

Resultados finais da supernova a partir do Dark Energy Survey oferecem *insights* únicos sobre a expansão do Universo

Na culminação de uma década de esforços, a colaboração de cientistas do DES analisou uma amostra sem precedentes de mais de 1.500 supernovas classificadas usando machine learning. Eles impuseram os vínculos mais robustos sobre a expansão do Universo já obtidos com a pesquisa de supernovas do DES. Embora estejam em conformidade com o modelo cosmológico padrão atual, os resultados não descartam uma teoria mais complexa que sugira que a densidade de energia escura no Universo possa ter variado ao longo do tempo.

Em 1998, astrofísicos descobriram que o universo está se expandindo a uma taxa acelerada, atribuída a uma entidade misteriosa chamada [energia escura](#), que compõem cerca de 70% do nosso universo. Embora pronunciada por medições anteriores, a descoberta foi algo surpreendente; na época, os astrofísicos concordavam que a expansão do universo deveria estar desacelerando devido à gravidade.

Essa descoberta revolucionária, alcançada por astrofísicos por meio de observações de um tipo específico de estrelas em explosão, chamadas [supernovas](#) do tipo Ia (lê-se "tipo um-A"), foi reconhecida com o Prêmio Nobel de Física em 2011.

Agora, 25 anos após a descoberta inicial, os cientistas que trabalham no *Dark Energy Survey* divulgaram os resultados de uma análise utilizando a mesma técnica para investigar ainda mais os mistérios da energia escura e da expansão do universo. Em uma apresentação na [243ª reunião](#) da [Sociedade Astronômica Americana](#) em 8 de janeiro e em um artigo enviado ao *Astrophysical Journal* em janeiro, intitulado, "*The Dark Energy Survey: Cosmology Results With ~1500 New High-redshift Type Ia Supernovae Using The Full 5-year Dataset*", os astrofísicos do DES relatam resultados que são consistentes com o modelo cosmológico padrão atual de um universo com uma expansão acelerada. No entanto, as descobertas não são definitivas o suficiente para descartar a possibilidade de um modelo possivelmente mais complexo.

Adotando uma abordagem única para análise

O Dark Energy Survey é uma colaboração internacional composta por mais de 400 astrofísicos, astrônomos e cosmólogos de mais de 25 instituições, liderados por membros do [Fermi National Accelerator Laboratory](#) do Departamento de Energia dos Estados Unidos. O DES mapeou uma área de quase um oitavo de todo o céu usando a [Dark Energy Camera](#), uma câmera digital de 570 megapixels construída pelo Fermilab e financiada pelo DOE Office of Science. A câmera foi instalada no [Telescópio Víctor M. Blanco](#), localizado no [Observatório Inter-Americano Cerro Tololo](#) da *National Science Foundation* (NSF), um programa do NOIRLab, em 2012. Os cientistas do DES coletaram dados por 758 noites ao longo de seis anos.

Para compreender a natureza da energia escura e medir a taxa de expansão do universo, os cientistas do DES realizam análises com quatro técnicas diferentes, incluindo a técnica de supernovas usada em 1998.

Essa técnica requer dados de supernovas do tipo Ia, que ocorrem quando uma estrela morta extremamente densa, conhecida como anã branca, atinge uma massa crítica e explode. Como a massa crítica é praticamente a mesma para todas as anãs brancas, todas as supernovas do tipo Ia têm brilho real aproximadamente igual, e quaisquer variações remanescentes podem ser calibradas. Portanto, quando os astrofísicos comparam os brilhos aparentes de duas supernovas do tipo Ia vistas da Terra, eles podem determinar suas distâncias relativas a nós.

Os astrofísicos traçam a história da expansão cósmica com grandes amostras de supernovas abrangendo uma ampla gama de distâncias. Para cada supernova, eles combinam sua distância com uma medição de seu desvio para o vermelho - o quão rapidamente ela está se afastando da Terra devido à expansão do universo. Eles podem usar essa história para determinar se a densidade de energia escura permaneceu constante ou mudou ao longo do tempo.

