

Os prémios Nobel de física para astrofísica e gravitação e o prémio Nobel para buracos negros: Passado, presente e futuro

José P. S. Lemos¹

¹ Centro de Astrofísica e Gravitação - CENTRA, Departamento de Física, Instituto Superior Técnico - IST, Universidade de Lisboa - UL, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa,

joselemos@ist.utl.pt

Resumo

Analisamos os prémios Nobel de física para a astrofísica e a gravitação desde a criação do prémio e destacamos o prémio Nobel de física 2020 para buracos negros. Comentamos sobre nomes que poderiam ter ganhado o prémio em astrofísica e gravitação e especulamos sobre futuros ramos destas áreas da física que poderão ser contemplados com o prémio Nobel.

1. Introdução

O prémio Nobel de física, outorgado pela Academia Real de Ciências Sueca a cientistas e a trabalhos excepcionais, iniciou-se em 1901, tendo nesse ano sido atribuído a Röntgen, um físico alemão, pela “descoberta dos notáveis raios aos quais foi subsequentemente dado o seu nome” (texto entre aspas significa uma tradução livre da declaração em inglês do comité Nobel). Estes raios, conhecidos como raios X, são radiação eletromagnética de alta energia. O prémio é concedido anualmente e até aos dias de hoje várias áreas da física tiveram o privilégio de serem agraciadas com essa magnífica distinção.

O principal critério para o prémio Nobel de física é de que as obras e as proezas científicas a serem consideradas tenham sido testadas ao longo do tempo. Na prática, isto significa que trabalhos experimentais definitivamente comprovados que levaram ao progresso da física e trabalhos teóricos pioneiros e testados experimentalmente podem aspirar ao prémio. Especulação pura por si só, por mais interessante que possa ser, não se ajusta a este critério do prémio e não é considerada.

O trabalho de seleção é muito criterioso. Envolve a Academia Real de Ciências Sueca que elege o comité Nobel para a física, composto por cinco pessoas, que por sua vez recebe propostas de candidaturas de anteriores galardoados com o prémio Nobel e de outros cientistas. Depois de selecionar dez candidaturas, o comité propõe-nas à Academia que, após as reuniões necessárias, vota nos pre-

miados daquele ano. Pode haver no máximo três recipientes por ano.

Esta combinação de confirmação da obra com o tempo, do trabalho laborioso e exaustivo do comité e da Academia e de existirem no máximo três recipientes, é muito poderosa e fazem do prémio Nobel de física, de longe, o prémio mais importante em física. O prémio Nobel de física, para lá de um prémio para físicos excepcionais, é um prémio para a física como ciência, e quem o recebe tem essa afortunada felicidade.

Dentro das várias áreas da física, estamos interessados nas áreas de astrofísica e gravitação que são duas áreas da física estritamente interligadas. Um exemplo dessa interligação é a cosmologia, a ciência do Universo, que usa a astrofísica para explicar a física dos fenómenos relevantes e serve-se da gravitação para elucidar a dinâmica global do espaço-tempo. Outro exemplo dessa interligação entre as duas áreas é o buraco negro, um objeto com a sua existência comprovada através de observações e interpretações provenientes da astrofísica e também produto de especulação pura dentro da gravitação, em particular dentro da teoria da Relatividade Geral.

Vamos descrever e analisar a quem e por quais obras foi atribuído, ao longo dos tempos, o prémio Nobel de física em astrofísica e gravitação, incluindo e realçando a distinção de 2020 para buracos negros. Comentamos também sobre possíveis premiados que por uma razão ou por outra não foram condecorados com esse consagrado prémio da Academia. Além disso, especulamos sobre os possíveis ramos da astrofísica e gravitação que poderão futuramente obter prémios Nobel.

2. O prémio Nobel de física para a astrofísica e a gravitação desde a criação do prémio até 2019

2.1 Os premiados

Astrofísica e gravitação são dois ramos da física vastos e intimamente interligados desde que Newton descobriu que a gravitação era universal, ligando definitivamente os céus à Terra e, mostrando um Universo unificado em que tudo obedecia às mesmas leis da física. O prémio Nobel inaugural atribuído a Röntgen pela descoberta dos raios X não é certamente um prémio nem para a astrofísica nem para a gravitação, embora os raios X tenham se tornado uma janela de observação extremamente importante em astrofísica. Os prémios Nobel atribuídos diretamente para a astrofísica e gravitação são vários. Vejamos quais são, fornecendo a data de atribuição do prémio, o nome dos premiados, fazendo um resumo do texto fornecido pelo comité Nobel da Academia Real de Ciências Sueca, e fazendo alguns comentários sob os trabalhos correspondentes e relacionados realizados.

Einstein - “Por serviços à física teórica e especialmente à descoberta da lei do efeito fotoelétrico”. É prática comum afirmar que Einstein foi premiado pela explicação do efeito fotoelétrico, mas o comunicado do comité Nobel diz muito mais do que isso, refere-se explicitamente aos serviços prestados à física teórica. Os serviços de Einstein realizados em física teórica são muitos, e claramente podemos incluir nestes serviços a criação das teorias restrita e geral da relatividade. A Relatividade Geral é a teoria da gravitação que sucedeu à teoria da gravitação de Newton e por isso este prémio para a física teórica é também para a gravitação.

1967 Bethe - “Pela descoberta das reações nucleares e a produção de energia nas estrelas”. Bethe era um físico alemão que se radicou nos Estados Unidos. Um problema levantado por Eddington, célebre astrofísico inglês, era o de resolver a geração de energia no centro de uma estrela, em que o Sol era um exemplo. Admitia-se que essa energia provinha de reações nucleares, possivelmente da transformação de quatro prótons num núcleo de hélio. Os complicados detalhes dessas reações que ocorrem no centro das estrelas foi resolvido em 1939 por Bethe quando ele já estava em Cornell. Este é um Nobel para a astrofísica e a física nuclear conjuntamente.

1974 Ryle; Hewish – Para Ryle “pelas observações e invenções em radioastrofísica” e para Hewish “pela descoberta dos pulsares”. Ryle era um astrofísico inglês de Cambridge que desenvolveu um sistema de antenas para observações em ondas rádio e mostrou em 1960 que galáxias distantes, e por isso mais jovens, eram diferentes das galáxias perto, e por isso mais velhas, tendo este facto, por um lado, ajudado a corroborar a veracidade de

uma cosmologia de um universo em expansão e em transformação, e, por outro, lado tendo sido um dos primeiros argumentos de peso a demonstrar que a teoria cosmológica de um universo de estado estacionário, de Bondi, Gold e Hoyle, astrofísicos teóricos também baseados em Cambridge, estava errada, ou melhor, não era compatível com o nosso Universo. Hewish, um astrofísico inglês também de Cambridge, a trabalhar em radioastronomia na unidade de Ryle, descobriu em 1967 o primeiro pulsar através da detecção de pulsos rápidos de ondas na frequência rádio provenientes do céu. A sua aluna de doutoramento Jocelyn Bell estava ao comando dos instrumentos quando o sinal chegou e reconhecendo, ao analisar os registos, que era um sinal novo e possivelmente importante apresentou-o a Hewish e ao grupo de imediato. Logo depois foi mostrado por Gold, físico de Cambridge e da Universidade de Cornell, e por outros físicos, que pulsares eram estrelas de neutrões em alta rotação, estrelas de uma massa solar, de raio muito pequeno de 10 km, e formadas essencialmente por neutrões. Estrelas de neutrões tinham sido especuladas existirem por Zwicky, um astrofísico suíço a trabalhar no Caltech, em 1934, como estrelas que ficavam no centro da explosão de uma supernova. Este é um Nobel para a astrofísica.

