

# Success for particle accelerators of the future: electrons ride proton-driven plasma wave

✍ A. Caldwell 📅 26-09-2018 ↗ <http://www.primapagina.sif.it/article/832>

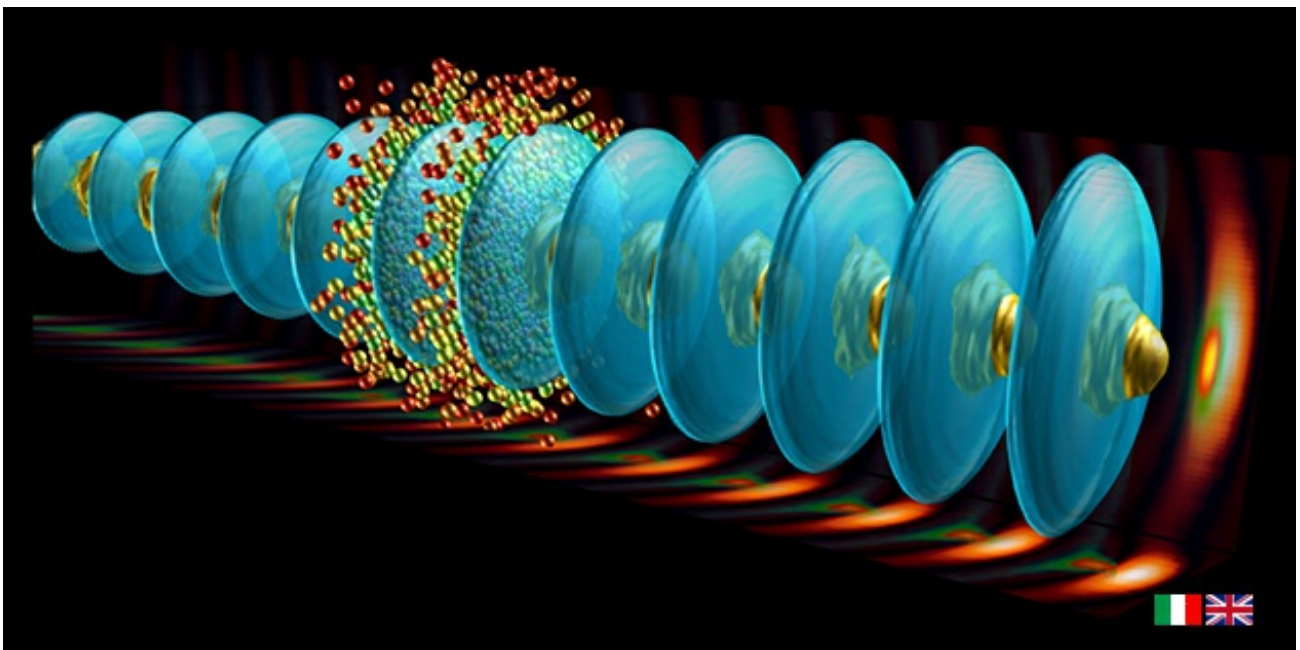


Image from a numerical simulation of the CERN plasma accelerator. The plasma modulates the proton beam from the SPS into a train micro-bunches (bullet-like structures) driving an intense plasma wakefield (ellipsoidal structures) that accelerates electrons (small spheres).  
Credits: Jorge Vieira/IST Lisbon, Portugal.

The international AWAKE (Advanced Wakefield Experiment) collaboration has made a breakthrough in its effort to build a new type of particle accelerator. The experiment, in which electrons surf on a plasma wave, accelerates electrons rapidly, allowing them to reach high energies in a short distance. This brings hope that electron beams will become available at much higher energies than has been possible to date, allowing particle physicists to extend their study of nature on the smallest distance scales. Assuming the goals of AWAKE are fully met, it will become possible in a future plasma accelerator to bring electrons to 1 GeV in one meter. In comparison, standard linear accelerators need typically 50 meters to achieve the same result.

AWAKE uses plasma, a gas-like mixture of positively charged ions and negative electrons, which is located in a 10 m long chamber, the plasma cell. A short bunch of protons is then injected into this

chamber to excite the plasma electrons. On their path through the plasma, the protons attract the electrons from the plasma. The protons are moving at close to the speed of light, so the attractive force felt by the plasma electrons lasts for a very short time, as if jerked by the proton bunch during its passage. The electrons move as a result of this impulse, leaving behind the much heavier positively charged ions. This causes a charge separation in the plasma, and the resulting electric fields lead to an oscillating motion of the electrons – much as when a child on a swing has been pushed once and then swings back and forth. The plasma electrons at different points along the plasma cell get pushed at slightly different times, and this is what generates a wave-like motion in the plasma. When electrons (to be accelerated) are inserted at the right time, they ride on the wave and are accelerated.

The concept of plasma wakefield acceleration is not new. Already in 1979, T. Tajima and J. M. Dawson proposed the "Laser Electron Accelerator" based on a strong laser exciting the plasma wave. Soon thereafter, it was realized by P. Chen and others that electrons bunches could also drive a strong wake, and a series of experiments have demonstrated that these drivers work as predicted. AWAKE is the first experiment that uses protons as a driver. Protons bunches carry much more energy than laser pulses or bunches of electrons, and can therefore propagate much further in plasma. The result will be higher energy for the surfing particles.

