

L'antimatière et le CERN

JEAN LIÉNARDY

Jean Liénardy
Université catholique de Louvain

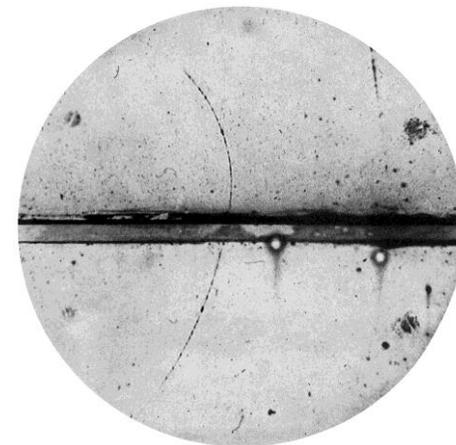


UCL
Université
catholique
de Louvain

Historique de l'antimatière

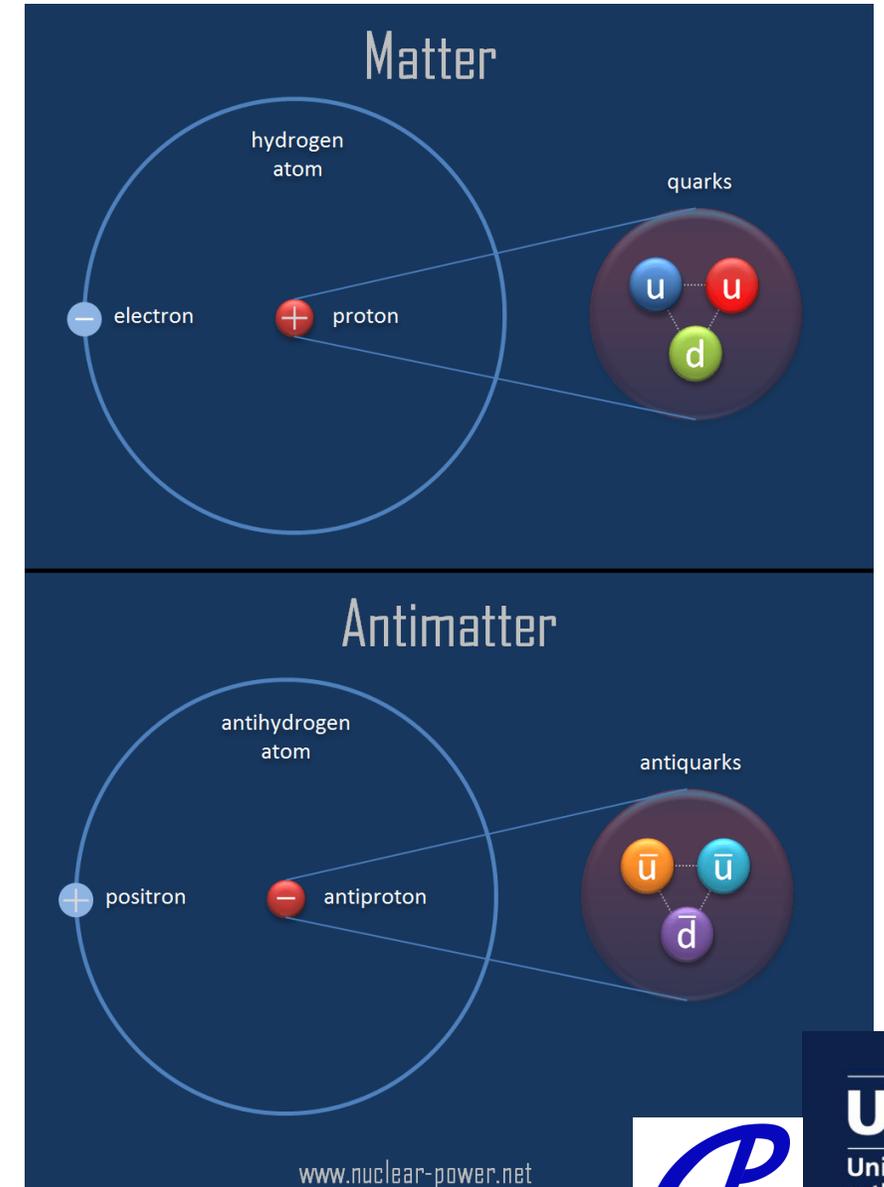
- ▶ 1928 : Paul Dirac veut rendre invariant l'équation de Schrödinger sous transformation de Lorentz. Il trouve l'**équation de Dirac**
- ▶ PROBLÈME : Cette équation a bien pour solution l'électron, de charge électrique négative, mais aussi une solution de charge positive
- ▶ SOLUTION : il doit exister une nouvelle particule de même masse que l'électron, mais de charge positive, elle sera appelée **positron**
- ▶ 1934 : Anderson observe le positron

