Angola), em 1922, para levantar na cidade um observatório análogo ao de Lourenço Marques. Frederico Oom morreu com a patente de coronel, a 30 de Abril de 1930.

Frederico Oom

Frederico Thomaz Oom was born on 9 April 1864, son of Frederico Augusto Oom, the first director of the Royal Astronomical Observatory in Lisbon. He graduated in military engineering at the Army School and was promoted to Lieutenant in 1890. He was appointed astronomer of the Lisbon Observatory the following year, and in 1900 he was part of the mission that travelled to Serra da Estrela to study the May solar eclipse, led by Campos Rodrigues. He was also part of a mission to Hamburg, in 1907, to study the time services in the city's port and to acquire new instruments for a new observatory to be built in Lourenço Marques (now Maputo, in Mozambique). In 1908 and 1909, he supervised the construction of the Lourenço Marques Observatory and the installation of its equipment. When Campos Rodrigues died in 1919, he was made director of the then renamed Lisbon Astronomical Observatory — the “royal” nomination had been dropped after Portugal became a Republic in 1910. However, Frederico Oom had long assumed the management and representation of the observatory, as Campos Rodrigues, its official director, devoted himself to his gadgets and to technical improvements. That year he was also made lifelong member of the Sciences Academy of Lisbon. Accepting an invitation by the High Commissioner of Portugal in Angola, General Norton de Matos (1867-1955), he travelled to Luanda in 1922 to establish a similar observatory to the one in Lourenço Marques. Frederico Oom died on 30 April 1930 with the rank of Colonel.

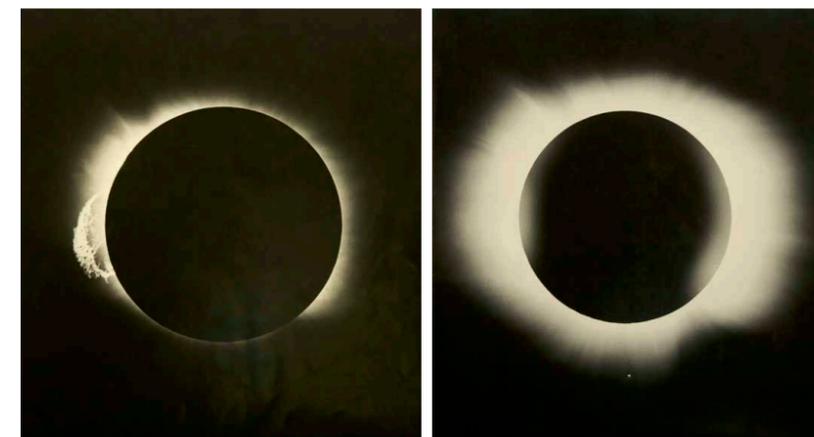


Nos dias anteriores ao eclipse, o céu apresentou-se muito nublado. Na própria manhã de 29 de Maio, abateu-se sobre a ilha uma violenta tempestade que só terminou instantes antes do fenómeno. Escreveu Eddington no seu livro *Espaço, Tempo e Gravitação* [*Space, Time and Gravitation*], publicado em 1920:

Quando a totalidade começou, o disco escuro da Lua envolvido pela coroa era visível através das nuvens, tal como naquelas noites em que muitas vezes se pode ver a Lua por entre as nuvens, ainda que não se possam ver as estrelas. Nada havia a fazer, a não ser levar por diante o programa estabelecido e esperar que tudo corresse pelo melhor. Um dos observadores mantinha-se ocupado na substituição rápida das chapas, enquanto outro assegurava as exposições com os devidos tempos de duração, por meio de um anteparo posto em frente da objectiva, de forma a evitar quaisquer trepidações no telescópio. [...] Lá em cima, decorria um espectáculo maravilhoso: como as fotografias revelaram depois, a magnífica chama de uma protuberância balançava-se a 160 mil quilómetros acima da superfície do Sol. Mas nós não tínhamos tempo para lhe prestar atenção. Estávamos apenas conscientes da estranha penumbra da paisagem e do silêncio da Natureza, quebrado pelas vozes dos observadores e pelo bater do metrónimo marcando os 302 segundos da totalidade.