1978 Penzias e Wilson - “Pela descoberta da radiação cósmica de fundo de microondas”. Penzias, nascido na Alemanha e baseado nos EUA e Wilson, físico americano com formação no Caltech, tinham feito os seus doutoramentos em física de microondas e radioastronomia e trabalhavam nas antenas rádio dos laboratórios Bell, em New Jersey. Em 1965, detectaram a radiação cósmica de fundo na faixa de microondas, a qual tinha uma temperatura de 2.7 K. Esta radiação cósmica tinha sido prevista em 1948 por Alpher e Herman, físicos americanos discípulos de Gamow, dentro do modelo de Big Bang do próprio Gamow, um físico russo radicado nos Estados Unidos da América. A deteção dos afortunados Penzias e Wilson foi por acaso, eles não sabiam a origem da radiação detetada. Por coincidência, Dicke, um físico americano versado tanto em física teórica como em física experimental, e o seu grupo que incluía Peebles em Princeton, vizinhos dos laboratórios Bell, estavam à procura dessa deteção e interpretaram imediatamente a radiação detetada como sendo a radiação de fundo cósmico. Assim, esta deteção, que poderia ter ficado perdida sem nenhuma explicação, foi de imediato esclarecida e, com isso, o Big Bang como modelo do Universo tinha sido comprovado em definitivo. Pode-se argumentar que é estranho Penzias e Wilson terem recebido o prémio por uma descoberta que eles não faziam a menor ideia o que era, mas o facto é que é uma descoberta de primeira grandeza feita pelos dois e como tal está dentro dos critérios do prémio Nobel. A situação do prémio inaugural em 1901 é idêntica. Röntgen não fazia ideia que raios ele tinha descoberto, somente mais tarde se inferiu que era radiação eletromagnética de alta energia, e ninguém, ou melhor quase ninguém, sabe quem fez essa inferência. De qualquer maneira, em 2023, os arquivos do prémio Nobel de 1978 ficarão disponíveis para consulta e poderemos perceber melhor os argumentos adiantados para esta in-

dicação. Este é um Nobel para a astrofísica e gravitação, mais precisamente para a cosmologia que é um exemplo da interligação destas duas áreas científicas. Esta foi a metade do prémio Nobel de 1978, a outra metade foi para Kapitsa um físico soviético de física de baixas temperaturas.

1983 Chandrasekhar; Fowler - Para Chandrasekhar “pelos seus estudos teóricos dos importantes processos físicos para a estrutura e evolução das estrelas” e para Fowler “pelos seus estudos teóricos e experimentais das reações nucleares importantes na formação dos elementos químicos no universo”. Chandrasekhar, nasceu na Índia, e ainda jovem foi para Cambridge, onde na década de 1930 desenvolveu um trabalho notável na estrutura das estrelas anãs brancas, tendo descoberto com precisão qual a massa máxima dessas estrelas, ou seja a massa a partir do qual colapso gravitacional é inevitável. Essa massa é de 1,4 massas solares. Teve muitos outros trabalhos importantes em astrofísica e gravitação. Num deles, em 1942, em colaboração com Mário Shenberg, físico brasileiro, quando este estava em Chicago onde Chandrasekhar se instalou, foi encontrada uma massa máxima para a parte central em equilíbrio isotérmico de uma estrela gigante vermelha, denominada de limite Schönberg-Chandrasekhar, a partir da qual esse centro encolhe sob o próprio peso, aumentando a sua temperatura e iniciando a queima do hélio existente. Fowler, um físico americano do Caltech, era um especialista em física nuclear teórica e experimental. Num artigo de 1957 do casal de físicos ingleses Burbidge e Burbidge, Fowler e Hoyle, conhecido como o B²FH, foi mostrado que todos os elementos químicos mais pesados que o hélio são gerados no centro das estrelas. Este é um Nobel para a astrofísica e gravitação pelo lado de Chandrasekhar e é um Nobel para a astrofísica e física nuclear pelo lado de Fowler.

1993 Hulse e Taylor - “Pela descoberta de um novo tipo de pulsar, uma descoberta que abriu novas possibilidades para o estudo da gravitação”. Taylor, um astrofísico americano, e Hulse, americano e estudante de doutoramento, descobriram em 1974 o pulsar binário constituído por um pulsar e uma estrela de neutrões próximos um do outro em órbita conjunta. Este sistema binário de estrelas compactas possibilitou a dedução de muitas das suas propriedades físicas. Em particular, a diminuição do raio da órbita com o tempo do sistema binário está de acordo com a previsão da relatividade geral levando em conta a perda de energia por radiação gravitacional prevista pela teoria. É a primeira comprovação da existência de ondas gravitacionais, embora indireta. Este é um Nobel para a gravitação através da astrofísica.

2002 Davis, Koshiba; Giacconi – Para Davis e Koshiba “pelas contribuições pioneiras à astrofísica, em particular pela detecção de neutrinos” e para Giacconi “pelas contribuições pioneiras à astrofísica, que levou à descoberta de fontes de raios-X cósmicas”. Davis, um físico americano, e Koshiba, um físico japonês, prepararam experiências sofisticadas na década de 1960 em que detectaram pela primeira vez neutrinos provenientes do centro do Sol, sendo uma prova direta crucial da existência das reações nucleares aí existentes. No entanto, o fluxo de neutrinos recebido era um terço do fluxo calculado pelas teorias de estrutura

de estrelas e de partículas elementares. Esta discrepância abriu uma nova linha de investigação em física de neutrinos e levou à descoberta experimental que os neutrinos têm massa, embora muito pequena, e em voo oscilam mudando de identidade entre si, os detetores originais só estavam aptos a perceber uma das identidades. Pela resolução do problema, Kajita, físico japonês, e McDonald, físico canadiano, receberam o prémio Nobel de física de 2015. Giacconi, um físico italiano, que trabalhou em vários projetos na Europa e nos Estados Unidos da América foi um dos precursores na construção de detetores, ou telescópios, de raios X, os tais raios de Röntgen. Estes detetores têm que estar em satélites em órbita para evitar a atmosfera da Terra que é opaca a raios X. Um satélite explorador com um detetor de raios X a bordo, o Uhuru, foi lançado para o espaço em 1970. Uma das fontes de raios X, chamada de Cisne X1, que tinha sido identificada na constelação do Cisne em 1964 por um satélite antecessor, foi alvo de observações especiais pelo satélite Uhuru. A intensidade dos raios X sofria alterações rápidas o que, devido ao valor finito da velocidade da luz, significava um objeto muito compacto. Estudos adicionais mostraram que a fonte era composta por um sistema binário, com um dos objetos sendo uma estrela gigante azul com massa de 30 massas solares e o outro objeto sendo muito compacto com massa de cerca de 20 massas solares, só podendo ser um buraco negro, o primeiro buraco negro estelar a ser identificado. Os raios X observados são gerados pela colisão da matéria proveniente da estrela gigante com a matéria num disco em órbita em torno do buraco negro. Este é um Nobel para a astrofísica e para as partículas elementares pelo lado de Davis e Koshiba e é um Nobel para a astrofísica, gravitação e outras áreas da física pelo lado de Giacconi.