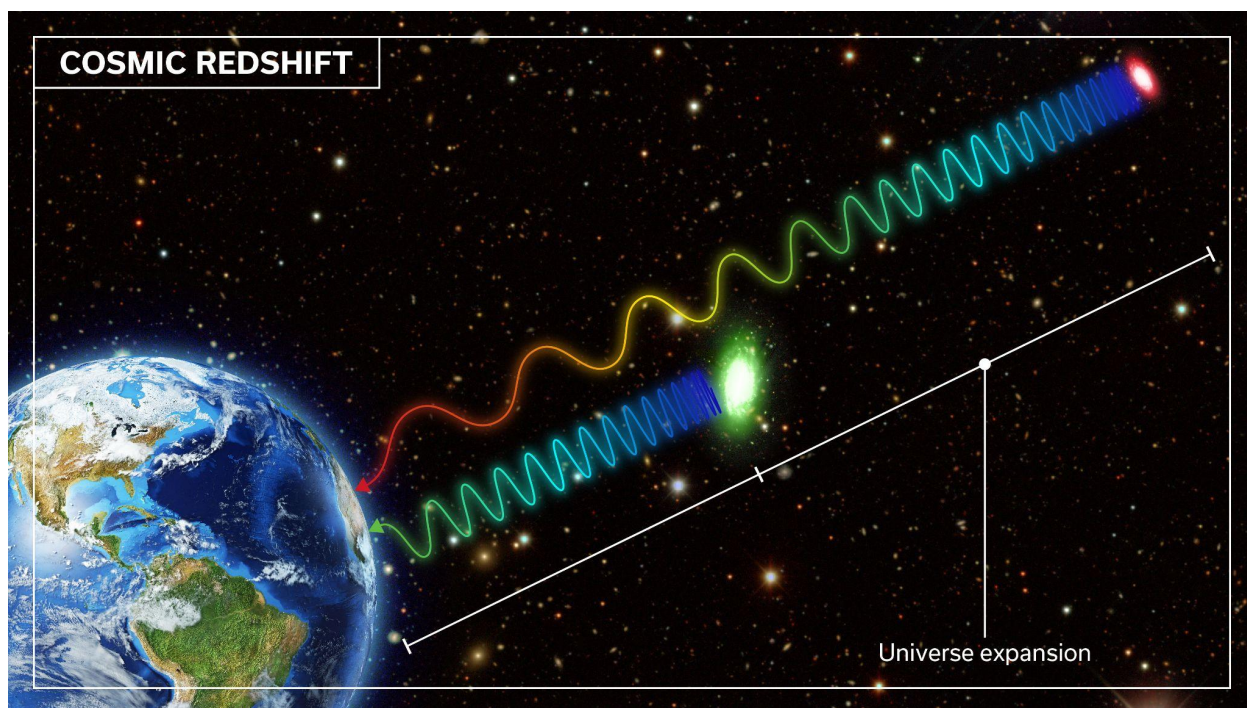


Imagem 1: Desvio para o Vermelho Cósmico

Legenda: O termo "desvio para o vermelho" é utilizado para descrever o estiramento dos comprimentos de onda da luz com a expansão do universo; quanto maior a distância do objeto, maior o desvio para o vermelho. A história detalhada da expansão do universo é determinada por uma relação precisa entre as distâncias das galáxias — ou supernovas — e seus desvios para o vermelho. **Creditos: Colaboração DES**

"À medida que o universo se expande, a densidade de matéria diminui", disse Rich Kron, diretor e porta-voz do DES, que é cientista do Fermilab e da Universidade de Chicago. "Mas se a

densidade de energia escura for constante, isso significa que a proporção total de energia escura deve estar aumentando à medida que o volume aumenta."