Dirac et Anderson reçoivent le prix Nobel



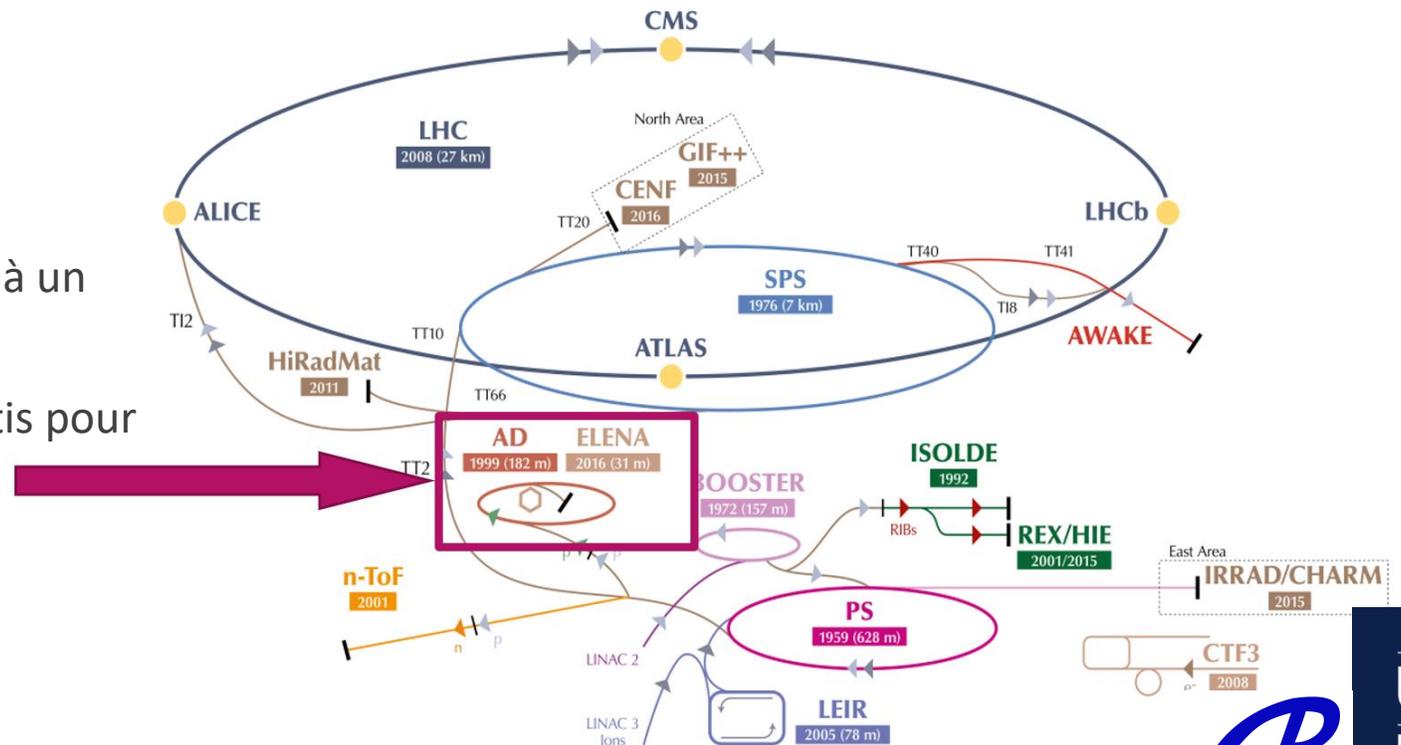
L'antimatière

- ▶ L'antimatière désigne l'ensemble des antiparticules
- ▶ Pour chaque particule, il existe une antiparticule
 - ▶ de même masse
 - ▶ de même spin
 - ▶ de **charge opposée**
- ▶ Lorsqu'une particule et son antiparticule se rencontrent, il y a **annihilation** de la paire et l'émission de photons
- ▶ ETUDE DE L'ANTIMATIÈRE
 - ▶ Mieux comprendre l'asymétrie matière/antimatière