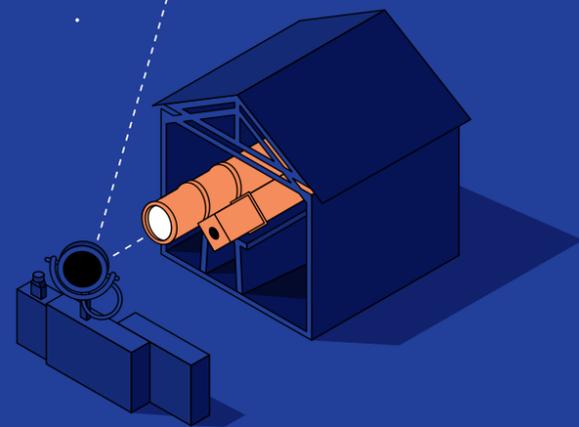
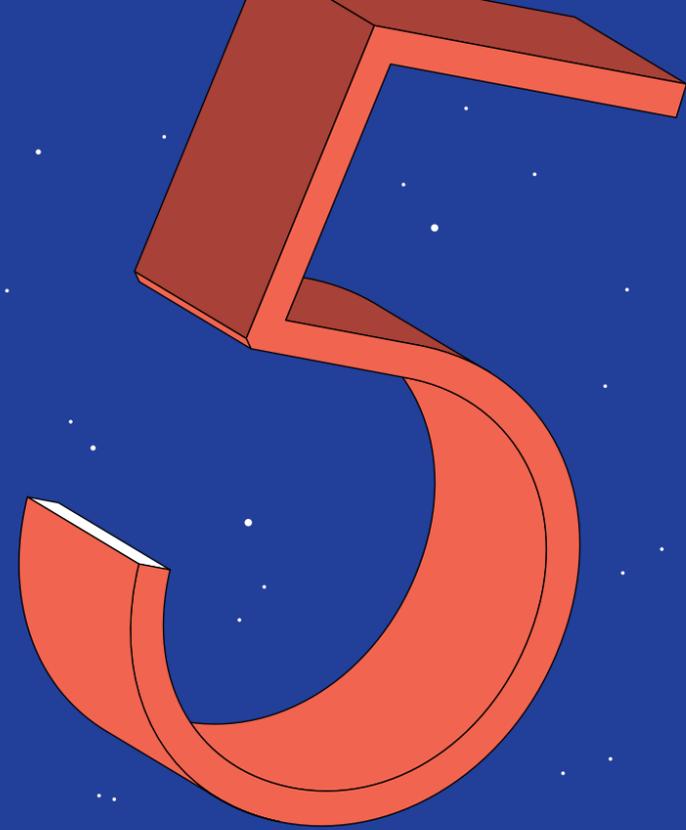
In the days leading up to the eclipse the sky was very cloudy. On the morning of the eclipse itself, 29 May, there was a very heavy thunderstorm that stopped only moments before the eclipse. Eddington wrote in his book *Space, Time and Gravitation*, published in 1920:

When totality began the dark disc of the moon surrounded by the corona was visible through cloud, much as the moon often appears through cloud on a night when no stars can be seen. There was nothing for it but to carry out the arranged programme and hope for the best. One observer was kept occupied changing the plates in rapid succession, whilst the other gave the exposures of the required length with a screen held in front of the object-glass to avoid shaking the telescope in any way. [...] There is a marvellous spectacle above, and, as the photographs afterwards revealed, a wonderful prominence-flame is poised a hundred thousand miles above the surface of the Sun. We have no time to snatch a glance at it. We are conscious only of the weird half-light of the landscape and the hush of nature, broken by the calls of the observers, and the beat of the metronome ticking out the 302 seconds of totality.



Fotografias do eclipse obtidas por Eddington e Cottingham e enviadas ao Observatório Astronómico de Lisboa em agradecimento pela simpatia e ajuda de Campos Rodrigues e de Frederico Oom.

Photos of the eclipse taken by Eddington and Cottingham and sent to the Lisbon Astronomical Observatory, as a token for the kindness and assistance given by Campos Rodrigues and Frederico Oom.



