

ATHENA – nowy teleskop rentgenowski Europejskiej Agencji Kosmicznej

Agata RÓŻAŃSKA*



ATHENA – wizja artystyczna (Javier Garcia Nombela-art-eres.net/Volker Springel(MPA)/IRAP)

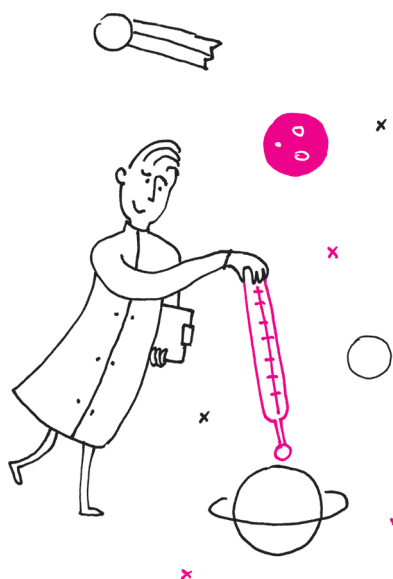
Obserwacje Kosmosu w dziedzinie rentgenowskiej to najbardziej kosztowna działka współczesnej astrofizyki. Fotony w zakresie widma od 0,1 do 100 keV są całkowicie pochłaniane przez atmosferę, więc aby spojrzeć na niebo w promieniach Roentgena, musimy zbudować teleskop satelitalny i wystrzelić go w przestrzeń kosmiczną. Z tego właśnie powodu astronomia rentgenowska miała szanse rozwinąć się dopiero w drugiej połowie XX wieku, kiedy nauczyliśmy się wynosić detektory promieni wysokich energii ponad przeszkadzające nauce warstwy atmosfery. W praktyce budowa teleskopu rentgenowskiego od momentu zaproponowania koncepcji naukowej do startu rakiety trwa około 15 lat.

Najpierw naukowcy zastanawiają się, co chcą zbadać, potem długo dyskutują z agencjami kosmicznymi, w jaki sposób zbudować urządzenie, które wykona pomiary najdokładniej (za jak najmniejsze pieniądze). Nie dość, że wysokoenergetyczne promieniowanie ciężko skupić, to chcemy je obserwować z coraz większą dokładnością, dlatego nieustannie ulepsza się technologie detekcji promieni rentgenowskich, aby zrozumieć, jak powstają i jak oddziałują one z kosmiczną materią.

Przy obecnym rozwoju technologii najlepiej radzimy sobie z promieniowaniem z bardzo wąskiego przedziału od 0,1 do 10 keV – dla fotonów z tego przedziału z największą dokładnością potrafimy określić kierunek, z jakiego do nas dochodzą i moment nadejścia (obecne detektory pozwalają rozdzielić obiekty oddalone o 1 sekundę łuku na niebie, a sygnał potrafimy rejestrować co 10 μ s).

W listopadzie 2013 roku projekt nowego teleskopu rentgenowskiego ATHENA (z ang. *the Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics*) uzyskał poparcie Europejskiej Agencji Kosmicznej z planowaną datą wyniesienia w 2028 roku. W projektowaniu i budowie teleskopu biorą udział polscy naukowcy i instytuty badawcze. ATHENA wygrała z kosmicznym interferometrem – detektorem fal grawitacyjnych eLISA, który miałby mieć konstrukcję słabo jeszcze przetestowanej formacji latającej. Technologie zaproponowane do skonstruowania ATHENY są bardzo nowoczesne, ale mniej ryzykowne niż zgranie trzech oddalonych o milion kilometrów satelitów eLISY. Teleskop ATHENA będzie wyposażony w najnowocześniejsze lustra rentgenowskie nachylone w taki sposób, by fotony rentgenowskie „ślizgały się” (odbijały pod małym kątem) po ich powierzchni. Dodatkowo, jak nigdy wcześniej, lustra te będą wyposażone w mikroskopijne kanaliki, które podziałają jak kolimatory (technologia SPO – z ang. *Silicon Pore Optic*). Po dwukrotnym precyzyjnym odbiciu pod małym kątem fotony skupia się i za pomocą odpowiednio przystosowanych kamer rejestruje się ich energię, kierunek i czas nadejścia.