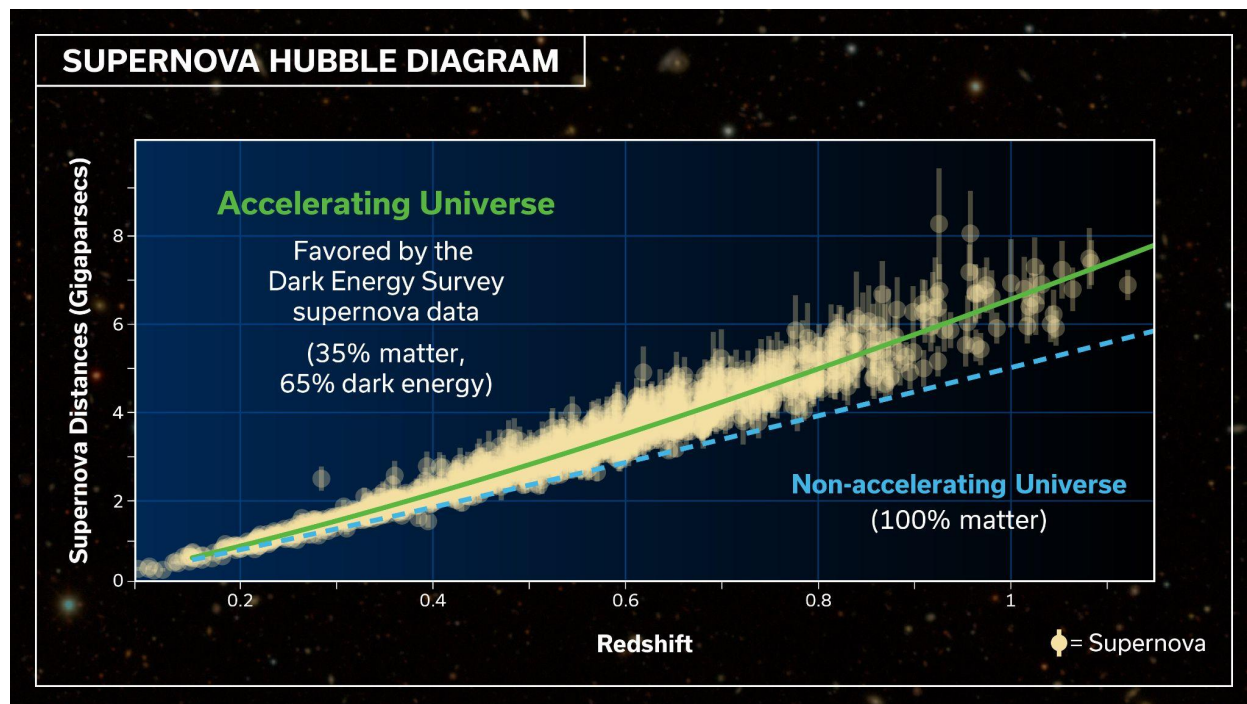


Imagem 2: O diagrama de Hubble das supernovas

Legenda: A história da expansão do universo pode ser rastreada comparando as velocidades de recessão (desvios para o vermelho) com as distâncias determinadas para cada supernova. O resultado do DES indica que a expansão tem acelerado ao longo do tempo cósmico, revelando a assinatura da energia escura. **Creditos: Colaboração DES**

A culminação de uma década de esforço

O modelo cosmológico padrão é o Λ CDM, ou *Lambda Cold Dark Matter*, um modelo baseado na densidade constante de energia escura ao longo do tempo cósmico. Ele nos diz como o universo evolui, utilizando apenas algumas características, como a densidade de matéria, o tipo de matéria e o comportamento da energia escura. O método de supernovas restringe muito bem dois desses elementos: a densidade de matéria e uma quantidade chamada w , que indica se a densidade de energia escura é constante ou não.

De acordo com o [modelo cosmológico](#) padrão, a densidade de energia escura no universo é constante, o que significa que ela não dilui à medida que o universo se expande. Se isso for verdade, o parâmetro representado pela letra w deveria ser igual a -1 .

Quando a colaboração do DES revelou internamente seus resultados de supernovas, foi a culminação de uma década de esforço e um momento emocionante para muitos dos astrofísicos envolvidos. "Eu estava tremendo", disse Tamara Davis, professora na Universidade de Queensland, na Austrália, e co-coordenadora do grupo de trabalho de supernovas do DES. "Foi definitivamente um momento emocionante."

Os resultados encontraram $w = -0,80 \pm 0,18$ usando apenas supernovas. Combinados com dados complementares do telescópio Planck da Agência Espacial Europeia, w atinge -1 dentro das barras de erro.

" w está provocadoramente próximo, mas não exatamente em -1 , suficientemente próximo para ser consistente com -1 ", disse Davis. "Um modelo mais complexo pode ser necessário. A energia escura pode realmente variar com o tempo."

Para chegar a uma conclusão definitiva, os cientistas precisarão de mais dados. No entanto, o DES não poderá fornecer isso; a pesquisa parou de coletar dados em [janeiro de 2019](#). A equipe de supernovas, liderada por muitos estudantes de doutorado e pesquisadores pós-doutorais, em breve terá extraído tudo o que pode das observações do DES.