O ECLIPSE DE 1919 EM SOBRAL

The eclipse of 1919 in Sobral

Quando Charles Davidson e Andrew Crommelin chegaram a Belém do Pará, a 23 de Março, hesitaram entre partir imediatamente para Sobral, no estado do Ceará, ou esperar cerca de um mês. Como não sabiam se estaria tudo preparado para os receber em Sobral, decidiram seguir viagem no vapor *Anselm* até Manaus. Tiveram então oportunidade de desfrutar de uma visita à região amazónica, ou seja, nas palavras que Crommelin usou no relatório da expedição publicado na revista *The Observatory*: «Deste modo, vimos mil milhas [1600 quilómetros] da floresta luxuriante da Amazônia, com os seus habitantes de plumagem magnífica.» Navegaram em barcos a motor pelos rios, no interior da floresta, e foram duas vezes de eléctrico até à cidade de Flores. Impressionou-os o contraste entre a água turva e amarelada do Amazonas, a cor clara, esverdeada, do Tapajós e o tom castanho-escuro do rio Negro.

When Charles Davidson and Andrew Crommelin reached Belém do Pará on 23 March, they were met with the choice of leaving for Sobral immediately or waiting nearly a month. As they did not know if arrangements had been made to receive them in Sobral, they decided to continue their voyage to Manaus on the *Anselm*, taking the opportunity to visit the Amazon. In the words of Crommelin, as reported in the journal *The Observatory*, "We thus saw 1000 miles of the luxuriant forests of the Amazon, with their denizens of gorgeous plumage". They went on a trip up the Rio Negro in a motor-launch and also travelled to Flores by tram on two occasions. They were impressed by the contrast of the turbid yellow water of the Amazon river with the clear green of the river Tapajos and the dark brown waters of the Rio Negro.



Fotografia do eclipse tirada por Andrew Crommelin e Charles Davidson em Sobral. Na parte inferior da imagem, observa-se a protuberância que impressionou os astrónomos.

Photo of the eclipse taken by Andrew Crommelin and Charles Davidson in Sobral. On the bottom part of the picture is the solar prominence that so impressed the astronomers.



Vista panorâmica dos observatórios de campanha instalados pelas Comissões Brasileira e Norte-Americana em Sobral.

Panoramic view of the campaign observatories erected by the Brazilian and American missions in Sobral.

Estação meteorológica instalada de propósito para apoiar as observações do eclipse, inaugurada a 25 de Maio de 1919. Do lado esquerdo, à entrada do posto, vê-se o meteorologista Luiz Rodrigues, responsável pela montagem da estação.

Meteorological station built to support the observations of the eclipse and inaugurated on 25 May 1919. On the left, at the entrance, is the meteorologist Luiz Rodrigues, responsible for the station's setup.





Capa da Berliner Illustrirte Zeitung.

Cover of the magazine Berliner Illustrirte Zeitung.

Em Inglaterra, os grandes jornais fizeram eco imediato do sucesso dos seus astrónomos, bem como das extraordinárias implicações da relatividade generalizada. A 15 de Novembro, o *The Times* publicava sob o título «Revolução na Ciência» a notícia: «As ideias de Aristóteles, Euclides e Newton, que são a base das nossas concepções actuais, não correspondem ao que pode ser observado na estrutura do universo [...]. Aqui e ali, passado e presente são relativos, não são absolutos, mudam segundo o referencial escolhido [...]» Na Alemanha, a face de Einstein fazia a capa da *Berliner Illustrirte Zeitung* de 14 de Dezembro, com a legenda: «Uma nova grande figura da história mundial: Albert Einstein, cujas investigações significam uma revolução completa nos nossos conceitos da Natureza e estão em paralelo com as descobertas de um Copérnico, de um Kepler e de um Newton.»

The most important British newspapers immediately echoed the success of their astronomers, as well as the extraordinary implications of general relativity. On 15 November, *The Times* published a small article with the title “The Revolution in Science”: “The ideals of Aristotle and Euclid and Newton, which are the basis of all our present conceptions, prove in fact not to correspond with what can be observed in the fabric of the universe (...). Here and there, past and present, are relative, not absolute, and change according to the ordinates and coordinates selected”. In Germany, the magazine *Berliner Illustrirte Zeitung* printed Einstein’s face on 14 December, with the title: “A new great figure in world history: Albert Einstein, whose research is a complete revolution in our concepts of nature and equivalent to the discoveries of Copernicus, Kepler and Newton”.