ATHENA będzie miała dwa detektory, które w zależności od potrzeb obserwacyjnych będą umieszczane w ognisku teleskopu. Każdy z nich to w zasadzie odpowiednik matrycy CCD znanej z aparatów fotograficznych, złożony z wielu miniaturowych pikseli, przy czym w przypadku promieniowania rentgenowskiego idealna detekcja następuje wtedy, gdy poszczególne piksele rejestrują pojedyncze fotony. Większa liczba fotonów jednocześnie w pojedynczym pikselu uniemożliwia zmierzenie ich energii i taki pomiar jest



*Centrum Astronomiczne
im. M. Kopernika PAN w Warszawie

**Rozwiązanie zadania M 1443.**

Niech a_{ij} oznacza liczbę w i -tym wierszu i j -tej kolumnie naszej tablicy,

$$a_{ij} = n(i-1) + j.$$

Wybrane liczby można zapisać jako $a_{1\sigma(1)}, \dots, a_{n\sigma(n)}$, gdzie σ to pewna permutacja zbioru $\{1, \dots, n\}$. Suma wybranych liczb wynosi w takim razie

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{i\sigma(i)} &= \sum_{i=1}^n (n(i-1) + \sigma(i)) = \\ &= n \sum_{i=1}^n (i-1) + \sum_{i=1}^n i = \\ &= \frac{n^2(n-1)}{2} + \frac{n(n+1)}{2} = \\ &= \frac{n(n^2+1)}{2}. \end{aligned}$$

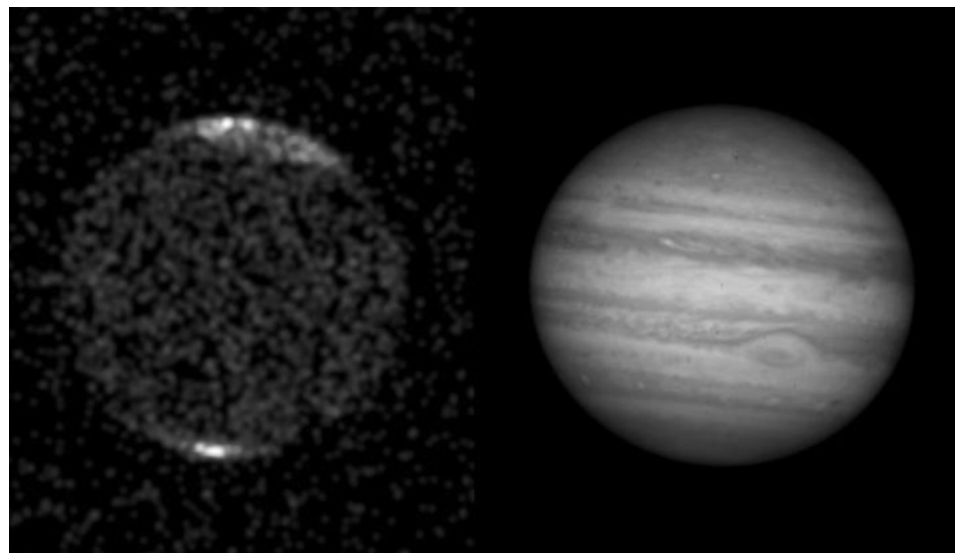
automatycznie odrzucany. X-IFU (z ang. *X-ray Integral Field Unit*) to bardzo nowatorski detektor, w którym pojedynczy piksel działa jak mikrokalorymetr.