 - ▶ Usage en médecine (PET scan)
 - ▶ Futurs usages (domaine spatial, militaire)



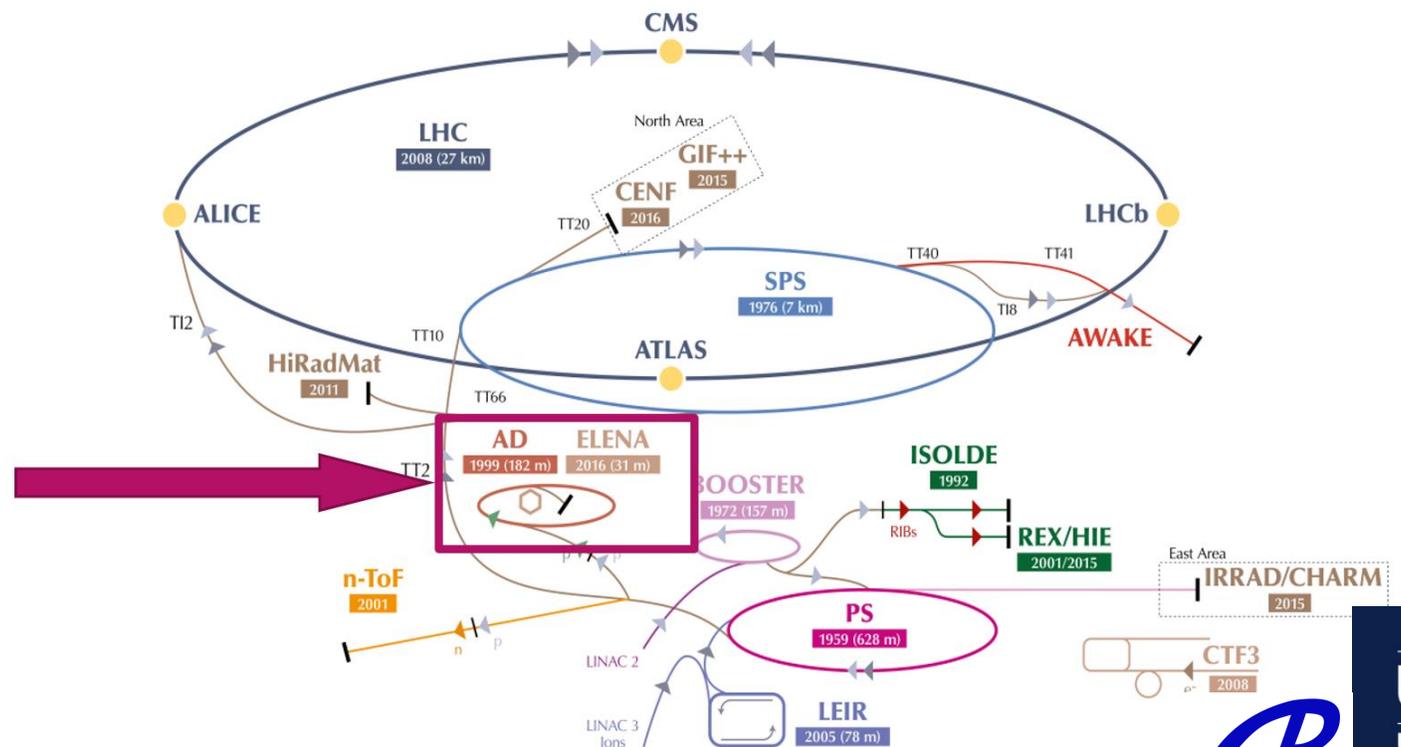
La création d'antiprotons au CERN

- ▶ Protons accélérés par le synchrotron
- ▶ Projetés sur une cible métallique
- ▶ Ceci produit parfois une paire proton/antiproton (1 sur 1 million)
- ▶ Les antiprotons sont extraits grâce à un champ magnétique
- ▶ Ces antiprotons doivent être ralentis pour être utilisés
- ▶ Plusieurs expériences utilisent ces antiprotons



