

NOUL TELESCOP SOLAR DKIST - O UNEALTĂ TRANSFORMATIVĂ

Alin PARASCHIV*

Keywords: DKIST, astrophysical studies, Sun, telescope, instrumentation.

Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) este primul observator astrofizic ce va găzdui un telescop solar dedicat, cu un diametru al oglinzii principale de 4 m. Observatorul este construit ca un complex științific desfășurat pe o înălțime de 14 etaje. Complexul este amplasat pe vârful Haleakala din Hawai'i, la o înălțime de peste 3000 m. Locația este unul din cele mai bune amplasamente posibile pentru un telescop, din cauza cerului foarte stabil atmosferic și al poluării luminoase reduse. Telescopul este de tip gregorian, cu axă înclinată, unde distanța focală este calculată în așa fel încât tot discul solar să fie captat de către oglinda principală. Aceasta va permite observații la limita de difracție a unei aperturi de 4 m. DKIST va putea fi îndreptat și în afara discului solar pentru a observa coroana solară.

Telescopul este conceput pentru a studia lumina solară în spectrul vizibil și infraroșu. Alegerea are de-a face cu maximizarea potențialului de a observa, având influențe atmosferice minime. De exemplu, lumina infraroșie este mai puțin afectată de atmosfera terestră comparativ cu lumina vizibilă, care este la rândul ei mai puțin afectată decât lumina ultravioletă etc. O primă suită de cinci instrumente dedicate diferitelor țeluri științifice va deveni operațională în următoarele luni ale lui 2020.

Este așteptat ca DKIST să producă descoperiri revoluționare în astrofizică! Așteptările provin, totuși, din partea comunității științifice care este întotdeauna optimistă. Societatea americană are, în general, o viziune mai pragmatică. Cel mai simplu, aceasta se poate rezuma la zicala: „What are you doing with my taxpayer money?” Realizarea unui proiect atât de amplu a necesitat învingerea mai multor bariere de natură științifică și inginerescă, dar mai ales societală, cum ar fi impactul asupra societății și justificarea costurilor financiare.

De ce ar trebui finanțat un astfel de proiect? DKIST va produce știință nouă, în principal în domeniul astrofizicii. Adicional, vor rezulta aplicații în fizica atomică și a plasmei și, posibil, în domeniul teoriei necesare construirii reactoarelor de fuziune. În primul rând, deși nu este aparent, o bună parte din înțelegerea fenomenelor astrofizice pe care o avem astăzi, provine de la studiul soarelui. Putem observa soarele de aproape, și nu doar ca și o sursă punctiformă, precum celelalte stele. În ultimele decenii, descoperiri ca, de exemplu, exoplanete, furtuni și erupții stelare, formare, evoluție, și variabilitate stelară, fenomene și configurații magnetice în obiecte supermasive ca quasari și stele neutronice, nu ar fi fost posibile fără experiența dobândită din studiul soarelui.

Dar poate că aceste obiective de a înțelege fenomene astrofizice sunt prea academice și distante pentru societate? Poate este mai de interes faptul că energia care intră în

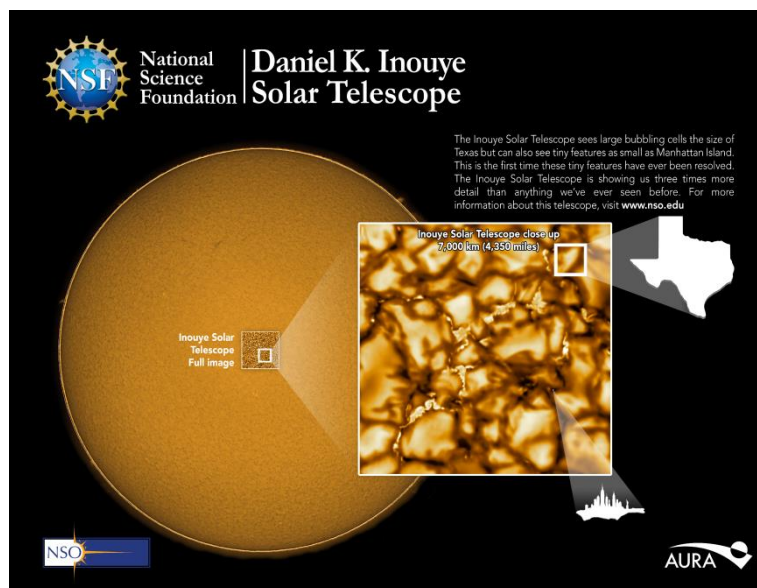


Figura nr. 1: Câmpul vizual și rezoluția DKIST.