Prosto rzecz ujmując, każdy piksel matrycy mierzy niesłychanie małą, rzędu milikelwinów, różnicę temperatur wywołaną wysokoenergetycznym fotonem rentgenowskim, który do niego wpada. Takie urządzenie nigdy jeszcze nie zostało użyte przy budowie satelitów rentgenowskich. Detektor musi być utrzymywany w niskiej temperaturze, co wymaga umieszczenia go w specjalnym kriogenicznym termosie. Mikrokalorymetry zapewnią ATHENIE znakomitą rozdzielczość energetyczną – pozwolą na mierzenie energii fotonów z dokładnością do 2,5 eV! Niemniej coś za coś – detektor będzie miał niewielkie pole widzenia: 5×5 minut łuku.

Sześćdziesiąt razy większe pole widzenia zapewni ATHENIE drugi detektor, WFI (z ang. *Wide Field Imager*) zbudowany z konwencjonalnych krzemowych pikseli, ale za to z nowoczesną elektroniką zapewniającą błyskawiczny odczyt. Dzięki technice zwanej APS (z ang. *Active Pixel Sensor*) czas nadejścia fotonu będzie mierzony z dokładnością do 7 μ s. Taka czasowa rozdzielczość pozwoli zbadać jasne i szybko zmienne obiekty rentgenowskie, których jest bardzo dużo w naszej Galaktyce. Wszystkie pulsary, układy podwójne z czarnymi dziurami lub gwiazdami neutronowymi wykazują zmienność w skali milisekund i taką właśnie zmienność będziemy mogli pomierzyć z dużą precyzją.

Opisana powyżej kombinacja instrumentów pozwala na sformułowanie zadań badawczych, które według ekspertów Europejskiej Agencji Kosmicznej są istotniejsze od detekcji fal grawitacyjnych. Prawie połowa obserwowanej przez nas materii kosmicznej jest w formie rozgrzanego, rzadkiego gazu zwanego w żargonie „fazą gorącą” (z ang. *hot phase*). Ów gorący gaz ma temperaturę rzędu 10^6 – 10^7 K i promieniuje wyłącznie niewidzialne gołym okiem fotony X. Nadal nie wiemy, w jaki sposób tak duża ilość gazu nagromadziła tyle energii. Gorący gaz znajduje się w centrach aktywnych galaktyk, związany jest wiralnie w gromadach galaktyk, oraz jest nieustannie wywiewany z odległych kwazarów. I właśnie ten „Gorący Niewidzialny Wszechświat” stał się głównym tematem naukowym ATHENY.

Dzięki obserwacjom rentgenowskim uczeni potrafią ocenić temperaturę, gęstość oraz masę gorącego gazu w danym obszarze nieba. Czasami udaje się wyznaczyć prędkość, z jaką się on porusza oraz jego odległość od obserwatora. Te parametry fizyczne powiązane z czasem obserwacji dostarczają podstawowych informacji o morfologii i ewolucji obserwowanych obiektów, a co za tym idzie, związanej z nimi chłodniejszej, widzialnej części gazu.



Jowisz, po lewej w promieniach rentgenowskich zaobserwowany przez satelitę Chandra, po prawej stronie w świetle optycznym.

X-ray Image: R. Gladstone (SWRI), et al., Optical Image: Cassini Imaging Team, NASA.



Praca powstała dzięki funduszom Siódmego Programu Ramowego Unii Europejskiej (FP7/2007–2013), numer grantu No.312789.

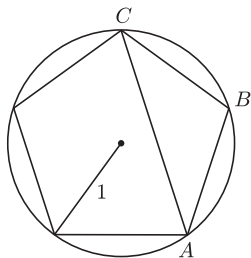
Dzięki przyszłym obserwacjom ATHENY dowiemy się więcej o dynamice i rozkładzie materii we Wszechświecie, zrozumiemy, jak rosną supermasywne czarne dziury i jak gorący gaz stabilizuje gromady galaktyk. ATHENA pozwoli nam zajrzeć głębiej w przestrzeń kosmiczną, aż do przesunięć ku czerwieni nawet $z = 3$ dla najjaśniejszych obiektów. Promieniowanie rentgenowskie o energiach 0,1–9 keV w oddziaływaniu z materią produkuje linie emisyjne lub absorpcyjne pochodzące z jonizacji pierwiastków ciężkich. Dzięki temu możemy precyzyjnie zbadać zawartość pierwiastków ciężkich oraz ich chemiczną ewolucję w obiektach astrofizycznych. ATHENA będzie obserwować linie wielokrotnie zjonizowanego tlenu, węgla, magnezu i innych „metali” aż do żelaza z największą jak dotąd precyzją. Zbadamy również dokładniej, bardzo istotny z astrofizycznego punktu widzenia, proces opadania materii na supermasywne czarne dziury, a w szczególności jego związek z procesem wypływu gorącego gazu z aktywnych jąder galaktyk (z ang. *galaxy feedback*).