Albert Einstein e Arthur Eddington fotografados no Observatório da Universidade de Cambridge, em 1930.

Albert Einstein and Arthur Eddington photographed at the University of Cambridge Observatory in 1930.

Nova confirmação em 2017

Nos meses que antecederam o Verão de 2017, os Estados Unidos prepararam-se para testemunhar um eclipse do Sol cuja faixa de totalidade atravessaria, de costa a costa, a América do Norte. Um físico já reformado, especialista em sistemas ópticos, e astrónomo amador chamado Donald Bruns decidiu juntar-se à multidão de cientistas, amadores e simples interessados que iriam acompanhar o fenómeno. Mas no caso de Bruns com uma importante particularidade — ele resolveu tirar partido das possibilidades oferecidas pela tecnologia do século XXI para repetir a experiência que Eddington, Cottingham, Crommelin e Davidson realizaram em 1919, e que desde 1973 mais ninguém tentara replicar. Os preparativos começaram na sua casa de San Diego, dois anos antes, onde ensaiou todos os procedimentos que deveria seguir no dia do eclipse, 21 de Agosto de 2017. Foi também durante esse período que conseguiu o gracioso empréstimo de equipamento por parte de alguns fabricantes: um telescópio refractor apocromático — isto é, cujas lentes foram corrigidas para eliminar aberrações esféricas e cromáticas —, uma câmara digital (CCD), bem como um tripé de campo muito estável. Bruns já possuía uma boa montagem robótica que lhe permitia manter automaticamente os instrumentos apontados para um dado ponto ou objecto no céu, seguindo o seu movimento aparente ao longo do dia.