The AWAKE breakthrough is the result of a nearly ten-year development, starting with the publication of "Proton-driven plasma-wakefield acceleration" by A. Caldwell, K. Lotov, A. Pukhov and F. Simon in 2009. Following a series of theoretical and simulation studies, the R&D experiment was proposed at CERN in 2012 and approved in 2013. The Super Proton Synchrotron (SPS) beam previously used to fire neutrinos to the LNGS laboratory was designated for use in the experiment, and the AWAKE experiment was constructed under the leadership of Patric Muggli (Scientific Coordinator, Max Planck Institute for Physics) and Edda Gschwendtner (technical coordinator, CERN). First results on a necessary step of turning a long proton bunch into a series of micro-bunches was achieved at the end of 2016, and acceleration of electrons in May 2018.

The future goal of AWAKE is to demonstrate the use of the technology for particle physics applications - for example, in order to understand the fine structure of protons or to search for new particles such as "dark photons", which are possible candidates for dark matter – by 2024. A second round of experimentation is planned to meet this goal.

Learn more about

## **Un successo per gli acceleratori di particelle del futuro: elettroni a cavallo dell'onda di plasma eccitata da protoni**

Traduzione di A. Bettini

La Collaborazione internazionale AWAKE (Advanced Wakefield Experiment) ha fatto un balzo in avanti nel suo programma verso la costruzione di un nuovo tipo di acceleratore di particelle. L'esperimento, nel quale elettroni fanno surf su di un'onda di plasma, accelera gli elettroni rapidamente, facendo loro raggiungere alte energie in una breve distanza. Ciò fa sperare di poter

disporre di fasci di elettroni di energie molto più alte di quelle disponibili oggi, permettendo ai fisici delle particelle di estendere il loro studio della natura sino alle più piccole scale di distanza. Se gli obiettivi di AWAKE saranno pienamente raggiunti, diverrà possibile, con un futuro acceleratore a plasma, portare elettroni a 1 GeV in un metro. Per confronto, acceleratori lineari standard necessitano di 50 m per raggiungere lo stesso risultato.

AWAKE usa un plasma, che è una miscela simile a un gas di ioni carichi ed elettroni, collocato in una camera lunga 10 m, la cella di plasma. Un breve fiotto di protoni viene iniettato in questa cella per eccitare gli elettroni del plasma. Nel loro cammino attraverso il mezzo, i protoni attraggono dal plasma gli elettroni. Dato che i protoni si muovono a velocità prossima a quella della luce, la forza attrattiva sentita dagli elettroni dura un tempo molto breve, come ricevessero uno strattone dal fiotto di protoni al suo passaggio. In conseguenza della botta, gli elettroni si muovono, lasciandosi dietro i protoni che sono molto più pesanti. Ciò causa una separazione delle cariche nel plasma, e i campi elettrici che ne risultano portano a un moto oscillante degli elettroni – come un bambino sull'altalena che, una volta spinto, continua a oscillare avanti e indietro. Gli elettroni del plasma in punti diversi lungo la cella ricevono la spinta in istanti leggermente diversi, ed è questo che genera un modo ondoso nel plasma. Se elettroni (da accelerare) vengono iniettati all'istante giusto, essi cavalcano l'onda e vengono accelerati.

Il concetto di accelerazione tramite campo di scia in un plasma non è nuovo. Già nel 1979, T. Tajima e J. M. Dawson proposero l'"Acceleratore laser di elettroni", basato sull'eccitazione dell'onda di plasma tramite un laser di alta intensità. Poco dopo, P. Chen e altri trovarono che anche fiotti di elettroni erano capaci di eccitare una forte scia, e una serie di esperimenti dimostrarono che questi driver funzionano come previsto. AWAKE è il primo esperimento che usa protoni come driver. Fiotti di protoni portano molta più energia di impulsi laser o fiotti di elettroni, e di conseguenza possono propagarsi nel plasma su distanze molto maggiori. Il risultato è un'energia più alta per le particelle che fanno surf.

Il salto in avanti di AWAKE è il risultato di quasi dieci anni di sviluppi, a iniziare dalla pubblicazione di "Proton-driven plasma-wakefield acceleration" di A. Caldwell, K. Lotov, A. Pukhov e F. Simon nel 2009. Dopo una serie di studi teorici e di simulazioni, l'esperimento di R&D fu proposto al CERN nel 2012 e approvato nel 2013. Il fascio del Super Proton Synchrotron (SPS) precedentemente usato per produrre il fascio di neutrini verso il LNGS fu scelto per quest'esperimento, e AWAKE fu costruito sotto la guida di Patric Muggli (Scientific Coordinator, Max Planck Institute for Physics) e Edda Gschwendtner (technical coordinator, CERN). I primi risultati nel passo necessario di trasformare un lungo fiotto di protoni in una successione di molti micro-fiotti si raggiunsero alla fine del 2016, e l'accelerazione di elettroni nel maggio 2018.

Il prossimo obiettivo di AWAKE è dimostrare l'utilizzazione della tecnologia per applicazioni in fisica delle particelle – per esempio per lo studio della struttura fine del protone o la ricerca di nuove particelle, come il "dark photon", possibili candidati di materia oscura – nel 2024. Allo scopo si sta pianificando una seconda serie di esperimenti.

Scopri di più