Oprócz możliwości obserwacji dalekiego Wszechświata ATHENA znakomicie będzie się nadawać do badań obiektów bliższych. Planuje się zatem „zdjęcia rentgenowskie” centrum naszej Galaktyki, pozostałości po wybuchach supernowych, rentgenowskich układów podwójnych oraz zjonizowanych wiatrów w koronach gorących gwiazd. Nawet obiekty chłodne, takie jak planety i komety w naszym Układzie Słonecznym, nie pozostają obojętne na energetyczne promieniowanie. Już od 60 lat wiemy, że korona Słońca jest silnym źródłem promieniowania X. Te krótkie fale w dużych ilościach przemierzają nasz układ planetarny i znakomicie wnikają w chłodną materię atmosfer planet. Wzbudzone elektrony atmosferycznych gazów, wracając do stanu równowagi, wyświecają wtórne promieniowanie rentgenowskie. Powyższe zjawisko, zwane fluorescencją, jest obserwowane w kosmosie zawsze, gdy mamy do czynienia z silnym źródłem wysokoenergetycznych fotonów. Planety działają jak lustro dla promieni X i je również będzie obserwować przyszły teleskop rentgenowski ATHENA.



Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ



M 1441. Punkty A, B, C są trzema kolejnymi wierzchołkami pięciokąta foremnego wpisanego w okrąg o promieniu 1. Obliczyć $(AB \cdot AC)^2$.

Rozwiązanie na str. 12

M 1442. Udowodnić, że dla każdej liczby naturalnej $n \geq 3$ prawdziwa jest nierówność

$$\frac{1}{3^3} + \frac{1}{4^3} + \dots + \frac{1}{n^3} < \frac{1}{12}.$$

Rozwiązanie na str. 5

M 1443. W kolejne wiersze tablicy $n \times n$ wpisano po kolei liczby $1, 2, \dots, n^2$.

Następnie wybrano z niej n liczb tak, że w każdym wierszu i w każdej kolumnie znajduje się dokładnie jedna z wybranych liczb. Wyznaczyć wszystkie możliwe wartości sumy wybranych liczb.

Rozwiązanie na str. 7

Przygotował Andrzej MAJHOFER

F 869. Jedną z „atrakcji” wesołego miasteczka jest duża, pozioma tarcza o promieniu R wirująca z prędkością kątową ω . Pracownik wesołego miasteczka założył się z kolegami, że startując ze środka tarczy i idąc ze stałą prędkością wzdłuż wymalowanego na tarczy promienia dotrze do brzegu tarczy w chwili, gdy wykona ona połowę obrotu. Czy wygra zakład, jeśli współczynnik tarcia między powierzchnią tarczy i podeszwami butów pracownika wynosi f ?

Wskazówka: Siła odśrodkowa nie jest jedyną siłą bezwładności występującą w obracającym się układzie.

Rozwiązanie na str. 15

F 870. Oszacuj wartość energii potencjalnej uwalnianej w Polsce przez spadające jesienią liście. Powierzchnia Polski to około $310\,000 \text{ km}^2$, z czego około 30% to lasy, ale tylko 20% z nich to lasy liściaste. Najwyższy wiąz w Polsce ma 36 m wysokości (Komorów k. Gubina), najwyższa lipa 35 m (Cielętniki k. Częstochowy).

Rozwiązanie na str. 19