Image credit: NSO/AURA/NSF.

* National Solar Observatory, USA / Astroclubul "Călin Popovici" Galați, România.

sistemul climatic, azi fragil, este predominant solară. În momentul de față, nu înțelegem în detaliu influențele solare asupra Terrei, deși direcțiile de dezvoltare ale societății ne fac din ce în ce mai vulnerabili la acestea. Un exemplu catastrofic pentru societate este urmarea erupției solare Carrington din 1859. La vremea respectivă, întreaga rețea globală de telegraf a căzut, și multe stații au luat efectiv foc. Aurore au fost observate la latitudini medii. Din acea dată nu s-a mai înregistrat nici o erupție cu o așa magnitudine, iar cercetătorii nu înțeleg complet procesele de dinam solar și variabilitatea pe termen lung a soarelui care ar putea genera o astfel de erupție. Astăzi, un astfel de eveniment ar afecta rețelele de sateliți (și, implicit, internetul!) poate chiar și zborurile aeriene comerciale, provocând un impact crucial asupra vieții noastre moderne. Comunitatea solară este foarte implicată în studiul variabilității solare și al predicției de fenomene eruptive cu potențial de a afecta umanitatea. Un progres enorm s-a dobândit în ultimele decade pe acest front, dar înțelegerea fizicii încă nu este suficientă pentru a risipi îngrijorările. Nu în ultimul rând, progresele din domeniul fuziunii nucleare sunt dependente de înțelegerea fenomenelor magnetice solare. În termeni simpli, în momentul în care umanitatea va înțelege fenomenele magnetice solare în suficient detaliu, tehnologiile de confinare magnetică vor fi destul de mature pentru a produce fuziune nucleară viabilă. Acesta este încă un țel important în contextul problemelor legate de combustibili fosili poluanți și a produselor rezultate în urma tehnologiilor nucleare curențe (fisiune).

Soarele este, în definitiv, nu doar cea mai apropiată stea pe care o putem studia dar și cel mai formidabil laborator de fizică nucleară și particule, plasmă și, nu în ultimul rând, astrofizică. De reținut este că acest laborator vine cu costuri foarte mici, iar „echipamentele” folosite pentru a genera experimente nu pot fi reproduse de umanitate, cel puțin nu cu mijloacele tehnologice actuale.

DKIST a avut de trecut numeroase obstacole ingineresti. De exemplu, deși telescopul are o apertură de 4 m, câmpul vizual al unei observații nu poate fi mai mare de 5 arcsecunde de disk. Vezi ilustrația din Figura 1. Acest fapt se datorează fluxului de energie imens, de aproximativ 5000 W/s, pe care instrumentul îl va capta. Imaginați-vă că nu ne putem uita la soare nici măcar cu ochiul liber, unde apertura ochiului este de aproximativ 2 cm. Ce se va întâmpla cu un sistem optic cu apertură de 4 m? În primul rând, nici un detector fotografic curent nu ar putea captura un asemenea flux luminos. De aceea, majoritatea luminii este oprită de un „opritor de căldură” și doar o mică parte este transmisă mai departe prin sistemul optic. Apertura de 4 m este necesară, chiar dacă aruncăm 97% din lumina incidentă. Alegem să folosim o arie spațială mică, dar păstrând capacitatea telescopului de a aduna lumina cu puterea de rezolvare aferentă a 4 m. În timpul construcției telescopului, s-a optat pentru un opritor absorbant, care ar fi trebuit să absoarbă fluxul energetic nedorit. Sistemul avea un echipament de răcire cu lichid activ. Din nefericire, sistemul nu a funcționat, și s-a defectat imediat după expunerea la fluxul solar. Nimeni nu a putut să prezică efectele intensității fluxului luminos. Un alt sistem, de data asta bazat pe reflexia luminii nedorite, a fost instalat și funcționează cu succes. Echipa de ingineri a schimbat designul și a construit noul echipament într-un timp record.