2006 Mather e Smoot – “Pela descoberta da forma e anisotropia da radiação cósmica de fundo de microondas”. Mather, um físico americano, especialista em instrumentação e radiação cósmica de fundo e Smoot, um físico americano, especialista em instrumentação, física de partículas e astrofísica, ambos de Berkeley, estiveram à frente da ciência do satélite COBE, acrónimo em inglês para Cosmic Background Explorer. Depois da deteção espetacular em circunstâncias inusitadas da radiação cósmica de fundo queriam-se detalhes físicos dessa radiação. No universo primordial radiação e matéria estavam em equilíbrio térmico tendo essa radiação um espectro característico de corpo negro, até que, devido à expansão do Universo, a radiação desacoplou da matéria tendo nesse momento congelado esse espectro. Por isso, a radiação detetada deveria ter um espectro de corpo negro, a assinatura do equilíbrio térmico inicial. Além disso, no universo primordial havia flutuações de densidade na matéria e por isso flutuações de temperatura

na radiação. Seriam essas flutuações que teriam dado origem às galáxias. No momento de desacoplamento, essas flutuações ficaram gravadas na temperatura da radiação, um ponto no céu deveria ter uma temperatura diferente de um outro ponto do céu vizinho. Mather, responsável pela forma do espectro da radiação cósmica de fundo, obteve uma forma perfeita de corpo negro e Smoot, responsável pelas medições das flutuações de temperatura, obteve flutuações nessa temperatura de uma parte em 10^5 , que era o valor esperado e que muitos outros antes dele tentaram encontrar e não conseguiram. Este é um Nobel para a astrofísica e gravitação, mais precisamente para a cosmologia que é um exemplo da interligação destas duas áreas científicas.

2011 Perlmutter, Schmidt e Riess – “Pela descoberta da expansão acelerada do Universo através da observação de supernovas distantes”. Perlmutter é um físico americano baseado em Berkeley, Schmidt é um físico americano baseado na Austrália e Riess é um físico americano baseado na Universidade John Hopkins. Desde a descoberta da relação linear para galáxias do desvio para o vermelho em função da distância por Hubble em 1929 que se queria saber se a linearidade mudava com a distância e, se sim, para que lado da reta haveria a mudança na lei. Se mudasse para um lado significaria que o Universo estaria a desacelerar, se mudasse para o outro significaria que o Universo estaria a acelerar. Nos anos 1990 Perlmutter percebeu que as supernovas tipo Ia, que são estrelas que explodem logo após atingirem o limite de Chandrasekhar por extração de matéria da estrela companheira, se bem utilizadas, serviriam como velas padrão e por isso seriam excelentes medidas de distâncias longínquas pois o seu brilho é enorme. Em 1998, depois de um esforço grande para obter tempo de telescópio em todos os lugares do mundo, Perlmutter anunciou que a expansão do Universo é acelerada. Schmidt e Riess, num projeto semelhante e paralelo, descobriram concomitantemente a expansão acelerada do Universo. Uma explicação física desta expansão acelerada do Universo requer uma constante cosmológica ou uma outra forma de energia escura possivelmente associada à energia do vácuo, assunto que tem estimulado investigação intensa nas áreas de gravitação, teoria quântica de campos e física de partículas elementares. Esta última tem sido de enorme importância em cosmologia, na explicação dos fenómenos físicos do universo primordial desde que se percebeu em 1973, através do trabalho dos físicos americanos Politzer, Gross e Wilczek, contemplados com o prémio Nobel de 2004, que a interação forte é assintoticamente livre e por isso as três interações fundamentais, a saber, a eletromagnética, a fraca e a forte, podem se juntar numa teoria de grande unificação a uma dada escala de energia alta, mas um pouco mais baixa do que a escala de energia de Planck, a maior escala

elementar de energia possível. Este é um Nobel para a astrofísica e gravitação, mais precisamente para a cosmologia que é um exemplo da interligação destas duas áreas científicas.

2017 Weiss, Barish e Thorne - “Por contribuições decisivas para o detector LIGO e a observação de ondas gravitacionais”. Weiss, nascido na Alemanha e radicado nos Estados Unidos da América, especificamente no MIT, Barish, físico de partículas americano habituado a lidar com grandes colaborações e Thorne, um físico teórico do Caltech, aluno de Wheeler em Princeton, lideraram o projeto LIGO, sigla em inglês para Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory. Weiss na década de 1960 percebeu que um interferómetro de laser seria o aparelho perfeito para detectar ondas gravitacionais e construiu vários pequenos protótipos de forma a aprimorar o seu funcionamento. Thorne, especialista em buracos negros e ondas gravitacionais, desenvolveu a teoria de ondas gravitacionais numa forma sistemática e nos anos de 1970 juntou-se com Weiss para criarem o projeto LIGO. No final da década de 1990, Barish tornou-se o novo diretor do LIGO, supervisionando a montagem dos dois interferómetros, um no estado de Washington, o outro no estado da Louisiana, separados por 3000 km. No dia 14 de Setembro de 2015 os dois interferómetros laser, vibraram da mesma maneira com um intervalo de aproximadamente 1 centésimo de segundo como consequência da passagem de uma onda gravitacional pela Terra. Os dados colhidos pelos aparelhos mostraram que essa onda tinha sido gerada pela colisão, a distâncias cosmológicas, de dois buracos negros de 30 massas solares cada um. Foi a primeira vez que a humanidade detectou ondas gravitacionais. Agora faz-se astronomia e astrofísica com ondas gravitacionais. Este é um Nobel para a gravitação.

2019 Peebles; Mayor e Queloz - “Pelos contribuições para a nossa compreensão da evolução do Universo e do lugar da Terra no cosmos com metade do prémio para Jim Peebles por descobertas teóricas em cosmologia física e a outra metade em conjunto para Michel Mayor e Didier Queloz pela descoberta de um exoplaneta em órbita de uma estrela tipo solar”. Peebles, nascido no Canadá e radicado em Princeton, pertencia ao grupo original de cosmologia de Dicke na década de 1960, sendo um dos autores do artigo de 1965 sobre radiação cósmica de fundo que acompanha o artigo de Penzias e Wilson. Peebles desenvolveu a cosmologia física de forma rigorosa. Entre várias contribuições importantes, mostrou a física que se poderia extrair da radiação cósmica de fundo e a importância da matéria escura na formação de galáxias. Mayor e Queloz, dois astrofísicos suíços baseados em Genebra, descobriram pela primeira vez um planeta fora do sistema solar numa estrela tipo Sol. Atualmente são conhecidos cerca de cinco mil exoplanetas e outros tantos candidatos à espera de aprovação. Este é um Nobel para a astrofísica e gravitação, mais precisamente para a cosmologia que é um exemplo da interligação destas duas áreas científicas, pelo lado de Peebles e é um Nobel para a astrofísica pelo lado de Mayor e Queloz.

2.2 Os que poderiam ter sido premiados

É de interesse indicar e comentar sobre aqueles que poderiam ter sido galardoados com o prémio Nobel de física em

astrofísica e gravitação e que por alguma razão o comité Nobel e a Real Academia de Ciências Sueca não os colocaram na lista prioritária máxima.

Eddington, o grande astrofísico inglês de Cambridge, foi o primeiro a perceber por volta de 1920 o interior das estrelas através de um modelo simples e eficaz que permitia obter a temperatura e a densidade no centro de uma estrela. Percebeu também que a energia gerada no interior de uma estrela tinha de ser subatómica, ou seja, teria de ser energia nuclear, assunto que foi confirmado quando Bethe encontrou as reações nucleares de geração de energia no centro da estrela, tendo com isso sido premiado com o Nobel como mencionado acima. Eddington deu muitas outras contribuições, nomeadamente, à física e astronomia galáctica, à comprovação da relatividade geral pelo teste do desvio da luz no eclipse do Príncipe de 1919, à cosmologia, à física fundamental e à divulgação da ciência. Nas primeiras duas décadas do século 20, trabalhos em astrofísica dificilmente, ou mesmo nunca, eram considerados para obterem o prémio, compreendendo-se por isso porque Eddington não o recebeu. Seria um prémio Nobel para a astrofísica.