L'antimatière au CERN

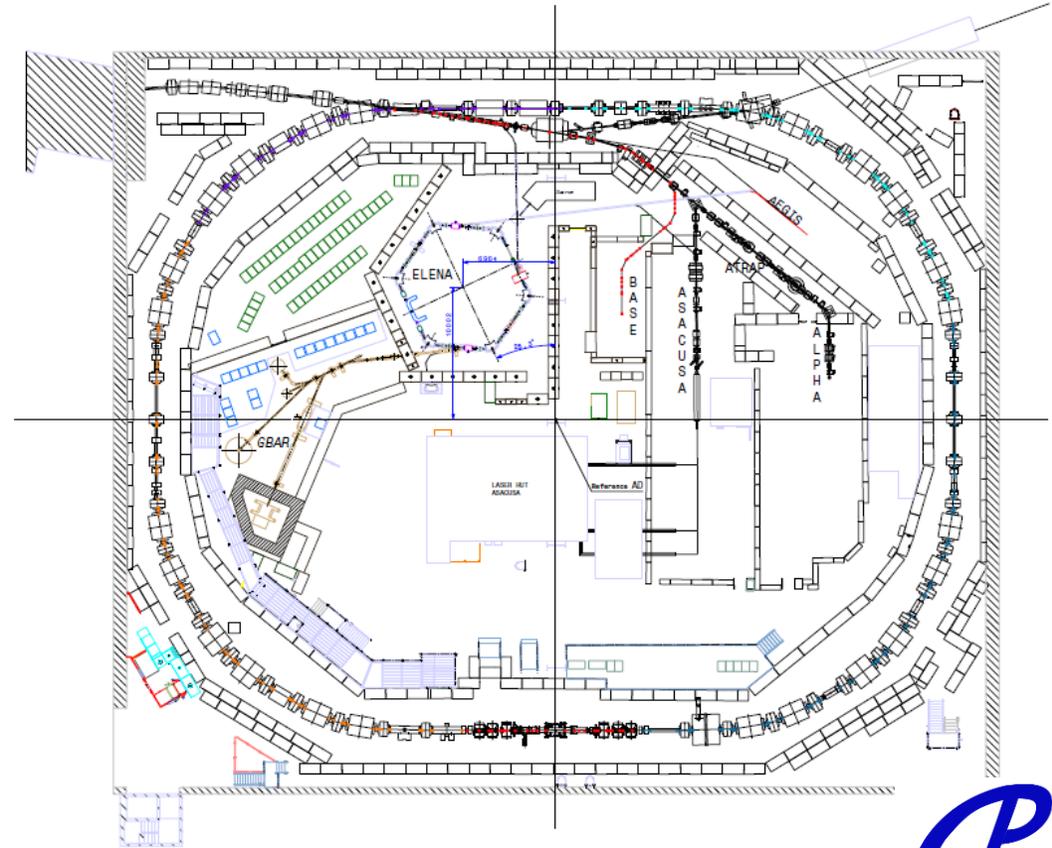
- ▶ 2 décélérateurs d'antiprotons
 - ▶ AD
 - ▶ ELENA
- ▶ 6 expériences
 - ▶ AEGIS
 - ▶ ALPHA
 - ▶ ASACUSA
 - ▶ ATRAP
 - ▶ BASE
 - ▶ GBAR