Adăugându-se la problemele de flux luminos, calitatea sistemului optic a fost o adevărată provocare pentru viabilitatea științei DKIST. Oglinda principală va trebui să fie întotdeauna foarte curată pentru a realiza observațiile polarimetrice (măsurători ale polarizării luminii) cu calitatea dorită. Acest lucru a cauzat dureri de cap echipei, iar pentru rezolvarea problemei s-a dezvoltat un sistem de curățare de rutină al oglinzii folosind zăpada carbonică presurizată. Curățenia sistemului optic nu este singura problemă care apare. Precizia care este necesară acestor observații nu este ușor de obținut din punct de vedere ingineresc. Figura 2 arată interiorul domului. Dacă privim sumar, pare că soarele este proiectat pe interiorul cupolei, în afara sistemului optic. Acest lucru este fals! De fapt, proiecția este reflectată de către sistemul optic. Observați cum, contrar intuiției, lumina solară nu pare că se reflectă dinspre oglinda principală înspre fotograf. Această poză ne arată nivelul de precizie fotometrică a oglinzii, ce este datorat aluminizării dar și finisării (șlefuirii) acesteia. Oglinda principală are o rugozitate maximă de 2 nm (nanometri). Deși este nouă și aproape nefolosită, oglinda principală va fi pentru prima oară realuminizată înainte de începerea fazei de observații din a doua jumătate a acestui an. Procesul de realuminizare se va repeta de mai multe ori pe an.

Intrând în sfera științei, în figura 3 se pot vedea primele imagini¹ obținute cu ajutorul primului instrument funcțional, VBI, (instrument fotografic în domeniul vizibil cu spectru larg). Aceasta este doar prima observație DKIST, dar până în ziua de astăzi este "fotografia" cu cea mai mare rezoluție din astronomia terestră, unde putem distinge în condiții optime structuri de pe suprafața soarelui, cu dimensiuni de aproximativ 20-30 km.

Cele două imagini reprezintă granulația solară. Aceasta este datorată "fierberii" unei plasmă ce este încălzită extrem. În imagine se poate observa un colaj de structuri celulare. O astfel de "celulă" este, în medie, aproximativ triplă ca suprafață comparativ cu dimensiunea României (sau aproximativ cât statul Texas, conform fig. 1). Plasma încălzită se ridică în mijlocul unei astfel de celule, după care se răcește și curge spre margini (canalele intra-granulare), într-o durată de aproximativ 7-15 minute. Rezoluția obținută în această animație ne va ajuta să distingem sub-structuri de dimensiunea unui sector al Bucureștiului (sau de dimensiunea aproximativă a Manhattan, conform fig. 1). Astfel, sperăm că am putea, în sfârșit, înțelege fizica acestor celule granulare și a canalelor intra-granulare. În aceste canale intra-granulare, pentru prima dată în istorie se observă anumite concentrații de plasmă, semnificative.

Trebuie menționat că aceste imagini nu sunt calibrate științific, având doar rol de validare a instrumentației VBI și pentru difuzare media. Ce se observă, în schimb, este spectacular, iar dacă observațiile științifice vor valida ce presupunem din aceste ilustrații, o bună parte din presupunerile teoretice pe care cercetătorii s-au bazat de-a lungul timpului vor trebui revizuite. De exemplu, nici un model teoretic al granulației nu prevede concentrări atât de puternice în canalele intra-granulare. Aceste concentrații par foarte puternic magnetizate. La ora actuală, comunitatea științifică nu este convinsă că aceste zone calme poartă într-adevăr câmpuri magnetice așa puternice. Asta ar putea rezolva așa-numita problemă a „fluxului deschis”. Aceasta constă în faptul că măsurătorile magnetice curente ale suprafeței solare nu sunt compatibile cu măsurătorile câmpului magnetic din heliosfera extinsă. Rația este de aproximativ 0.6, unde măsurătorile din heliosferă predomină! În clipa de față nu știm de unde provine aproximativ 40% din fluxul măsurat în heliosferă. În ultimele săptămâni, de când aceste imagini au fost făcute publice, s-au creat mari așteptări ca observațiile științifice DKIST să elucideze acest capitol rămas deschis. Totodată, comunitatea speră că DKIST va avea și un rol în deznodarea a și mai complicatei probleme a încălzirii coroanei solare. Problema încălzirii coronale a fost descrisă într-un număr trecut².