Hubble, astrónomo americano, esteve à frente do maior telescópio do mundo situado na Califórnia, o telescópio de Monte Wilson de 2,5 metros. Através de observações precisas conseguiu produzir uma relação de desvio para o vermelho versus distância das galáxias, o que lhe permitiu enunciar em 1929 a lei de Hubble, ou seja, a velocidade da galáxia é proporcional à sua distância. Foi um feito em astronomia. Note-se, no entanto, que Hubble sempre afirmou que essa relação não significava em definitivo que o universo estivesse em expansão. Nesta conexão, deve ser lembrado que Lemaître, físico belga, discípulo de Eddington, descobriu entre 1925 e 1927, com os dados observacionais até então publicados e de posse de uma solução da teoria da relatividade geral que fornecia um universo em expansão que ele mesmo tinha encontrado, embora Friedmann, físico russo de São Petersburgo, a tivesse encontrado três anos antes, a lei que fornece a relação proporcional entre a velocidade e a distância da galáxia. Lemaître encontrou a lei de Hubble antes de Hubble, que por isso é muitas vezes referida com lei Lemaître-Hubble. Além disso, Lemaître foi o primeiro a propor um Big Bang consistente com o Universo em expansão. Não se compreende porque Hubble não recebeu o prémio Nobel. A descoberta da relação linear entre desvio para o vermelho e distância das galáxias, e a consequente inferência que isso significa um Universo em expansão, é uma das maiores descobertas científicas de todos os tempos, feita com um trabalho observacional minucioso, preciso e extremamente difícil. Provavelmente, a Academia Sueca teve dúvidas se um trabalho observacional seria elegível para um prémio Nobel de Física, erro que deixou de cometer posteriormente como atestam os prémios Nobel para pulsares, pulsares binários, radiação cósmica de fundo, aceleração do universo, neutrinos solares e observações em raios X. Por inerência, Lemaître podia ter recebido o prémio em conjunto com Hubble, embora o seu trabalho fosse mais especulativo e de difícil confirmação nessa época. Seria um prémio Nobel para a cosmologia.

Gamow, nascido na Crimeia na Rússia imperial, obteve o doutoramento em São Petersburgo já União Soviética, e instalou-se nos Estados Unidos da América, primeiro em Washington depois no Colorado. Gamow deu contribuições decisivas para a física, astrofísica e cosmologia. Em 1928, descobriu o efeito túnel no decaimento de núcleos atómicos, um efeito genérico e de enorme importância em fenómenos quânticos. A partir de 1942, desenvolveu um modelo de Big Bang em cosmologia em que o Universo, em expansão, nos seus primeiros minutos fabricava todos os elementos conhecidos a partir do hidrogénio, desde o deutério, ao hélio e aos transurânicos. Foi provado posteriormente que os elementos químicos leves, como o deutério, o hélio e o lítio foram fabricados no universo primordial enquanto os outros elementos mais pesados foram e são fabricados no centro das estrelas como tinha sido analisado por Hoyle e colaboradores. Alpher e Herman, discípulos de Gamow, propuseram em 1948 a existência de uma radiação cósmica de fundo, relíquia desse universo primordial de Gamow. Essa radiação foi detetada 17 anos mais tarde por Penzias e Wilson e interpretada como sendo de origem cósmica por Dicke e o seu grupo. Nem Gamow, Alpher e Herman, nem Dicke receberam o prémio Nobel. É um facto, que Dicke e o seu grupo, nos respetivos artigos inaugurais sobre este assunto, não fizeram referência aos trabalhos pioneiros de Gamow, Alpher e Herman. É também um facto que a radiação encontrada foi imediatamente interpretada corretamente por Dicke. O comité Nobel deparou-se com muitos nomes no lado teórico e como o Nobel só é concedido para três pessoas no máximo, preferiu só outorgá-lo a quem detetou essa radiação, nomeadamente, Penzias e Wilson, deixando Gamow, Alpher, Herman e Dicke de fora. O prémio Nobel para Peebles em 2019 tem também um carácter póstumo de prémio para Dicke que foi seu orientador e mentor na época em que a radiação de fundo foi descoberta. Seria um prémio Nobel para o lado teórico da cosmologia.

Hoyle, um astrofísico inglês de Cambridge, teve várias ideias importantes e decisivas sobre como os elementos químicos no interior das estrelas e na explosão de supernovas são gerados. Quando Hoyle passou pelo Caltech como visitante em 1953 percebeu que tinha de ocorrer uma ressonância no núcleo do átomo de carbono, caso contrário o carbono não se fabricaria nas estrelas, e a vida como a conhecemos, baseada em carbono, não existiria. Fowler e o seu grupo do Caltech demonstraram logo depois experimentalmente a existência dessa ressonância. Hoyle foi também um importante autor do artigo B²FH de 1957 em que a síntese dos elementos nas estrelas é proposta pioneiramente, além de ter sido autor de outros artigos com vários colaboradores na década de 1960, em que se conclui que a maior parte do hélio existente seria pri-

mordial, não tendo sido formado nas estrelas. Juntamente com Bondi e Gold, físicos de Cambridge, Hoyle propôs a imaginativa cosmologia de estado estacionário que não vingou por incompatibilidade com as observações, mas que Hoyle insistiu até ao fim estar correta. Hoyle também achava que a molécula de ADN se teria originado fora da Terra, talvez em algum ponto no sistema solar ou mesmo em algum outro lugar. Era ríspido no trato com os adversários científicos e com isso angariou muitos desafetos. Mesmo conhecendo o lado muito heterodoxo de Hoyle dentro da ciência, é um mistério porque a Real Academia de Ciências Sueca decidiu dar o prémio Nobel a Fowler sem concomitantemente tê-lo concedido a Hoyle. Nem Fowler percebeu o lapso nem Hoyle ficou feliz. Este não seria um prémio Nobel novo para a astrofísica, estaria dentro do prémio Nobel de 1983.

Shapiro, físico americano, é professor emérito de Harvard tendo sido também professor no MIT. Descobriu e propôs em 1964 um quarto teste para a relatividade geral. A Relatividade Geral tinha sido verificada por três testes, a saber, precessão do periélio de Mercúrio, o encurvamento da luz no campo gravitacional do Sol, e o desvio espectral para o vermelho da luz ao subir por um campo gravitacional. Estes testes foram propostos e testados por volta de 1920. Foi de forma totalmente inesperada que o quarto teste apareceu. Este quarto teste é o teste do atraso do radar no eco de um planeta, chamado de atraso Shapiro. Quando um sinal de radar é enviado para Vénus faz ricochete no planeta e parte do sinal volta para a Terra. Se Vénus está alinhado com o Sol e a Terra e está do lado oposto do Sol, o sinal passa pelo campo gravitacional do Sol e devido à curvatura do espaço e do espaço-tempo o sinal sofre um atraso relativamente a se o espaço fosse plano, como é o caso na gravitação newtoniana. O teste foi feito e confirmado pelo próprio Shapiro e colaboradores em 1968. É uma ideia brilhante e belíssima que confirmou mais uma vez a relatividade geral numa época em que a teoria só tinha sido submetida aos três testes denominados clássicos. Além disso, o atraso de Shapiro tem-se mostrado muito útil em astronomia em outros sistemas astrofísicos. Percebe-se que a Academia não tenha dado o prémio, provavelmente existem vários ideias e testes experimentais deste nível em outras áreas da física, também candidatos. Seria um prémio Nobel para a gravitação.

