

IL CIELO  
24/09/2012 -

## Unità astronomica, kg e una lezione del Nobel Klitzing

PIERO BIANUCCI  
TORINO

Pochi se ne sono accorti, ma da qualche settimana è entrata in vigore una nuova e più semplice definizione dell'unità astronomica (UA), il "metro" del cielo. Invece è una cosa importante e interessante per due motivi: 1) l'unità astronomica sta alla base di tutte le misure delle distanze cosmiche; 2) la nuova definizione è riferita alla velocità della luce.

In prima approssimazione, l'unità astronomica equivale alla distanza che separa la Terra dal Sole, cioè all'incirca 150 milioni di chilometri (8 minuti e 20 secondi luce: un anno luce, l'unità di misura più comune in astronomia, è pari a 65 mila unità astronomiche, o se volete a poco meno di 10mila miliardi di chilometri). Dopo secoli di sforzi da parte degli astronomi per stabilire l'unità astronomica con la massima precisione possibile, ora il suo valore è stato definitivamente fissato in 149.597.870.700 metri.



Klaus von Klitzing

Figlio della Rivoluzione francese, che lo volle pari a un decimilionesimo dell'arco di meridiano che va dal polo nord all'equatore, oggi il metro è l'unità di lunghezza nel Sistema Internazionale (SI) e dal 1983 viene definito in modo assoluto come la distanza che la luce percorre nel vuoto in un 299.792.458° di secondo. D'accordo, non sarà una definizione tanto pratica, ma il suo pregio sta nel fatto che così il metro fa riferimento a una costante universale della natura (appunto la velocità della luce nel vuoto), e questa è la massima aspirazione dei metrologi.

L'unità astronomica rappresenta la base geometrica della triangolazione per le parallassi stellari. Dalle distanze di stelle ottenute con la misura della loro parallasse gli astronomi hanno potuto tarare altre scale per valutare distanze maggiori: per esempio la scala fondata sulla magnitudine assoluta, a sua volta derivata dalla periodicità delle variabili cefeidi.

Su scala cosmologica, la distanza ricavata dallo spostamento spettrale verso il rosso della luce delle galassie è a sua volta connessa alle magnitudini assolute e alle distanze stimate dalla magnitudine assoluta delle supernove. Ma sotto traccia ritroviamo sempre le cefeidi e le misure di parallasse legate all'unità astronomica.

La nuova definizione è stata approvata alla XXVIII assemblea generale della International Astronomical Union svoltasi in agosto a Pechino. La precedente definizione ufficiale dell'unità astronomica era "il raggio di una orbita newtoniana circolare, non perturbata descritta attorno al Sole da una particella di massa infinitesima, che si muova mediamente di 0,01720209895 radianti al giorno (o costante di Gauss)."

Questa definizione, oltre ad essere complicata, risultava anche variabile sul lungo periodo in quanto dipende dalla massa del Sole, che ogni secondo diminuisce di 4,6 milioni di tonnellate, la quantità di materia che viene trasformata in energia secondo la formula di Einstein  $E=mc^2$  per sostenere il suo irraggiamento. Dunque ben venga la nuova definizione.

Dicevamo della passione dei metrologi per le costanti fondamentali della natura, da usare come punti fissi a cui ancorare le unità di misura. Di questa passione ho visto una chiara testimonianza il 19 settembre all'Istituto nazionale di ricerca metrologica di Torino (INRiM), dove ha tenuto una conferenza Klaus von Klitzing (foto), premio Nobel per la fisica nel 1985 per la sua scoperta dell'effetto Hall quantistico.

Nato a Poznan nel 1943, fisico tedesco di origine polacca, Klitzing ha insegnato Monaco di Baviera e ha fatto ricerca a Oxford e all'Imperial College in Inghilterra, a Grenoble in Francia e a Monaco in Germania. Attualmente dirige il Max-Planck-Institut di Stuggart.

Ascoltarlo all'INRiM, in una sala gremitissima (solo posti in piedi), è stato molto piacevole, perché Klitzing ha saputo condire di humour metrologia e meccanica quantistica. Notevole una sua immagine accanto a una bottiglia di vino: fotografia che fissa l'istante della scoperta dell'effetto Hall quantistico, avvenuta in un laboratorio di Grenoble nel 1980, ovviamente, "per caso", come spesso avviene per le grandi scoperte, o come, talvolta per civetteria usano raccontare gli scopritori.

L'effetto Hall classico è la formazione di una differenza di potenziale, detto potenziale di Hall, sulle facce opposte di un conduttore elettrico dovuta a un campo magnetico perpendicolare alla corrente elettrica che scorre in esso. Lo scoprì il fisico Edwin Hall nel 1879.

Se tutto ciò vi sembra semplice, ebbene, l'effetto Hall quantistico è assai più complicato. Esso si manifesta a bassissima temperatura (1 Kelvin, a ridosso dello zero assoluto) e sotto l'azione di un campo magnetico intenso. In tali condizioni la resistenza di Hall di sistemi elettronici bidimensionali può assumere solo determinati valori – cioè è quantizzata – ed è indipendente dal materiale usato (silicio, carbonio, arseniuro di gallio) entro l'incertezza sperimentale di una parte su 10 mila miliardi..