De foarte mare interes vor fi și observațiile coronale în afara discului solar. DKIST, prin intermediul Cryo-NIRSP (Spectrometru în domeniul infraroșu apropiat, răcit criogenic), va putea cartografia câmpul magnetic coronal, pentru prima dată în istorie. Datorită camerelor de ultimă generație, ce sunt răcite criogenic, DKIST va putea observa linii de emisie atomică din coroana solară extinsă, care nu au fost explorate până acum. Lucrurile sunt complicate și de procesele

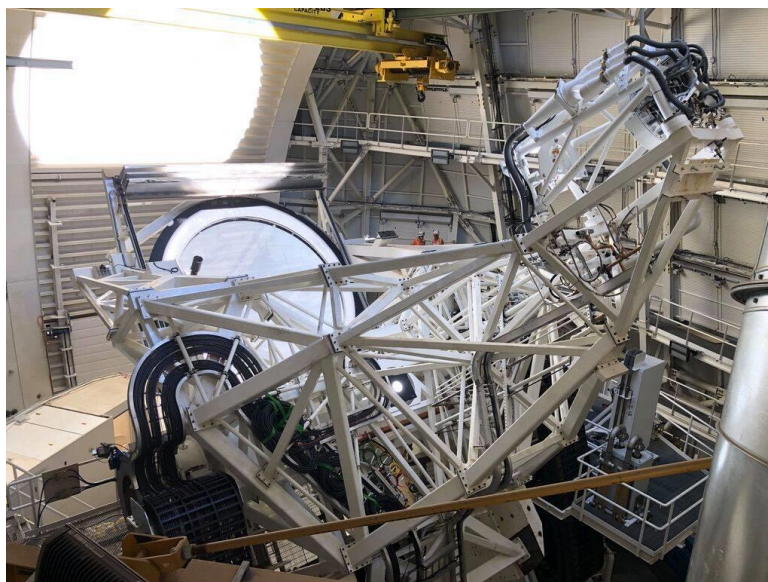


Figura nr. 2: Domul și ansamblul principal al telescopului DKIST. Image credit: NSO/AURA/NSF.

¹ Două animații temporale ale procesului de granulație (la rezoluție înaltă) se pot găsi pe situl NSO:

<https://www.nso.edu/telescopes/dkist/first-light-full-field-movie/>

<https://www.nso.edu/telescopes/dkist/first-light-cropped-field-movie/>

² *Mistere longevive din astrofizică: atmosfera solară, coroniul și încălzirea coroanei solare*, Perseus, nr. VI, 2017 p. 44.

atomice foarte complexe care duc la formarea acestor linii. De exemplu, nici un telescop solar de până acum nu a putut măsura acest câmp magnetic coronal, deoarece nu a putut aduna destulă lumină pentru a distinge anumite proprietăți de polarizare ale luminii generate de aceste procese atomice. Aceste observații vor fi folosite pentru a evidenția fluctuațiile câmpurilor magnetice, ce vor spori înțelegerea noastră asupra accelerării vântului solar. În acest domeniu, observațiile DKIST vor fi îmbunătățite prin campanii de coordonare cu noile lansate misiuni spațiale solare Parker Solar Probe și Solar Orbiter. Parker Solar Probe va fi instrumentul uman cel mai aproape de soare, ajungând, în timp, la un periheliu de 0.046 AU (Unități Astronomice). Solar Orbiter are planificate observații complexe ale celor doi poli ai soarelui. Acești doi sateliți au capacități instrumentale complementare DKIST și vor observa proprietățile plasmei solare prin măsurători locale, ce urmează a fi comparate cu măsurătorile de la distanță ale DKIST. Urmează o perioadă foarte interesantă pentru știința solară, și sper că v-am convins că și pentru astrofizică și societate, în general!

