

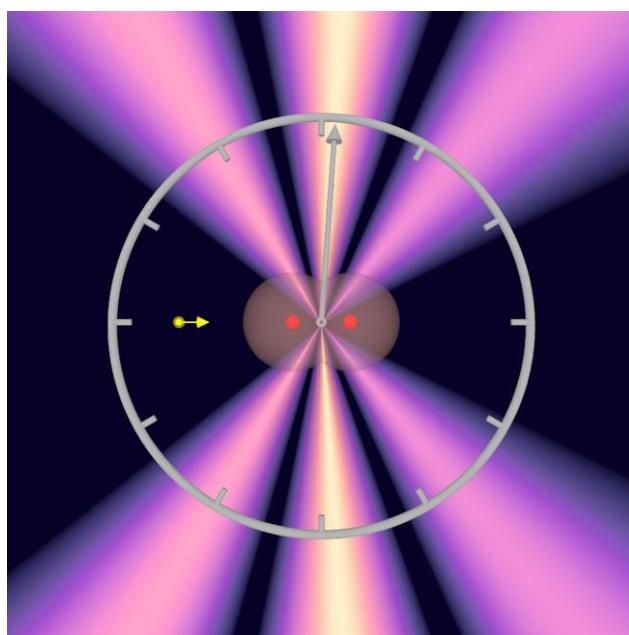
# \* NOVA \*

N. 1837 - 20 OTTOBRE 2020

ASSOCIAZIONE ASTROFILI SEGUSINI

## MISURA IN ZEPTOSECONDI

L'intervallo di tempo più breve mai misurato è quello impiegato da un fotone per attraversare una molecola di idrogeno. A confermarlo è un team di ricercatori della Goethe University di Francoforte a capo di un nuovo studio pubblicato su Science. Da MEDIA INAF del 19 ottobre 2020, con autorizzazione, riprendiamo un articolo di Laura Leonardi.



Rappresentazione schematica della misura dello zeptosecondo. Il fotone (giallo, proveniente da sinistra) produce onde di elettroni dalla nube di elettroni (cerchio grigio) della molecola di idrogeno (rosso: nucleo), che interferiscono tra loro (schema di interferenza: viola-bianco). Il modello di interferenza è leggermente inclinato a destra, permettendo il calcolo della durata del fotone necessario per passare da un atomo all'altro.

Crediti: Sven Grundmann, Goethe University di Francoforte

È stata misurata l'**unità di tempo più breve in assoluto**: il tempo impiegato da una particella leggera per attraversare una molecola di idrogeno ( $H_2$ ), quantificato in **zeptosecondi**. Uno zeptosecondo è un **millesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo** –  $10^{-21}$ , un punto decimale seguito da 20 zeri e un 1. Questa precisione supera di gran lunga quella ottenuta dal **femtosecondo** – milionesimi di miliardesimi di secondo – misurato dal chimico egiziano Ahmed Zewail, vincitore del Premio Nobel del 1999 per i suoi studi sugli stati di transizione delle reazioni chimiche.

I fisici della Goethe University di Francoforte, guidati da **Reinhard Dörner**, insieme ai colleghi del laboratorio di fisica delle particelle Desy (Deutsches Elektronen-Synchrotron) di Amburgo e del Fritz-Haber-Institute di Berlino, hanno misurato per la prima volta un processo, per grandezza, più breve dei femtosecondi, che accade nel nuovo mondo degli zeptosecondi: la propagazione della luce all'interno di una molecola. Il **fotone**, per attraversare una molecola di idrogeno, impiega circa

---

### NEWSLETTER TELEMATICA APERIODICA DELL'A.A.S. PER SOCI E SIMPATIZZANTI - ANNO XV

La Nova è pubblicazione telematica aperiodica dell'A.A.S. - Associazione Astrofili Segusini di Susa (TO) riservata a Soci e Simpatizzanti.

È pubblicata senza alcuna periodicità regolare (v. Legge 7 marzo 2001, n. 62, art. 1, comma 3) e pertanto non è sottoposta agli obblighi previsti della Legge 8 febbraio 1948, n. 47, art. 5. I dati personali utilizzati per l'invio telematico della Nova sono trattati dall'AAS secondo i principi del Regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR - Regolamento UE 2016/679).