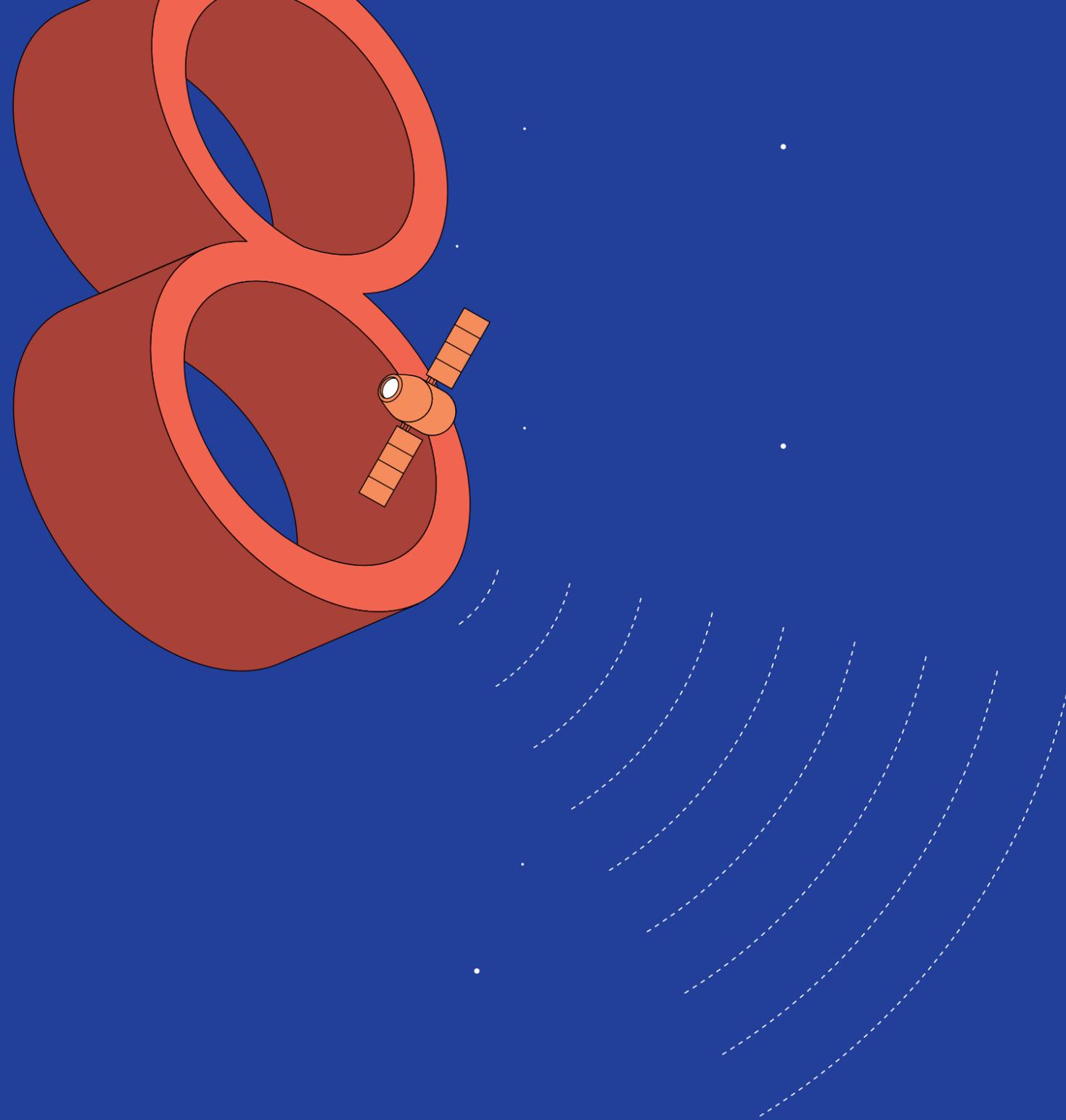
New confirmation in 2017

In the months preceding the summer of 2017, several American scientists made preparations to observe a solar eclipse whose totality area would cross North America from coast to coast. A retired physicist called Donald Bruns, expert in optical systems and amateur astronomer, decided to join the multitude of scientists, amateurs and curious people who wanted to witness the phenomenon. His aim was to use 21st century technology to repeat the experiment made by Eddington, Cottingham, Crommelin and Davidson in 1919, and which had not been done again since 1973. Preparations started two years before in his house in San Diego, where he rehearsed all the procedures to be followed on the day of the eclipse, 21 August 2017. During that period, he was able to obtain a generous loan of instruments from some manufacturers: an apochromatic refractor telescope (whose lenses had been corrected to eliminate spherical and chromatic aberration), a digital camera (CCD) and an extremely stable field tripod. Bruns already possessed good robotic equipment that allowed him to keep the instruments automatically aimed at a given point or object in the sky, following its apparent movement throughout the day.

Eclipse total do Sol de 21 de Agosto de 2017.

The total solar eclipse of 21 August 2017.





ONDAS GRAVITACIONAIS: UM SÉCULO DE RELATIVIDADE GERAL

Gravitational waves: a century
of general relativity

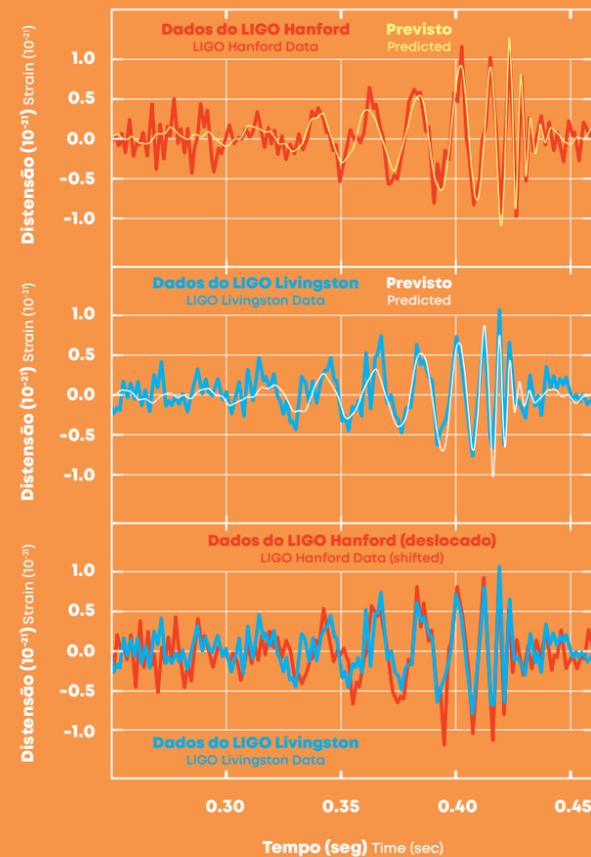
Cem anos após a publicação da teoria da relatividade geral por Albert Einstein, em 1915, deu-se um acontecimento extraordinário. No dia 14 de Setembro de 2015, quando eram 10h51 em Portugal continental e na Madeira (menos um hora nos Açores), os instrumentos dos laboratórios gémeos LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) detectaram pela primeira vez ondas gravitacionais. Os físicos concluíram que essa perturbação do espaço-tempo se terá gerado durante a fracção de segundo em que ocorreu a fusão de dois buracos negros, dando origem a um buraco negro de maior massa, rotativo — algo que já tinha sido previsto mas nunca observado.