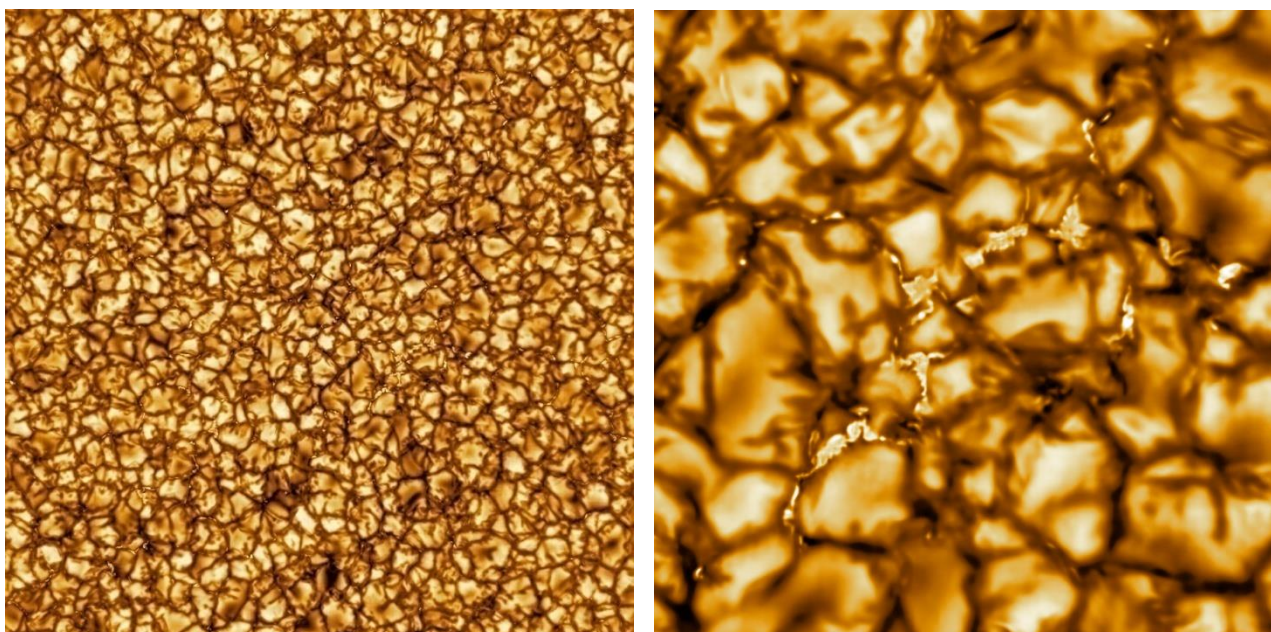


Figura nr. 3: Primele imagini ale DKIST prezintă o vedere detaliată a granulației (stânga). În zoom-in din partea dreaptă se observă, pentru prima dată, concentrații luminoase în celulele intra-granulare, despre care se crede că sunt origini ale câmpului magnetic solar.

Image credit: NSO/AURA/NSF.

Observatorul DKIST poartă numele unui senator american din Hawai'i, Daniel K. Inouye, care și-a dedicat o parte substanțială a carierei pentru susținerea acestui proiect. Construcția formală a telescopului a început în 2012, dar proiectul există, în diferite forme, de aproximativ 30 de ani. Pur și simplu este nevoie de un efort susținut pe parcursul a mai mult de un sfert de veac pentru a construi o astfel de infrastructură. Dar, în general, cine trebuie să susțină un astfel de efort? Și în ce mod? Comunitatea științifică solară americană a renunțat la micile divergențe și s-a coagulat în jurul acestui proiect. O voce unitară a declarat și a explicat, în repetate rânduri, factorilor politici de decizie, că această infrastructură este imperios necesară pentru viitorul cercetării solare. Trebuie să folosim cel mai performant laborator cu care am fi putut fi înzestrați pentru a avansa în studiul astrofizicii, studiu care dintotdeauna a produs beneficii inestimabile societății. La un moment dat, senatorul Inouye a fost convins, după care, la rândul său, a luptat mai departe pentru acest proiect, convingând pe alții. Acum, în 2020, telescopul va deveni operațional și va deveni „nava amiral” a fizicii solare pentru cel puțin următoarele două decade. Europa a rămas în urmă, deși a existat un proiect similar, European Solar Telescope. Acesta nu s-a materializat până în prezent, din motive birocratice, obiective naționale și europene contradictorii, și o viziune foarte neunitară a diferitelor

grupuri de cercetare europene. Putem spera că, comunitatea europeană va învăța din lecția DKIST. Nu în ultimul rând, reamintesc cititorului că viziunea neunitară este o caracteristică dominantă și a micii comunități astronomice românești. Pot doar spera că și comunitatea astronomică din România s-ar putea coagula, cândva, pentru a începe acea lungă luptă necesară pentru a susține un proiect național astronomic!

THE NEW DANIEL K. INOUE SOLAR TELESCOPE - A TRANSFORMATIVE INFRASTRUCTURE

The article describes the newly built DKIST solar infrastructure, consisting of a 4m primary telescope and a suite of instrumentation dedicated to astrophysical studies of the sun in the infrared and visible light spectrum. DKIST is designed to pursue novel science that has broad benefits to society. Building a 4m class astronomic facility dedicated to the study of the sun, proved quite a challenge in terms of the engineering effort. Two practical examples of engineering solutions are described. From a scientific point of view, the telescope aims to uncover new science that has proved historically to be quite elusive. The first light images provided by DKIST are used to discuss potential science implications. Lastly, the article describes how the facility transformed over 3 decades, from a very ambitious and unrealistic proposal, into the next generation astrophysical facility that will be commissioned in 2020.