[www.astrofilisusa.it](http://www.astrofilisusa.it)

**247 zeptosecondi** per la lunghezza media del legame della molecola. Questo è il periodo di tempo più breve mai misurato con successo fino ad oggi.

Per ottenere questo risultato, gli scienziati hanno irradiato con i raggi X una molecola di idrogeno, utilizzando la sorgente di luce del sincrotrone Petra III presso il centro Desy di Amburgo. I ricercatori hanno impostato l'energia dei raggi X in modo che un fotone fosse sufficiente per espellere entrambi gli elettroni dalla molecola di idrogeno. Gli elettroni si comportano simultaneamente come particelle e onde, dunque l'espulsione del primo elettrone dalla molecola di idrogeno, ha prodotto delle onde di elettroni lanciate prima in uno e poi nel secondo atomo della molecola di idrogeno, in rapida successione, fino alla fusione delle due onde.

Per fare un esempio, il fotone si è comportato in modo molto simile a un ciottolo piatto che viene lanciato sulla superficie di un lago, sfiorando per due volte l'acqua: le onde prodotte dal primo e dal secondo contatto con l'acqua – la depressione dell'onda e la cresta dell'onda – si sovrappongono annullandosi a vicenda e dando luogo a quello che viene chiamato uno schema di interferenza.

Gli scienziati hanno misurato il modello di interferenza del primo elettrone espulso, utilizzando il microscopio a reazione Coltrims (Cold Target Recoil Ion Momentum Spectrometer), un apparato che **Dörner** ha aiutato a sviluppare e che rende visibili i processi di reazione ultraveloci negli atomi e nelle molecole. Contemporaneamente allo schema di interferenza, il microscopio Coltrims ha anche consentito la determinazione dell'orientamento della molecola di idrogeno. Qui i ricercatori hanno approfittato del fatto che anche il secondo elettrone fosse stato espulso dalla molecola di idrogeno, in modo che i rimanenti nuclei di idrogeno si separassero e fossero rilevati.

«Poiché conosciamo l'orientamento spaziale della molecola di idrogeno, abbiamo utilizzato l'interferenza delle due onde elettroniche per calcolare con precisione il momento in cui il fotone ha raggiunto il primo e quando ha raggiunto il secondo atomo di idrogeno», spiega **Sven Grundmann**, la cui tesi di dottorato costituisce la base dell'articolo pubblicato su *Science*. «E questo dura fino a 247 zeptosecondi, a seconda di quanto distanti nella molecola i due atomi erano dal punto di vista della luce».

«Abbiamo osservato per la prima volta che il guscio dell'elettrone, in una molecola, non reagisce alla luce ovunque nello stesso momento», aggiunge Reinhard Dörner. «Il ritardo si verifica perché le informazioni all'interno della molecola si diffondono solo alla velocità della luce. Con questa scoperta abbiamo esteso la nostra tecnologia Coltrims a un'altra applicazione».

**Laura Leonardi**

Sven Grundmann, Daniel Trabert, Kilian Fehre, Nico Strenger, Andreas Pier, Leon Kaiser, Max Kircher, Miriam Weller, Sebastian Eckart, Lothar Ph. H. Schmidt, Florian Trinter, Till Jahnke, Markus S. Schöffler, Reinhard Dörner: "Zeptosecond Birth Time Delay in Molecular Photoionization". *Science*, 16 Oct 2020: Vol. 370, Issue 6514, pp. 339-341, <https://science.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.abb9318>

<https://www.media.inaf.it/2020/10/19/il-mondo-degli-zeptosecondi/>

<https://aktuelles.uni-frankfurt.de/englisch/physics-zeptoseconds-new-world-record-in-short-time-measurement/>

**zèpto-** (o zètto-) [Der. del gr. heptá "sette", con z anteposto quale elemento distintivo] Pref. metrologico SI, di simb. z, che, anteposto al nome di un'unità di misura, ne moltiplica il valore per  $10^{-21}$  (la settima potenza di un millesimo); è stato introdotto dalla Conferenza generale dei pesi e misure di Parigi del 1991.

*Dizionario delle Scienze Fisiche Treccani* (1996)

[https://www.treccani.it/enciclopedia/zepto\\_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/zepto_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/)