"Mais de 30 pessoas estiveram envolvidas nesta análise, e é a culminação de quase 10 anos de trabalho", disse Maria Vincenzi, pesquisadora da Universidade Duke que co-liderou a análise cosmológica da amostra de supernovas do DES. "Alguns de nós começaram a trabalhar neste projeto quando estávamos no início do nosso doutorado, e agora estamos começando posições acadêmicas. Portanto, a Colaboração do DES contribuiu para o crescimento e desenvolvimento profissional de uma geração inteira de cosmólogos."

Uma nova abordagem pioneira

Esta análise final de supernovas do DES trouxe muitas melhorias em relação ao [primeiro resultado de supernovas](#) divulgado em 2018, que utilizou apenas 207 supernovas e três anos de dados.

Na análise de 2018, os cientistas do DES combinaram dados sobre o espectro de cada supernova para determinar seus desvios para o vermelho e classificá-los como do tipo Ia ou não. Eles então utilizaram imagens tiradas com diferentes filtros para identificar o fluxo no pico da curva de luz - um método chamado fotometria. No entanto, obter espectros é uma tarefa difícil, exigindo muito tempo de observação nos maiores telescópios, o que seria impraticável para futuras pesquisas de energia escura, como o *Legacy Survey of Space and Time* (LSST), a ser conduzido no [Observatório Vera C. Rubin](#), operado em conjunto pelo NOIRLab da NSF e pelo Laboratório Nacional de Aceleração SLAC do DOE.

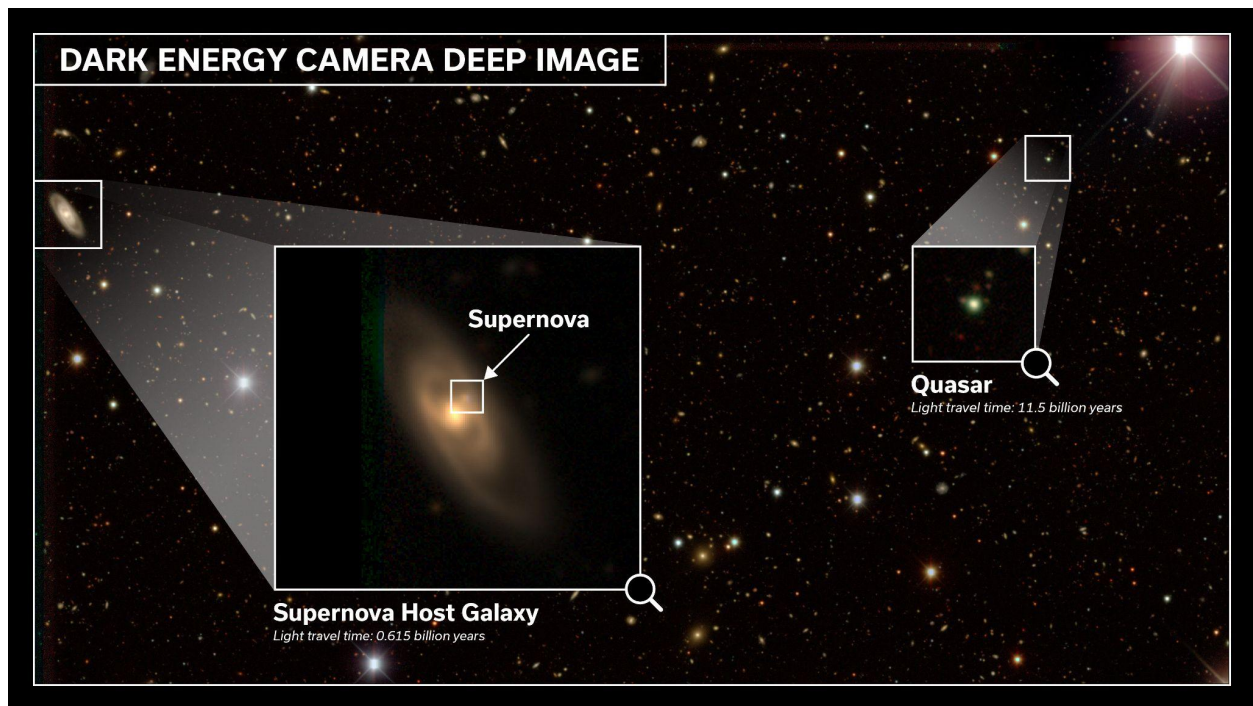


Imagem 3: DES Câmera - Imagem Profunda com Quasar

Legenda: Um exemplo de uma supernova descoberta pelo Levantamento de Energia Escura dentro do campo coberto por um dos detectores individuais na Câmera de Energia Escura. A supernova explodiu em uma galáxia espiral com redshift = 0.04528, correspondendo a um tempo de viagem da luz de aproximadamente 0,6 bilhão de anos. Em comparação, o quasar à direita possui um redshift de 3.979 e um tempo de viagem da luz de 11,5 bilhões de anos.