LES DÉCÉLÉRATEURS

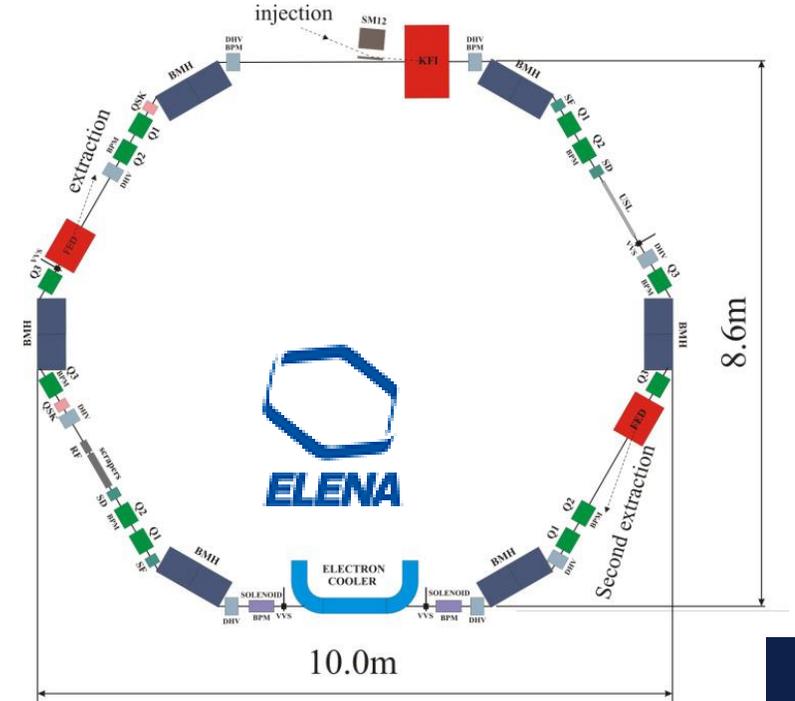
AD – antiproton decelerator

- ▶ Les antiprotons du PS arrivent dans le décélérateurs
- ▶ Les antiprotons
 - ▶ suivent un anneau formé d'aimants qui les maintiennent sur une trajectoire circulaire
 - ▶ sont ralentis (jusqu'à $0.1c$) par des champs électriques et refroidis
 - ▶ Sont distribués aux expériences ou sont ralentis par ELENA.



ELENA – Extra Low ENergy Antiproton

- ▶ Nouveau décélérateur couplé à l'AD.
- ▶ Entré en service cette année (aout 2017)
- ▶ BUT :
 - ▶ Décélérer les antiprotons d'un facteur 50
 - ▶ Augmenter le nombre d'antiprotons produits d'un facteur 10 à 100
 - ▶ Permettre de nouvelles expériences (GBAR)
- ▶ COMMENT :
 - ▶ Refroidissement par électrons.



LES EXPÉRIENCES

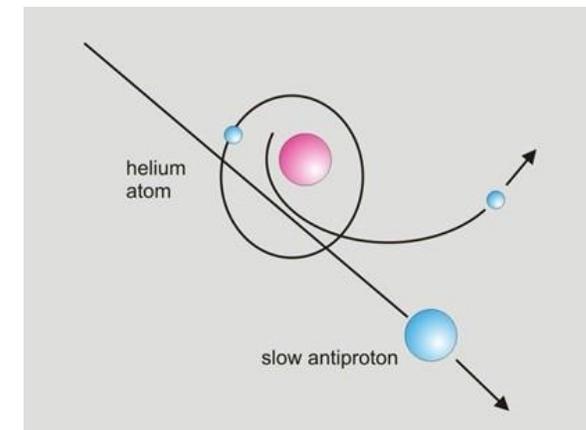
Alpha

- ▶ BUT : Créer, capturer et étudier les des atomes d'antihydrogène afin de les comparer avec des atomes d'hydrogène.
- ▶ PROBLÈME : l'antihydrogène est neutre => dérive et s'annihile avec la paroi du détecteur. (après quelques microsecondes)
- ▶ COMMENT : en réunissant un antiproton et un positron de basse énergie dans un piège magnétique.
- ▶ RESULTATS :
 - ▶ 2017 : mesure de la structure hyperfine de l' $\bar{\text{H}}$
 - ▶ 2014 : mesure de la charge (compatible à 8 décimales)
 - ▶ 2011 : Capture d' $\bar{\text{H}}$ pendant 1000 secondes

The logo for the ALPHA experiment, featuring the word "ALPHA" in a bold, black, sans-serif font. The letter "P" is white with a black outline. To the right of the text is a large, stylized red Greek letter alpha (α).