Jocelyn Bell, britânica nascida na Irlanda do Norte, é atualmente reitora da Universidade de Dundee. Em 1967 ela era estudante de doutoramento em Cambridge com orientação de Hewish. Bell estava encarregada de olhar para os dados que chegavam ao rádio telescópio e um dia em 1967 notou que havia um sinal com um pulso regular com um período de cerca de um segundo. Sinais idênticos de fontes de rádio pulsando rapidamente apareceram

logo depois em outras partes do céu. Estas fontes foram denominadas pulsares. Dada a importância da descoberta, um artigo sobre a primeira observação de um pulsar foi imediatamente publicado. Este artigo de 1968, que relata a descoberta, é assinado por cinco autores, Hewish em primeiro e Bell em segundo. Hewish foi o responsável pelo desenvolvimento do telescópio de rádio e estava à frente da ciência a ser feita com esse telescópio. Pela descoberta do primeiro pulsar Hewish recebeu o prémio. Bell também deveria ter recebido conjuntamente, afinal foi ela quem descobriu o primeiro pulsar, ao analisar os registos identificou sem hesitar uma fonte de rádio não usual. O comité possivelmente considerou que alunos de doutoramento não teriam estatuto para receber o Nobel. Não cometeu esse equívoco de novo, tendo atribuído o prémio a Hulse, aluno de Taylor, em 1983. Este não seria um prémio Nobel novo para a astrofísica, estaria dentro do prémio Nobel de 1974.

3. O prémio Nobel de Física 2020 para buracos negros

3.1 Os premiados

Dado que o prémio para a deteção de ondas gravitacionais foi concedido em 2017 e estas apareceram devido à colisão de dois buracos negros, poder-se-ia sonhar que a concessão do prémio para buracos negros aconteceria num futuro próximo, e se fosse outorgado poderia-se especular quem seriam os galardoados. Mas, sonhar e especular é uma coisa, outra coisa é a realidade. Foi com grande surpresa que no dia 6 de Outubro de 2020 chegou o anúncio do comité que o prémio Nobel de física tinha ido para buracos negros. O comunicado do comité para o prémio Nobel de física 2020 afirma: “A Academia de Ciências Real Sueca decidiu atribuir o Prémio Nobel de Física de 2020 a Roger Penrose, Universidade de Oxford, Reino Unido, Reinhard Genzel, Instituto Max Planck para Física fora da Terra, Garching, Alemanha e Universidade da Califórnia, Berkeley, EUA, e Andrea Ghez, Universidade da Califórnia, Los Angeles, EUA. Metade vai para Roger Penrose pela descoberta que a formação de buracos negros é uma predição robusta da teoria geral da relatividade. A outra metade vai conjuntamente para Reinhard Genzel e Andrea Ghez pela descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro da nossa galáxia.”

Quem são estes galardoados?



Penrose nasceu em 1931 em Colchester, Inglaterra, obteve o PhD em 1957 em Matemática em Cambridge e é atualmente professor Rouse Ball Emérito na Universidade de Oxford. Desenvolveu novas técnicas matemáticas de topologia e geometria diferencial e aplicou-as ao estudo das características geométricas de espaço-tempos em geral e de buracos negros em particular. Foi o primeiro a entender a essência de um buraco negro. Criou em 1965 o conceito de uma superfície aprisionada, superfície a partir da qual raios de luz emergentes convergem, e que surge quando o campo gravitacional interior a essa superfície é muito intenso. Com isso conseguiu mostrar que uma singularidade dentro

de uma tal superfície se forma, presumivelmente uma singularidade onde o próprio espaço-tempo termina e as leis da física como as conhecemos desaparecem, pondo um ponto final na discussão sobre a inevitabilidade ou não da formação de um buraco negro e de uma singularidade. Para muitos, o seu artigo de 1965 é considerado a contribuição mais importante à Relatividade Geral desde a formulação original da teoria em 1915. Mas há mais contribuições notáveis. Kerr, um físico neozelandês a trabalhar em Austin Texas, tinha encontrado em 1963 um solução em relatividade geral de um buraco negro em rotação, que generalizava de forma admirável a solução encontrada em 1916 por Schwarzschild, um físico alemão, para um espaço-tempo estático. Penrose descobriu em 1969 que é possível extrair energia de um buraco negro de Kerr através do decaimento, próximo do horizonte de eventos, de uma partícula em duas outras partículas. Uma das partículas entra no buraco negro e a outra é emitida com mais energia para infinito à custa da energia de rotação do buraco negro. Este trabalho de enorme importância desencadeou uma nova física de buracos negros que culminou com a descoberta por Hawking que buracos negros irradiam por processos quânticos. Penrose promoveu muitos outros avanços à física e à matemática. Por exemplo, em cosmologia percebeu que no Big Bang, nos instantes iniciais, a entropia do Universo era muito baixa, já que os graus de liberdade gravitacionais, detentores da maior parte da entropia, estavam praticamente congelados, embora os graus de liberdade da matéria estivessem praticamente todos excitados. Este facto requer condições iniciais muito precisas que qualquer teoria cosmológica tem que explicar e ao qual as teorias inflacionárias em voga não conseguem presentemente responder, a não ser invocando alguma forma de princípio antrópico no contexto de multiverso. É certamente uma honra para Penrose ganhar o prémio Nobel, e também é um privilégio para a Academia Sueca ter Penrose entre os galardoados e que por esse acontecimento merece os parabéns.



Genzel, nasceu em 1952 perto de Frankfurt, Alemanha. Obteve o PhD em 1978 pela Universidade de Bonn e atualmente é diretor do Instituto Max Planck para Física fora da Terra em Garching e Professor em Berkeley. Lidera o projeto Gravity do ESO, acrónimo em inglês para European Southern Observatory, que criou na década de 1990 e que estuda no máximo detalhe as estrelas em órbita em torno do centro da nossa galáxia. Mostrou com o seu grupo que as estrelas nessas órbitas têm velocidades extremamente altas, o que é somente compatível com a existência de um buraco negro de 4 milhões de massas solares.

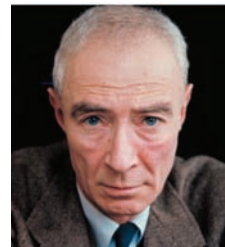


Ghez nasceu em 1965 em Nova York. Obteve o PhD em 1992 pelo Caltech. É atualmente professora na Universidade da Califórnia em Los Angeles. Lidera um projeto no telescópio Keck no Havaí, que começou no fim da década de 1990, e que estuda a cinemática das estrelas em órbita em torno do centro

da nossa galáxia. Observou várias novas estrelas em órbita e também mostrou que estas têm velocidades extremamente altas somente compatíveis com a existência de um buraco negro de 4 milhões de massas solares no centro da nossa galáxia. Os projetos de Genzel e de Ghez, sendo totalmente independentes, complementam-se um ao outro e minimizam os erros que algum dos dois possa apresentar.

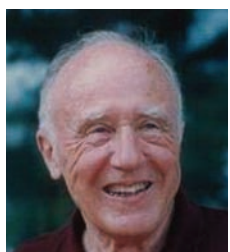
3.2 Os que poderiam ter sido premiados

Existem várias pessoas que estiveram associadas ao conceito de buraco negro e ao seu desenvolvimento e, devido à importância das contribuições, poderiam ter sido galardoadas com um prémio Nobel para buracos negros. Mencionamos agora essas pessoas com uma pequena descrição da sua contribuição.