Créditos: Colaboração DES

O novo estudo é pioneiro em uma nova abordagem para usar a fotometria - com quatro filtros - sem precedentes para encontrar as supernovas, classificá-las e medir suas curvas de luz. O acompanhamento espectroscópico da galáxia hospedeira com o Telescópio Anglo-Australiano forneceu desvios precisos para cada supernova. O uso de filtros adicionais também possibilitou dados mais precisos em comparação com pesquisas anteriores e representa um avanço significativo em relação às amostras de supernovas que receberam o Prêmio Nobel, as quais utilizaram apenas um ou dois filtros.

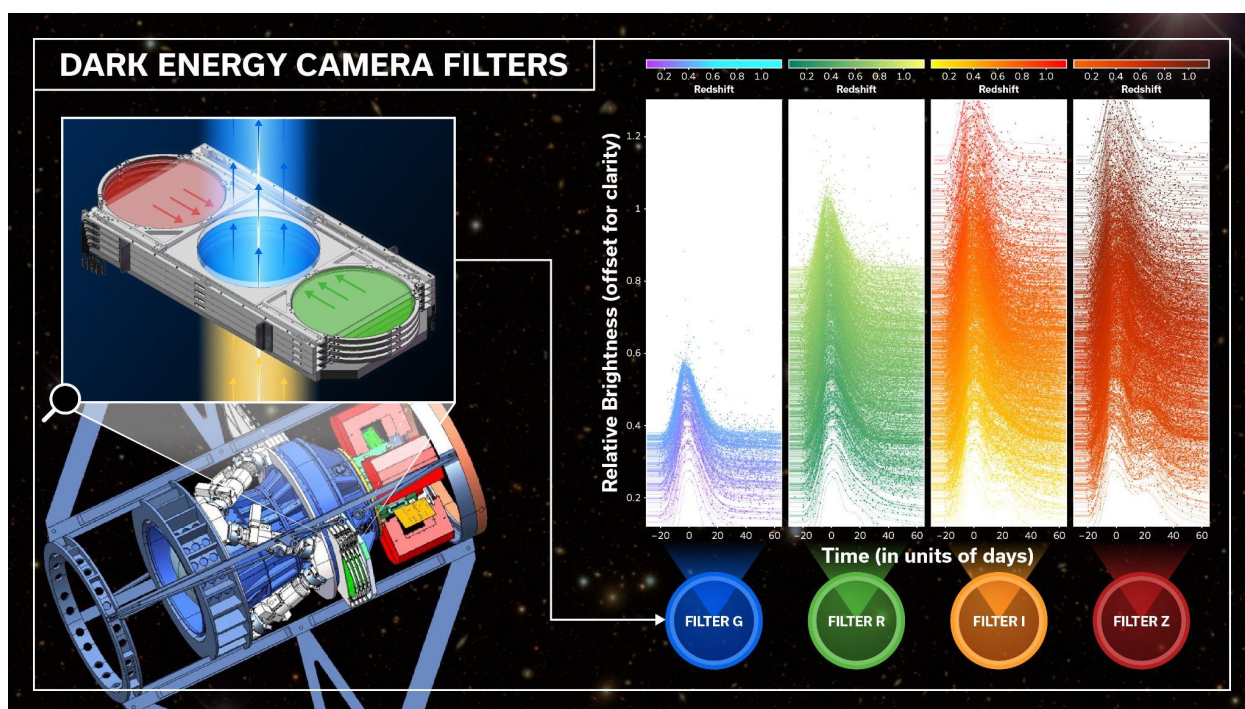


Imagem 4: Filtros da Câmera de Energia Escura

Legenda: Este diagrama apresenta o sistema de filtros instalado na Câmera de Energia Escura, utilizada pelo DES para descobrir supernovas e monitorar a evolução de sua luminosidade. O método emprega um inédito conjunto de quatro filtros: g (filtro mais azul), r, i e z (filtro mais avermelhado). **Créditos: Colaboração DES**

Os pesquisadores do DES utilizaram técnicas avançadas de [machine-learning](#) para auxiliar na classificação de supernovas. Entre os dados de cerca de dois milhões de galáxias observadas em grandes distâncias, o DES encontrou milhares de supernovas. Os cientistas acabaram utilizando 1.499 supernovas do tipo Ia com dados de alta qualidade, tornando-a a maior e mais profunda amostra de supernovas de um único telescópio já compilada. Em 1998, os astrônomos vencedores do Nobel utilizaram apenas 52 supernovas para determinar que o universo está se expandindo a uma taxa acelerada. "É realmente uma ampliação massiva em relação a 25 anos atrás", disse Davis.