One hundred years after the publishing of the general theory of relativity by Albert Einstein in 1915, an extraordinary thing happened. On 14 September 2015, at 10.51am Portuguese and Madeira time (one hour less in the Azores), the instruments of the two large observatories LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) detected the first ever observation of gravitational waves. Physicists concluded that a disturbance of spacetime was produced in the split second of two black holes merging together, originating a single rotating black hole with bigger mass — something that had been predicted but never observed.

Com base nos sinais registados, os cientistas do LIGO estimaram que os buracos negros envolvidos no evento teriam cerca de 29 e 36 vezes a massa do Sol e que a sua fusão terá ocorrido há 1,3 mil milhões de anos. Avaliaram ainda que aproximadamente três vezes a massa do Sol foi convertida em ondas gravitacionais. A primeira detecção — sintomática da escala a que as ciências físicas são, por vezes, praticadas na actualidade — foi publicada num artigo da revista científica *Physical Review Letters*, assinada por mais de mil investigadores. O próprio Albert Einstein duvidava de que fosse possível detectar as flutuações previstas pela sua teoria da gravitação. Por inaugurarem a era da física observacional das ondas gravitacionais, após 50 anos de tentativas goradas, os líderes do projecto, Kip Thorne, Rainer Weiss e Barry C. Barish, receberam o Prémio Nobel da Física de 2017.

Gráficos do sinal das ondas gravitacionais recebido a 14 de Setembro de 2015 pelos instrumentos do observatório LIGO em Hanford, no estado de Washington, e em Livingston, no Louisiana (EUA). Em baixo, primeiro gráfico, e ao centro, estão os sinais previstos e, ao fundo, o sinal efectivamente detectado.

Gravitational waves signals received on 14 September 2015 by the instruments of the LIGO instruments at Hanford, Washington, and Livingston, Louisiana (USA). At the top and centre are the expected signals and at the bottom, the signal effectively received.



Based on the signals registered by the LIGO scientists, it was estimated that those black holes had the equivalent mass of around 29 to 36 solar masses and their merge happened about 1.3 billion years ago. The first detection of gravitational waves — an example of the scale in which current physics sometimes works — was announced and published in a paper in the scientific magazine *Physical Review Letters*, signed by over one thousand researchers. Albert Einstein himself doubted it could be possible to detect the waves predicted by his gravitational theory. For their contribution to the era of observational physics of gravitational waves, after fifty years of failed attempts, the leaders of the project, Kip Thorne, Rainer Weiss and Barry C. Barish were awarded the 2017 Nobel Prize in Physics.

Em cima, Rainer Weiss, do Instituto de Tecnologia do Massachusetts (EUA), recebeu em 2017 o Prémio Nobel da Física pelas suas contribuições decisivas para o observatório LIGO e para a detecção de ondas gravitacionais. Em baixo, os outros dois galardoados, Barry C. Barish e Kip S. Thorne (à direita), celebram a distinção no Instituto de Tecnologia da Califórnia (EUA).

At the top, Rainer Weiss, of the Massachusetts Institute of Technology (USA), was awarded the 2017 Nobel Prize in Physics for his decisive contributions to the LIGO project and the detection of gravitational waves. At the bottom, the other two recipients of the prize, Barry C. Barish and Kip Thorne (right) celebrating at the California Institute of Technology (USA).





Vista aérea do interferómetro LIGO em Hanford, no estado de Washington (EUA).

Aerial view of the LIGO in Hanford, in the state of Washington (USA).

LIGO – UM INTERFERÓMETRO GIGANTE

LIGO – A GIGANTIC INTERFEROMETER