Oppenheimer, nasceu em 1904 em Nova York. Obteve o PhD em 1927 em Göttingen com trabalhos importantes com Born, físico alemão fundador da mecânica quântica. Foi professor em Berkeley e Caltech e de 1942 a 1945 foi o diretor do Projeto Manhattan em Los Alamos que construiu as duas primeiras bombas atômicas. Foi Oppenheimer quem descobriu buracos negros juntamente com Snyder. Num artigo de 1939, Oppenheimer e Volkoff, um estudante de doutoramento em Berkeley, mostraram que uma estrela de neutrões, do tipo especulado por Zwicky e também por Landau, tinha uma massa máxima da ordem de grandeza da massa máxima que Chandrasekhar tinha descoberto para anãs brancas, a partir da qual, a estrela colapsaria. Intrigado por esta possibilidade de colapso de uma estrela de neutrões, Oppenheimer recrutou então um outro estudante de doutoramento de Berkeley, Snyder, com notórias habilidades matemáticas, para juntos resolverem o problema. Idealizaram um modelo de uma estrela em colapso sobre o seu próprio peso e encontraram que o estado último de tal colapso seria um buraco negro com um horizonte de eventos e uma singularidade. Neste artigo de 1939 de Oppenheimer e Snyder, aparecem naturalmente todos os ingredientes que envolvem o conceito de buraco negro, a saber, o surgimento de um horizonte de eventos para lá do qual o espaço-tempo está cortado do resto do Universo e a descrição da distinção entre tempos completamente diferentes, um tempo marcado pelos relógios de observadores entrando para o próprio buraco negro até à singularidade final, outro tempo marcado por relógios de observadores estacionários no exterior que registam um tempo infinito para a superfície da estrela atingir o horizonte eventos do buraco negro. Com a ida para Los Alamos, com os acontecimentos políticos posterior-

res na época McCarthy que marcaram a sua vida, com a diretoria do Instituto de Estudos Avançados de Princeton que ocupava o seu cotidiano e com o aparecimento de novos interesses, Oppenheimer não voltou a trabalhar em estrelas colapsadas e buracos negros mais nenhuma vez. Embora soubesse que os descobriu, nunca deu valor a isso, aparentemente por achar uma descoberta menor. No entanto, desvendou-se mais tarde, o buraco negro é o objeto por excelência da Relatividade Geral, é pura e complexa geometria do espaço-tempo. Seria um prêmio Nobel para a gravitação. Tendo morrido em 1967, não ficou para ver os tremendos desenvolvimentos posteriores em teoria e observação do objeto que ele juntamente com Snyder tinham criado. Nesta fase inicial, ainda não havia condições para buracos negros e seus descobridores satisfazerem os critérios de serem candidatos ao prêmio Nobel de física.



Wheeler, nasceu em 1911 na Flórida. Obteve o PhD pela Universidade John Hopkins e foi professor em Princeton. Trabalhou com Bohr em física nuclear e inventou o formalismo da matriz-S para explicar espalhamento quântico de partículas. Foi indicado ao prêmio Nobel de física por isso, nunca o tendo recebido. Foi ele que na década de 1950 desenvolveu a física de estrelas colapsadas de forma inédita até ficar convencido que o colapso total de uma estrela para um buraco negro era inevitável, completando conclusiva e decisivamente o resultado do colapso Oppenheimer-Snyder. Levou o conceito de buraco negro até às últimas consequências. Com a sua visão, os seus estudantes de doutoramento criaram ideias inovadoras e, em certos casos, extraordinárias, nomeadamente o seu aluno Bekenstein, de origem mexicana, respondendo a uma pergunta do próprio Wheeler, propôs corretamente que a entropia de um buraco negro é igual à área do seu horizonte de eventos, em unidades apropriadas. Em 1968, Wheeler decidiu que o nome buraco negro para objetos totalmente colapsados era o nome ideal e perfeito e, mais tarde, inventou a expressão buracos negros não têm cabelos para sintetizar que um buraco negro em Relatividade Geral é caracterizado somente pela sua massa, pelo seu momento angular e pela sua carga elétrica, ou seja, só tem três cabelos. Claramente alguém ou algo com três cabelos é efetivamente careca. Percebe-se que a Academia não lhe tenha concedido o prêmio nesta área. Wheeler morreu em 2008, sete anos antes das antenas de ondas gravitacionais confirmarem a existência de colisões entre buracos negros e, por isso, confirmarem para além de qualquer dúvida a existência de buracos negros. Além disso, a sua contribuição é esbatida ao longo de quatro décadas com os seus estudan-

tes, eles mesmos dando novas contribuições significativas. Seria um prêmio Nobel para a gravitação.



Lynden-Bell nasceu em 1935 em Dover, Inglaterra. Fez o PhD com Mestel, astrofísico britânico, em dinâmica galáctica, e foi professor em Cambridge. Em 1969 fez a proposta audaz, acompanhada de cálculos precisos para demonstrá-la, que todas as galáxias eram quasares mortos, ou seja, todas as galáxias continham um buraco negro supermassivo no seu centro já sem atividade. Pouco tempo depois, juntamente com Rees, astrofísico de Cambridge, mostrou, como corolário da proposta original, que a nossa galáxia devia conter um buraco negro central de 4 milhões de massas solares. Pelos fins dos anos 1990, estava ratificado que todas, ou quase todas, as galáxias têm de facto um buraco negro central supermassivo. A imagem espetacular do buraco negro da galáxia M87 feita pelo EHT, acrónimo em inglês para Event Horizon Telescope, é apenas um exemplo. Por ter previsto que todas as galáxias contêm um buraco negro central, foi galardoado com o Prémio Kavli inaugural para astrofísica em 2008, juntamente com Schmidt, um astrofísico americano de origem holandesa do Caltech, que identificou o primeiro quasar em 1963. Claramente, pela sua audaciosa proposta poderia também ter sido contemplado com o prêmio Nobel. O corolário dessa ideia, de que a nossa galáxia contém um buraco negro supermassivo, ficou comprovado com o trabalho observacional de Genzel e Ghez que ganharam o prêmio Nobel 2020. Não tendo tido oportunidade para celebrar a atribuição deste prêmio, morreu em 2018, resta-nos pensar que teria ficado exultante por ver as suas ideias confirmadas e citadas no anúncio e nas cerimónias oficiais. Lynden-Bell trabalhou e desenvolveu diversos e importantes tópicos em astrofísica e Relatividade Geral. Seria um prêmio Nobel para a astrofísica e gravitação.



Hawking, nasceu em 1942 em Oxford. Obteve o PhD em 1966 em cosmologia e foi Lucasian Professor em Cambridge, a cadeira ocupada por Newton e Dirac anteriormente. A partir de 1970 ligou-se ao estudo de buracos negros ao qual deu avanços notáveis. Demonstrou rigorosamente que dentro da teoria da Relatividade Geral a área de um buraco negro nunca decrescia, qualquer que fosse o processo, pavimentando o caminho para o conceito de entropia de um buraco negro, que foi descoberto logo depois por Bekenstein quando fazia o seu doutoramento em Princeton e desenvolvido pelo próprio Bekenstein quando se radicou mais tarde em Israel. Com Bardeen, um físico americano, e Carter, seu colega em Cambridge, Hawking mostrou que a mecânica de buracos negros era regida pelas mesmas leis que a termodinâmica. Combinando Relatividade Geral com Mecânica Quântica, duas disciplinas praticamente imiscíveis, mostrou em 1974 que um buraco negro não é negro, irradia a uma temperatura que é inversamente proporcional

à sua massa. Essa temperatura é chamada temperatura de Hawking e sua expressão envolve as três constantes fundamentais da física, a saber, a constante de gravitação universal, a velocidade da luz e a constante de Planck. Mostra assim que uma teoria quântica da gravitação tem de existir. Esta descoberta revolucionária é possivelmente o resultado mais importante em física teórica na segunda metade do século XX. Com este cálculo, ficou demonstrado em definitivo que buracos negros são não só objetos mecânicos como também objetos termodinâmicos. Agora, termodinâmica é uma descrição conveniente mas não fundamental da natureza. Ficou assim aberto o problema de se saber quais são e onde estão os graus de liberdade de um buraco negro. Muito embora sejam aspectos trabalhados desde então e haja pistas para se perceber um buraco negro como objeto quântico, não há resultados definitivos. Hawking deu ainda contribuições decisivas à cosmologia e preocupou-se em divulgar a ciência. Foi uma celebridade no mundo todo, só comparável a Einstein. Certamente, ele mais do que merecia o prémio Nobel por todo o seu trabalho inovador e revolucionário em buracos negros. Não o recebeu por um triz, morreu em 2018, facilitando a escolha à Academia que só pode dar o prémio a três pessoas no máximo. Seria um prémio Nobel para a gravitação.

