

Satelity naszej Galaktyki

Janusz KAŁUŻNY

W literaturze popularnonaukowej często czytamy, że Słońce jest przeciętną, typową gwiazdą. Jest to w rzeczywistości daleko idące uproszczenie. Zdecydowana większość gwiazd w naszej Galaktyce to obiekty o masach mniejszych niż 0,3 masy Słońca i o mocy promieniowania o ponad 3 rzędy wielkości mniejszej niż słoneczna. W szczególności najbliższa znana gwiazda, Proxima Centauri, jest niepozornym obiektem wysyłającym w dziedzinie wizualnej widma około 10 000 razy mniej energii niż Słońce, a najbliższe znane gwiazdy wysyłają jeszcze kilkadziesiąt razy mniej promieniowania niż Proxima. Na całym niebie mamy około miliona gwiazd o obserwowanej jasności wizualnej większej niż jasność Proximy (przeciętny obserwator może dostrzec około 6000 gwiazd na całej sferze niebieskiej), a spośród 50 najbliższych znanych gwiazd tylko 8 jest widocznych gołym okiem. Jest pewne, że aktualna lista najbliższych gwiazd jest niekompletna. Obiekty bliskie, ale o bardzo niskiej jasności giną w tle milionów bardziej odległych, ale jaśniejszych.

Galaktyki także wykazują duży rozrzut parametrów, takich jak masa, moc promieniowania, rozmiary, co wynika przede wszystkim z faktu, że różnią się znacznie liczbą posiadanych gwiazd. Poniżej postaramy się wykazać, że nie dysponujemy obecnie kompletną listą również galaktyk z naszego najbliższego sąsiedztwa. Nasza Galaktyka należy do układu galaktyk zwanego Grupą Lokalną. Jest to układ związany grawitacyjnie. W jego skład wchodzi trzy stosunkowo masywne i duże galaktyki spiralne (nasza, M31 w Andromedzie i M33 w Trójgacie) oraz co najmniej 23 mniejsze obiekty. Tabela na str. 3 zawiera listę znanych członków Grupy Lokalnej. Ostatnia kolumna tej tabelki podaje całkowitą moc emitowaną w postaci promieniowania widzialnego wyrażoną w jednostkach mocy naszej Galaktyki. Jak widać, w Grupie Lokalnej przeważają galaktyki o ponad dwa rzędy wielkości słabsze niż nasza. Najśłabsze z nich należą do klasy tzw. galaktyk karłowatych sferoidalnych (po angielsku *dwarf Spheroidals*, w skrócie dSph).

Układy jednostek

Jan KALINOWSKI

Od kiedy zapanował w fizyce i technice niepodzielnie układ jednostek SI (skrót od francuskiego terminu *Système International d'Unités*), życie (szczególnie w szkole) stało się znacznie prostsze. Kto teraz z młodzieży wie, co to jest erg, jeśl, kaloria, albo że pojemność elektryczną mierzy się w cm? Kiedyś przeliczanie jednostek było postrachem wszystkich klasówek z fizyki. Obliczenia numeryczne bez przeliczenia jednostek nie miały najmniejszego sensu, bo nie wiadomo było, w jakich jednostkach wychodził wynik. W układzie SI każda wielkość fizyczna jest mierzona w raz na zawsze ustalonych jednostkach i w rachunkach można o nich właściwie „zapomnieć”.

Przejęcie do układu SI zostało zarekomendowane na XI Generalnej Konferencji Miar i Wag w 1960 roku. Podstawowymi jednostkami mechanicznymi tego układu są: metr, m; kilogram, kg; sekunda, s. (Były one też bazą układu MKS, prekursora SI.) Wszystkie pozostałe wielkości mechaniczne mają jednostki pochodne – wyrażane jako pewna kombinacja podstawowych. Na przykład: siła, newton, $N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; praca, dżul, $J = N \cdot \text{m}$; ciśnienie, paskal, $\text{Pa} = N \cdot \text{m}^{-2}$ itp. Pozostałe jednostki podstawowe SI to: amper, A; kelwin, K; mol; kandela, cd; ponadto uzupełniające: radian i steradian. Jednostkami pochodnymi są: kulomb, wolt, om, weber, tesla itd. Oprócz tych jednostek układ SI dopuszcza używanie jednostek będących ich dziesiątą częścią lub krotnością przez dodanie odpowiedniego przedrostka:

10^{-1}	decy	d	10	deka	da
10^{-2}	centy	c	10^2	heкто	h
10^{-3}	mili	m	10^3	kilo	k
10^{-6}	mikro	μ	10^6	mega	M
10^{-9}	nano	n	10^9	giga	G
10^{-12}	piko	p	10^{12}	tera	T
10^{-15}	femto	f	10^{15}	peta	P
10^{-18}	atto	a	10^{18}	eksa	E

Jedynym wyjątkiem od tej reguły jest kg, który jest jednostką podstawową, zamiast grama. Jest to również pozostałość historyczna. (Zabawne(?) jest, że coraz częściej używa się przedrostków k, M, G i T w połączeniu ze złotówką, na przykład reklama Lotto mówi: Gzł w środę, Gzł w sobotę.)

W Polsce układ SI obowiązuje od 1966 roku. Pomimo tego stopnie Celsjusza są ciągle w użyciu, chociaż może niektórzy pamiętają gorliwców podających prognozy pogody w telewizji w kelwinach. Niestety, atmosfery, milibary i milimetry rtęci zginęły ze słownika. Zastąpiły je hektopaskale. Przyzwyczailiśmy się w końcu do dziwołagów typu *ciśnienie wynoszące 1000 hektopaskali*. A przecież nikt nie powie, że z Warszawy do Koluszek jest w przybliżeniu 1000 hektometrów, tylko 100 kilometrów. Hektopaskale to spuścizna po wprowadzaniu na siłę jednostek SI. Spróbujcie zresztą poprosić w warsztacie o wyregulowanie ciśnienia w oponach podając żądane ciśnienie w hektopaskalach. Przegonią!

Główną zaletą układu SI jest jego wygoda w użyciu w wielu zastosowaniach w nauce i technice. Wielorodność tradycyjnie i historycznie tworzonych jednostek dla tej samej wielkości fizycznej została zastąpiona przez jedną jednostkę z jasnymi regułami

tworzenia jej części lub wielokrotności. Ale nie ma róży bez kolców. Układ SI ma również swoje wady i używanie go w każdej sytuacji może być czasami bardziej niewygodne od użycia innego układu.

Podstawową wadą układu SI jest to, że w wielu prawach fizycznych pojawiają się wtedy dziwne współczynniki wymiarowe, których pochodzenie jest bardziej historyczne niż fizyczne i które utrudniają zrozumienie istoty zjawisk. Na przykład przenikalność dielektryczna ϵ_0 i magnetyczna μ_0 próżni są wymiarowe (i wynoszą $\epsilon_0 = (10^{11}/4\pi\bar{c}^2)$ (F/m), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m), gdzie \bar{c} jest wartością prędkości światła w próżni wyrażoną w cm/s, a jednostka pojemności elektrycznej F (farad) ma wymiar $s^4A^2m^{-2}kg^{-1}$, H (henr) zaś $kg\ m^2s^{-2}A^{-2}$). Stąd też natężenia pól elektrycznego E i magnetycznego H (również indukcji elektrycznej D i magnetycznej B) mają różne wymiary. Jest to spuścizna przedrelatywistycznego sformułowania elektrodynamiki, która jest sprzeczna z duchem równań Maxwella, w których pola E i H są składowymi tego samego tensora pola elektromagnetycznego.

Inną wadą układu SI jest, paradoksalnie, jego powszechność użycia. Przyzwyczajeni do układu SI zapominamy o swobodzie, jaką mamy w wyborze jednostek, a umiejętność dobrania odpowiednich jednostek do danego problemu jest jednym z istotnych narzędzi badawczych. Skrajnym tego przykładem jest fizyka mikroświata. Mamy tutaj do czynienia z cząstkami, których ładunki są rzędu ładunku elektronu, a nie kulomba, który zawiera ponad $6 \cdot 10^{18}$ elektronów. Cząstki te poruszają się zwykle z prędkościami rzędu prędkości światła $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, a naturalną jednostką momentu pędu i działania jest porcja równa stałej Plancka $\hbar = 10^{-34}$ J·s. Dlatego też bardziej „naturalnym” układem jednostek jest układ, w którym \hbar i c są jednostkami podstawowymi, a nie m, kg i s. Stąd już tylko krok do przyjęcia, że $\hbar = c = 1$. Jest to tak zwany naturalny układ jednostek. W tym układzie czas i długość mają ten sam wymiar, energia i pęd mają wymiar będący odwrotnością położenia, prędkość, działanie i moment pędu są bezwymiarowe. Jednostką energii jest wtedy elektronowolt, eV, gdzie $1\ J = 6,24 \cdot 10^{18}$ eV, lub $1\ GeV = 10^9$ eV. O tym, że ten układ jest bardziej „naturalny” niż SI, może przekonać nas porównanie stałej grawitacji G_N określającej siłę oddziaływań grawitacyjnych ze stałą Fermiego G_F odpowiedzialną za oddziaływania słabe. W układzie SI stałe te wynoszą odpowiednio