Existem pequenas desvantagens na nova abordagem fotométrica em comparação com a espectroscopia: como as supernovas não têm espectros, há uma maior incerteza na classificação. No entanto, o tamanho da amostra é muito maior possibilitado pela abordagem fotométrica e mais do que compensa isso.

As técnicas inovadoras e pioneiras utilizadas pelo DES moldarão e impulsionarão ainda mais as análises astrofísicas futuras. Projetos como o LSST de Rubin e o [Telescópio Espacial Nancy Grace Roman](#) da NASA continuarão de onde o DES parou. "Estamos [utilizando] essas técnicas pioneiras que serão diretamente benéficas para a próxima geração de pesquisas de supernovas", disse Kron.

"Este novo resultado de supernovas é emocionante porque significa que podemos realmente amarrar tudo e entregá-lo à comunidade, dizendo: 'Esta é a nossa melhor tentativa de explicar como o universo está funcionando'", disse Dillon Brout, professor assistente na Universidade de Boston, que co-liderou a análise cosmológica da amostra de supernovas do DES com Vincenzi. "Essas restrições agora serão o padrão-ouro na cosmologia de supernovas por um bom tempo."

Mesmo com experimentos mais avançados de energia escura em andamento, os cientistas do DES enfatizaram a importância de ter modelos teóricos para explicar a energia escura, além de suas observações experimentais. "Tudo isso é realmente território desconhecido", disse Kron. "Não temos uma teoria que coloque a energia escura em um quadro que se relacione com outras físicas que entendemos. Por enquanto, nós, do DES, estamos trabalhando para limitar como a energia escura funciona na prática, com a expectativa de que, mais tarde, algumas teorias possam ser refutadas."

Os cientistas do DES continuam a usar os resultados de supernovas em mais análises, integrando-os com os resultados obtidos por meio de outras técnicas do DES. "Combinar as informações de supernovas do DES com essas outras sondas melhorará ainda mais nosso modelo cosmológico", disse Davis.

"Mesmo que mensuremos a energia escura de forma infinitamente precisa, isso não significa que sabemos o que é", disse ela. "A energia escura ainda está lá para ser descoberta."

Cientistas brasileiros de diversas instituições que formam o DES-Brazil *Consortium* participam do *Dark Energy Survey* desde 2007 através do Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LIInA), com financiamento da FINEP, CNPq, FAPERJ e do INCT do e-Universo.

Funding for the DES Projects has been provided by the U.S. Department of Energy, the U.S. National Science Foundation, the Ministry of Science and Education of Spain, the Science and Technology Facilities Council of the United Kingdom, the Higher Education Funding Council for England, the National Center for Supercomputing Applications at the University of Illinois at Urbana-Champaign, the Kavli Institute of Cosmological Physics at the University of Chicago, Funding Authority for Funding and Projects in Brazil, Carlos Chagas Filho Foundation for Research Support of the State of Rio de Janeiro, Brazilian National Council for Scientific and Technological Development and the Ministry of Science and Technology, the German Research Foundation and the collaborating institutions in the Dark Energy Survey.

Based in part on data acquired at the Anglo-Australian Telescope for the Dark Energy Survey by OzDES. We acknowledge the traditional custodians of the land on which the AAT stands, the Gamilaraay people, and pay our respects to elders past and present.

Fermilab is America's premier national laboratory for particle physics and accelerator research. A U.S. Department of Energy Office of Science laboratory, Fermilab is located near Chicago, Illinois, and operated under contract by the Fermi Research Alliance LLC. Visit Fermilab's website at www.fnal.gov and follow us on Twitter at [@Fermilab](https://twitter.com/Fermilab).

The DOE Office of Science is the single largest supporter of basic research in the physical sciences in the United States and is working to address some of the most pressing challenges of our time. For more information, please visit science.energy.gov.