4. Da aurora da ciência aos próximos prémios Nobel em astrofísica e gravitação

4.1 Da aurora da ciência aos buracos negros

Anaximandro, filósofo grego que viveu por volta de 550 antes de Cristo, propôs que a “Terra não é segura por nada, mas permanece parada devido ao facto que está equidistante de todas as outras coisas. A sua forma é a de um tambor. Nós caminhamos em uma das suas duas superfícies planas, enquanto a outra superfície está do outro lado”. Esta é considerada, notavelmente por Popper, um filósofo da ciência austríaco que se radicou em Inglaterra, uma das ideias mais portentosas em toda a história do pensamento humano. Pensar a Terra como livre em equilíbrio no meio do espaço, permanecendo estática por causa da equidistância, é uma abstração extraordinária que antecipa Newton e a sua força da gravitação imaterial. É claro, a Terra não é um tambor ou um cilindro, a Terra é aproximadamente uma esfera, mas num contexto cosmológico, que é o contexto da proposta de Anaximandro, a incorreção do escrito é irrelevante, de facto um cilindro e uma esfera são topologicamente equivalentes em linguagem corrente.

Hoje, 2500 anos depois, temos uma ciência da astrofísica e gravitação que explica planetas, estrelas, galáxias, estrutura em grande escala, o próprio Universo, e buracos negros. Neste empreendimento de descobertas formidáveis toda a física está envolvida: relatividade geral e gravitação, física da matéria condensada, e mecânica quântica molecular, atômica, nuclear e de partículas elementares.

O aparecimento do conceito de buraco negro como objeto geométrico por excelência da relatividade geral e a sua confirmação observacional como objeto da natureza ergue-se inconfundivelmente entre as grandes descobertas da física. Foram décadas de entusiasmo e empenho para se compreender melhor o âmago de um buraco negro e

com isso obter-se uma visão mais aperfeiçoada da estrutura do mundo. Esta descoberta foi, finalmente e no tempo certo, coroada nos nomes de Penrose, Genzel e Ghez pela Real Academia de Ciências Sueca com o prémio Nobel 2020.

Naturalmente, ainda há muitos problemas em aberto em teoria e em observação de buracos negros. Em teoria, existe o problema fundamental de se saber o que é o interior de um buraco negro, a parte do espaço-tempo que está dentro do horizonte de eventos. A Relatividade Geral prediz que dentro do horizonte de eventos encontra-se uma singularidade onde o próprio espaço-tempo e as leis da física terminam. Relacionado com este problema está a censura cósmica, uma hipótese levantada por Penrose em 1969, de que todas as singularidades estão escondidas dentro de um horizonte de eventos, ou seja, não há singularidades nuas. Ainda em teoria, continua sem resolução um problema maior levantado por Bekenstein, nomeadamente, se o buraco negro tem entropia, quais são os constituintes básicos dessa entropia, e outro problema relacionado, e também maior, levantado por Hawking, nomeadamente, de se saber se, no processo de colapso e evaporação de um buraco negro, toda a informação física que se tinha no início do processo é igual à informação que se tem no fim, ou em caso contrário, se a singularidade eliminou parte dessa informação reduzindo drasticamente o espaço de fase. Presumivelmente, precisaremos de uma gravitação quântica definitiva para resolver e explicar estes fenómenos. Do lado da observação, com a entrada da deteção de ondas gravitacionais em astronomia, juntando-se à deteção em todo o espectro eletromagnético em todos os tipos de telescópios e detectores, espera-se que muitos mais buracos negros, tanto estelares como galácticos, isolados ou em sistemas binários, distantes entre si ou em colisão, sejam observados. Assim, teremos um melhor conhecimento da origem e evolução de tais objetos, das suas propriedades físicas e da sua distribuição populacional, esta última podendo mesmo indicar se buracos negros são contribuintes importantes para a matéria escura. As observações podem ainda testar o teorema buracos negros não têm cabelos, verificar a hipótese de Kerr, que afirma que buracos negros astrofísicos são caracterizados pela solução de Kerr, as suas únicas características sendo a massa e o momento angular, e comprovar o teorema da área para buracos negros de Hawking, de que numa colisão entre buracos negros a área do buraco negro final é maior do que a soma das áreas iniciais. Além disso, existe sempre a possibilidade de se observarem buracos de verme ou outros objetos compactos. Certamente, outros problemas aparecerão.

4.2. Os próximos prémios Nobel em astrofísica e gravitação

A Relatividade Geral mudou a nossa visão do mundo. A equação fundamental da teoria é

$$G_{ab} = 8\pi \frac{G}{c^4} T_{ab},$$

onde G_{ab} é o tensor de Einstein e está relacionado com geometria T_{ab} é o tensor de energia momento e está relacionado com matéria, G é a constante de gravitação universal e c é a velocidade da luz. Em palavras, a equação de Einstein diz que geometria e matéria estão acopladas. A Relatividade Geral substitui campo e força gravitacional da gravitação newtoniana por métrica e geometria do espaço-tempo. Nas palavras sábias de Wheeler, aqui adaptadas, o espaço diz à matéria como se mover no tempo e a matéria diz ao espaço-tempo como se tem de encurvar.

A Relatividade Geral abriu ramos maiores e completamente novos da física. São eles: 1. Lentes gravitacionais, antevistas por Einstein em 1912 e que atualmente são um instrumento essencial para sondar o Universo; 2. Ondas gravitacionais, trabalhadas por Einstein em 1916 e 1918 e por Eddington em 1922, e continuadas por muitos; 3. Cosmologia, iniciada por Einstein em 1917, continuada por de Sitter, Friedmann, Lemaitre, Gamow, e por muitos outros até ao modelo atual de abrangência extraordinária; 4. Teorias fundamentais, ideia iniciada por Weyl em 1918 para unificar a gravitação e o eletromagnetismo e que sobrevive até hoje em formas mais complexas; 5. Buracos negros, conceito originado por Oppenheimer e Snyder em 1939 e continuado por Wheeler, Penrose, Hawking e muitos outros.

O segundo, terceiro e quinto ramos têm já prémios Nobel e certamente terão mais. Ondas gravitacionais geradas no universo primordial, possivelmente numa época inflacionária, poderão ser detectadas também, o que seria uma descoberta admirável merecedora de um prémio Nobel. Descobertas cosmológicas, como por exemplo a natureza da energia escura, são esperadas um dia e certamente são de nível de prémio Nobel. A descoberta de novos fenómenos envolvendo buracos negros, como por exemplo colisões de buracos negros supermassivos, também serão merecedoras do prémio. O primeiro ramo, lentes gravitacionais, e o quarto ramo, teorias de unificação, não receberam prémios Nobel, mas estão destinados a obtê-los no futuro. De facto, lentes gravitacionais são um instrumento essencial para se sondar o Universo e entender melhor o carácter da matéria escura, essa matéria que não interage pelos processos eletromagnéticos usuais com a matéria bariónica de que nós somos feitos, mas que interage gravitacionalmente, e que em concentrações astronómicas

encurva os raios de luz incidentes para produzir um efeito de lente gravitacional. Um melhor entendimento da matéria escura por lentes gravitacionais pode ser revolucionário e assim merecedor de um prémio Nobel. Quanto a teorias de unificação, na sua forma atual a sua importância reside em se conhecer a teoria da gravitação que se sobreporá à relatividade geral. A Relatividade Geral é uma teoria notável que se aplica em escalas maiores que a escala de Planck, onde a escala de Planck é definida como a escala onde efeitos quânticos da gravitação são importantes. O comprimento de Planck é de 10^{-33} cm. Teoricamente há indícios que em escalas próximas às de Planck a Relatividade Geral sofre alterações, novos termos relacionados com a curvatura do espaço-tempo tornam-se importantes e campos físicos novos aparecem. Pensa-se que o Big Bang, e por isso o Universo todo, surgiu a partir dessas escalas de Planck. Isto significa que, como a gravitação é modificada à escala de Planck, essa modificação terá que aparecer também à escala máxima, a escala do Universo. Indícios firmes que apontem para essa nova teoria da gravitação poderão levar a um prémio Nobel.