$$G_N = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2},$$

$$G_F = 1,4 \cdot 10^{-62} \text{ J} \cdot \text{m}^3.$$

Spojrzenie na te liczby mogłoby sugerować, że oddziaływania grawitacyjne są o wiele silniejsze niż słabe. Jeśli przepiszemy je w jednostkach naturalnych, wtedy dostaniemy, że

$$G_N = 6,7 \cdot 10^{-39} \hbar c^5 \text{ GeV}^{-2},$$

$$G_F = 1,2 \cdot 10^{-5} \hbar c^3 \text{ GeV}^{-2}.$$

W układzie $\hbar = c = 1$ obie stałe mają ten sam wymiar i dopiero teraz można je porównać! Widzimy, że stała Fermiego jest 33 rzędu wielkości większa od stałej grawitacji, co jest w doskonałej zgodności z doświadczeniem, że w warunkach laboratoryjnych oddziaływania grawitacyjne można kompletnie pominąć w porównaniu ze słabymi. Z drugiej strony, stosowanie jednostek naturalnych w codziennym życiu lub w astronomii też byłoby bez sensu.

Jak widać, przymusowa standaryzacja jednostek może być czasem szkodliwa. Jak we wszystkim, tak i tutaj należy zachować umiar. Warto o tym pamiętać ucząc (się) fizyki.

Znani członkowie Lokalnej Grupy Galaktyk

Odległość D podana jest w kiloparsekach. L_V jest mocą promieniowania. LMC i SMC to odpowiednio Wielki i Mały Obłok Magellana. Ostatnie 6 obiektów jest prawdopodobnie satelitami M31.

Nazwa	D	L_V
Galaktyka	—	1
LMC	55	0.048
SMC	66	0.016
Ursa Minor	70	0.00002
Sculptor	83	0.0002
Draco	100	0.00004
Carina	170	0.00004
Fornax	250	0.001
Leo II	230	0.00004
Leo I	280	0.00006
Sextans	80	?
NGC 6822	460	0.003
NGC 147	570	0.002
NGC 185	570	0.003
M33	900	0.14
M31	830	1.20
NGC 205	830	0.016
M32	830	0.016
IC 1613	830	0.003
Andromeda I	830	0.0001
Andromeda II	830	0.0001
Andromeda III	830	0.0001

Pierwsze dwa obiekty tego typu zostały odkryte w roku 1938 przez Harolda Shapleya jako skupiska bardzo słabych gwiazd widoczne na zdjęciach fragmentów nieba w gwiazdozbiorach Pieca i Rzeźbiarza. Po łacinie gwiazdozbiory te nazywają się Fornax i Sculptor i taką też nazwę nadano nowo odkrytym galaktykom. Następne cztery galaktyki dSph znaleziono w roku 1955 podczas przeglądania klisz świeżo wykonanego atlasu fotograficznego północnej półkuli nieba. Obiekty te otrzymały nazwy Leo I, Leo II, Draco i Ursa Minor (od nazw gwiazdozbiorów Lwa, Smoka i Małej Niedźwiedzicy). Tak jak i dwie wcześniej odkryte galaktyki karłowate są one satelitami naszej Galaktyki.

Na dalsze odkrycia trzeba było czekać do roku 1972, kiedy to udało się odkryć trzy galaktyki typu dSph będące satelitami M31. Otrzymały one nazwy Andromeda I, Andromeda II i Andromeda III. Przy okazji kompletowania atlasu fotograficznego dla południowej półkuli nieba znaleziono w 1977 roku kolejną galaktykę dSph, nazwaną Carina od gwiazdozbioru Kila. W latach 80. powstały różnorakie katalogi zawierające dane dla milionów galaktyk położonych w odległości nawet wielu miliardów lat świetlnych. W tej sytuacji dużym zaskoczeniem było odkrycie kolejnej galaktyki położonej „tuż za miedzą”. Co ciekawsze, ten kolejny satelita naszej Galaktyki odkryty został przypadkowo i bez bezpośredniego udziału człowieka. W roku 1990 grupa astronomów z Cambridge (Anglia) analizowała zdjęcia