Non previsto dall'elettrodinamica classica, l'effetto Hall quantistico svolge un ruolo molto importante in metrologia. Su di esso, infatti, dal 1990 a livello internazionale si basano tutte le tarature di campioni di resistenza elettrica. Il valore convenzionale adottato per la resistenza di Hall quantistica è di 25.812,807 Ohm (costante di von Klitzing). Il problema è che questa definizione non è compatibile con il sistema internazionale delle unità di misura (sistema SI). Un problema analogo esiste con l'effetto Josephson che consente la taratura di campioni di tensione elettrica sulla base della costante di Josephson, a sua volta collegata al valore della carica dell'elettrone e della costante di Planck.

“Questo conflitto tra le unità SI e le unità pratiche – spiegano all'INRiM – si può risolvere accettando nuove definizioni per le unità SI di base, come raccomandato dalla ventiquattresima Conferenza generale dei Pesi e delle Misure tenutasi nell'ottobre 2011. L'idea di principio di questo nuovo sistema SI è costituita dal collegamento diretto tra i valori fissi di costanti fisiche fondamentali e le unità SI di base, come già si è fatto per il metro, l'unità di lunghezza, ancorandola a un valore fisso della velocità della luce. Se si accettano valori fissi per la costante di Planck e per la carica elettrica elementare nella cornice di un nuovo sistema SI, tutte le tarature di grandezza elettriche (basate sugli effetti Josephson e Hall quantistico) saranno automaticamente in accordo con il sistema SI. Per arrivare a questo traguardo occorre però abbandonare le attuali definizioni delle unità di base “ampere” e “chilogrammo”.

Di tutte le unità base, il chilogrammo è l'unica delle sette unità di misura del SI ancora identificata in un preciso oggetto fisico, il campione primario conservato a Parigi. Proprio qui si inserisce un discorso curioso e interessante. Per una definizione realmente universale del chilogrammo è possibile perseguire due strade: una si rifà al numero di Avogadro, l'altra alla costante di Planck.

Un po' come si usa dire per le mezze stagioni, il kg di oggi non è più quello di una volta. Controlli periodici di estrema precisione hanno accertato che il peso (ma sarebbe più corretto parlare di massa) del campione primario del kg, custodito con mille cure vicino a Parigi in una cassaforte climatizzata del Bureau International des Poids et des Mesures, nel corso dell'ultimo secolo è cambiato di circa 50 miliardesimi di grammo. Come se non bastasse, la variazione è irregolare. Talvolta i controlli rivelano che il peso del kg campione diminuisce. In altri casi aumenta.

Le sofisticatissime bilance oggi disponibili non lasciano dubbi: il cilindro di platino-iridio che dal 1901 è il prototipo al quale devono riferirsi tutte le bilance del mondo può subire variazioni di un miliardesimo di grammo al mese subito dopo le periodiche operazioni di pulitura e lavaggio, severamente regolamentate da procedure rigorose. Terminata questa fase di “dimagrimento”, di solito il kg campione incomincia a “ingrassare” al ritmo di circa un miliardesimo di grammo l'anno.

Le cause non sono del tutto chiare. Il calo di peso che segue la pulitura dipende probabilmente dalla perdita di minutissimi residui del lavaggio e dall'asporto di molecole superficiali dovuto alla spolveratura. L'acquisto di peso può essere giustificato con il depositarsi di granelli di polvere onnipresenti anche nell'ambiente più pulito. Variazioni irregolari con tendenza al “dimagrimento” si possono spiegare con l'affiorare di minuscole bollicine di gas che potrebbero essere rimaste nel campione quando venne fuso.

Non saranno certo queste infinitesime oscillazioni del kg campione di Parigi (e di quelli derivati custoditi negli istituti di metrologia dei 53 Stati aderenti alla Convenzione del Metro) a preoccupare la massaia quando acquista il suo mezz'etto di prosciutto. Tuttavia in molti campi della tecnologia più avanzata una incertezza di 50 miliardesimi di grammo su un kg rappresenta un problema serio. Piccole differenze diventano significative quando si misurano masse di migliaia di tonnellate.

In un mondo globalizzato e con tecnologie sempre più complesse, la domanda di precisione diventerà ancora più esigente. Basti pensare alle nanotecnologie, una ingegneria su scala molecolare, e alla navigazione satellitare, che richiede orologi atomici precisi al miliardesimo di secondo (questo limite, peraltro, è già largamente superato: oggi i migliori orologi atomici spaccano il milionesimo di miliardesimo di secondo). Ma anche l'industria chimica, l'ingegneria, la tutela dell'ambiente, la medicina, la nutrizione e in generale il miglioramento della qualità della vita richiederanno misure sempre più affidabili.

C'è poi l'aspetto teorico-filosofico (riferirsi a costanti fondamentali della natura) e l'aspetto – come dire? – antropologico. I metrologi sono scienziati per loro natura votati a una precisione che va oltre ogni immaginabile pignoleria. Anche per questo non possono tollerare i capricci del kg campione e trovano imbarazzante la loro attuale condizione di impotenza. Come abbiamo già detto, infatti, l'unità di massa è la sola che rimanga tuttora dipendente da un oggetto materiale adottato per pura convenzione umana e non sia invece saldamente ancorata a una ben più affidabile costante fondamentale della natura. Per questo motivo la ventiquattresima Conferenza Internazionale dei Pesi e della Misure ha auspicato che entro il 2015 si giunga a una nuova definizione del kg, liberandola dall'asservimento al glorioso ma ormai inadeguato cilindro di platino-iridio.