Os critérios estabelecidos pelo Comité Nobel e pela Real Academia de Ciências Sueca para se receber um prémio Nobel em física são muito apertados e configuram-se corretíssimos. Isso fica evidente pelo prestígio incalculável do prémio Nobel em física. Vejamos dois critérios. O critério de que o trabalho galardoado com o prémio tem de ter confirmação experimental, é um critério apropriado dado que a física é uma ciência da natureza. Especulações teóricas são interessantes e importantes mas, só se tornam física propriamente dita quando têm confirmação. O outro critério, de que o prémio é dado no máximo a três pessoas, é muito importante. Desta maneira é garantido que o processo de seleção é minucioso e criterioso evitando-se uma desvalorização do prémio por dispersão. Existem teses de que o prémio podia também ser dado a grandes colaborações, mas isso seria um contra-senso. Imagine-se dar o prémio a uma colaboração científica de 500 pessoas. Isto significaria que cada pessoa da colaboração tem 1/500 de um prémio Nobel, e claramente não poderia ser considerada como efetivamente detentora de um prémio Nobel. Não se pode misturar um prémio individual com um prémio para uma instituição como é o caso de uma colaboração. Faria sentido ser criado, por alguma organização, um prémio especial para grandes colaborações em ciência, abrangendo física, química, biologia e fisiologia, e possivelmente outras disciplinas científicas, mas o prémio Nobel de física como o conhecemos é individual, ou melhor, é no máximo para três pessoas, facto que contribui para o grande prestígio do prémio. Finalmente, quando se dá um prémio, em particular um prémio Nobel, há que fazer escolhas, e as escolhas têm sempre um lado político, mesmo dentro da ciência. Por exemplo, é preciso escolher para que área da física vai o prémio naquele ano, ou se existe alguma descoberta excepcional que se sobreponha à escolha prévia da área. A deteção de ondas gravitacionais insere-se claramente nesta última situação, foram detectadas em 2015 e o prémio Nobel foi atribuído um ano e meio depois, em 2017. Quando se tem de seleccionar três nomes entre muitos,

obviamente há os que ficam de fora. No entanto, na física, o comité Nobel tem sido perto de irrepreensível. Pode-se sempre argumentar que este nome ou aquele deveriam ter recebido o prémio, neste contexto surge sempre o nome de Sommerfeld, físico alemão que nunca o recebeu, e que houve um erro aqui ou ali, mas como um todo, neste mais de um século de prémios Nobel em física, as escolhas foram praticamente sempre acertadas. Podemos assim perceber facilmente porque é que o prémio Nobel de física tem prestígio máximo. Quem recebe o prémio Nobel de física tem de ser excepcional, claramente. Mas entre esses excepcionais afortunados há que distinguir entre os que dão prestígio ao prémio e os que recebem prestígio do prémio. Ora, praticamente todos os grandes nomes da física receberam o prémio, e sendo eles os grandes nomes da física, conferem por seu lado ao prémio o enorme prestígio que ele tem. O prémio Nobel de física é, por grande margem, o prémio mais importante em física, pode-se mesmo dizer que é o único prémio que realmente interessa à escala planetária. Como deve ter ficado claro, o prémio Nobel de física, para lá de um prémio para físicos, é um prémio para a física como ciência e empreendimento humano.

Contamos com novas descobertas verdadeiramente extraordinárias em astrofísica e gravitação, e em particular em ondas gravitacionais e buracos negros, de modo a merecerem, entre as rigorosas avaliações do comité e da Academia, muitos mais prémios Nobel. Isso seria motivo de orgulho e glória, não propriamente pelos prémios em si, mas pelo que eles representam e significam, designadamente, que a nossa compreensão física do Universo se alonga cada vez mais.

Agradecimentos

Agradeço a Carlos Herdeiro pela colaboração como editor incansável desta edição especial da Gazeta de Física sobre buracos negros, comemorativa do prémio Nobel de Física 2020.

Agradeço a Bernardo Almeida, diretor da Gazeta de Física, ter gostado da ideia de se ter esta edição especial.

Agradeço à Fundação para a Ciência e Tecnologia - FCT por apoio financeiro através do projeto UIDB/00099/2020.

Bibliografia

- [1] C. A. R. Herdeiro, J. P. S. Lemos, "O buraco negro cinquenta anos depois: A génese de um nome", *Gazeta de Física* 41(2), 2 (2018); tradução em inglês, C. A. R. Herdeiro, J. P. S. Lemos, "*The black hole fifty years after: Genesis of the name*", arXiv:1811.06587 (2018).
- [2] The Nobel Committee for Physics, "Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2020: Theoretical foundations for black holes and the supermassive compact object at the galactic centre", *Advanced Information Kungliga Vetenskapsakademien* (2020), <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/advanced-information/>
- [3] The Nobel Prize, "All Nobel Prizes in Physics" (2021). <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>



José Pizarro de Sande e Lemos, nasceu em 1957 em Lisboa. Foi aluno do Colégio São João de Brito e do Liceu Camões em Lisboa e do Colégio São Vicente no Rio de Janeiro. Obteve o Mestrado em Física em 1982 pela Pontifícia Universidade

Católica do Rio de Janeiro com uma tese em aspectos quânticos e termodinâmicos de buracos negros com orientação de António Luciano Videira. Obteve o PhD em astrofísica e gravitação em 1987 pela Universidade de Cambridge com uma tese em colapso gravitacional e formação de buracos negros com orientação de Donald Lynden-Bell. Trabalhou no Observatório Nacional do Rio de Janeiro de 1988 a 1996 onde foi Investigador Titular e onde estabeleceu um grupo em física e astrofísica de buracos negros. Com visitas desde 1992 como professor convidado ao Instituto Superior Técnico, fundou em 1994, juntamente com colegas desse instituto, o CENTRA, um centro de investigação de excelência em astrofísica e gravitação. Realizou as provas de agregação e foi efetivado no Departamento de Física do Instituto Superior Técnico em 1996, tendo desde essa época orientado múltiplas teses de doutoramento e formado um grupo em teoria de buracos negros com colaborações internacionais. É atualmente Professor Catedrático do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico e presidente do CENTRA. Tem cerca de 200 trabalhos publicados em revistas internacionais na área de astrofísica relativista, gravitação, buracos negros, ondas gravitacionais, cosmologia e física fundamental com um total de 7000 citações. Obteve distinction no renomado exame Part III of the Mathematical Tripos de Cambridge e foi eleito Senior Scholar do Trinity College. Recebeu o prémio UTL/Santander de 2009, atribuído ao professor e investigador da Universidade de Lisboa que se destacou na respetiva área pelo número e pelo impacto dos trabalhos que publicou em revistas científicas de circulação internacional e foi galardoado com o prémio vitalício de Outstanding Referee da American Physical Society em 2010 pela qualidade dos seus pareceres. É membro fundador da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação da qual é o atual presidente.