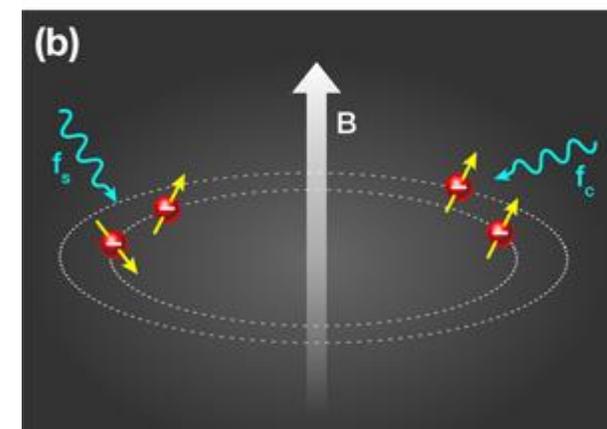
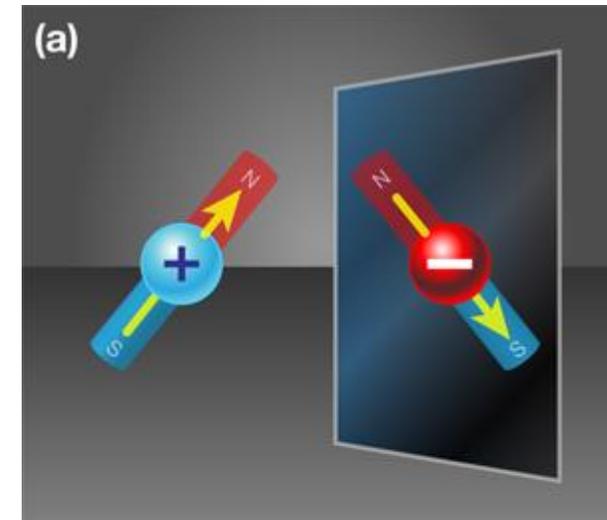
ASACUSA - Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons

- ▶ BUT : Comparer la matière avec l'antimatière en créant des atomes hybrides comme « l'hélium antiprotonique »
- ▶ COMMENT :
 - ▶ Prendre un gaz d'Hélium
 - ▶ Le bombarder avec des antiprotons de basse énergie
 - ▶ La plupart des antiprotons s'annihilent
 - ▶ Certains se combinent à l'Hélium en remplaçant un électron
- ▶ L'atome hybride est ensuite étudié à l'aide de lasers.
 - ▶ E.g. mesure du ratio des masses de l'électron et de l'antiproton
 - ▶ 2016 : Mesure concordant avec la matière à $8 * 10^{-10}$



ATRAP – Antihydrogen TRAP

- ▶ Lancée à la fin des années 90
- ▶ Expérience pionnière en ce qui concerne le
 - ▶ Le refroidissement des antiprotons
 - ▶ La formation et le piégeage de l'antihydrogène
 - ▶ La mesure de ses propriétés (charge, moment magnétique)
- ▶ RESULTATS :
 - ▶ 2013 : détermination la plus précise (à l'époque) du moment magnétique de l'antiproton



BASE - Baryon Antibaryon Symmetry Experiment

- ▶ BUT : comprendre l'asymétrie matière/antimatière

(Si elles ne sont pas exactement identiques, alors ce serait le signe d'une nouvelle physique à découvrir)

- ▶ COMMENT :

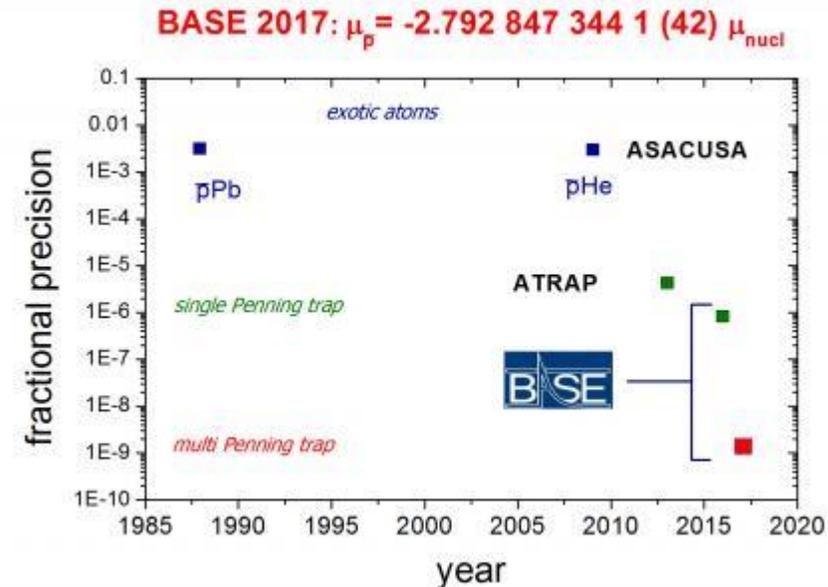
- ▶ Calcul du moment magnétique

- ▶ Calcul du ratio charge-to-mass $\frac{(q/m)_{\bar{p}}}{(q/m)_p}$

- ▶ RESULTATS :

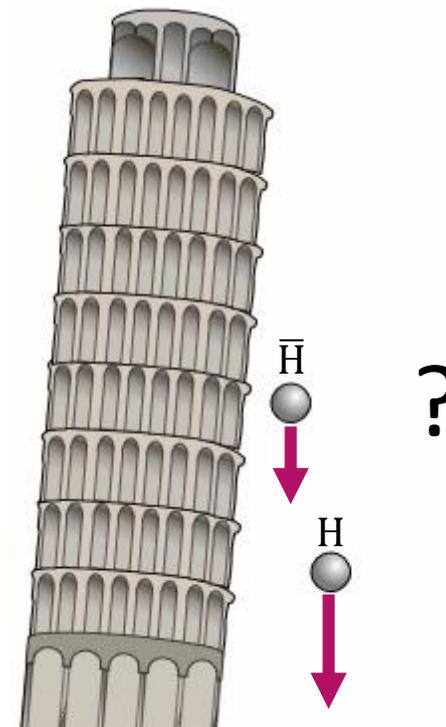
Oct 2017 : Mesure très précise du moment magnétique de l'antiproton

(mesure plus précise que celle du proton !)



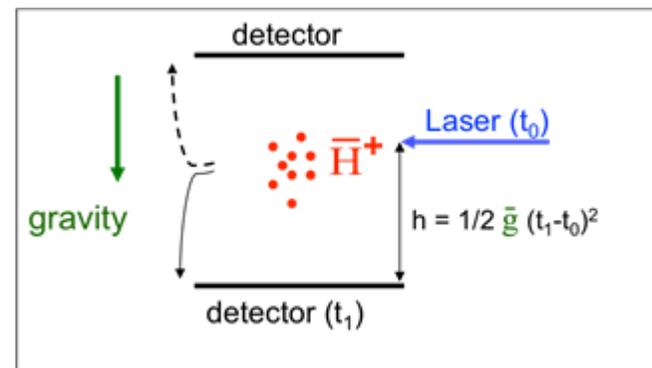
AEGIS - Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy

- ▶ BUT : mesurer directement l'accélération de l'antihydrogène due à la gravitation terrestre
- ▶ COMMENT :
 - ▶ Créer un faisceau d'antihydrogène lent
 - ▶ Mesurer sa déflexion lors de son parcours
- ▶ DIFFICULTÉS : nécessite des antiatomes à des vitesses bien définies
 - ▶ Les antihydrogènes sont mis dans des états de Rydberg (fortement excités)
 - ▶ Ils peuvent être facilement manipulés



GBAR - Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest

- ▶ BUT
 - ▶ Tester le principe d'équivalence (faible) d'Einstein sur l'antimatière
 - ▶ Calculer la constante de gravitation des atomes neutres d' $\bar{\text{H}}$ soumis à l'attraction terrestre (interaction matière/antimatière)
 - ▶ Méthode complémentaire à l'expérience AEGIS.
- ▶ DIFFICULTÉ : nécessite des atomes d' $\bar{\text{H}}$ très lents (vitesse de 1m/s)
Ceux-ci sont ralentis par ELENA.



Plus de détails lors de la visite !