

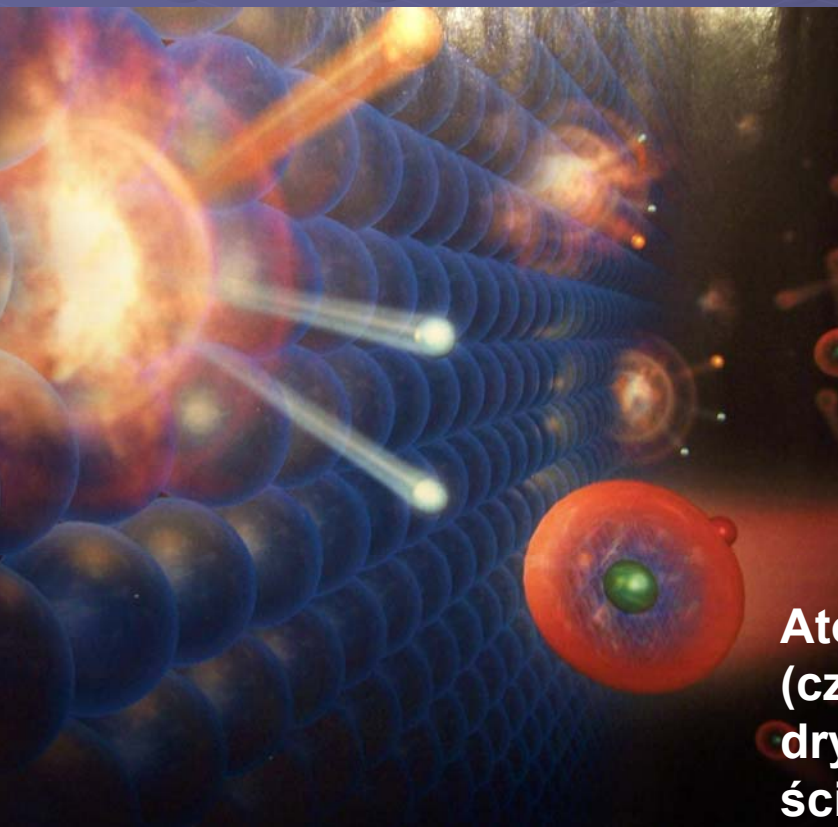
Wytwarzanie zimnej antymaterii



Joanna Mieczkowska
Fizyka Stosowana
Semestr VII

„Wolno poruszające się atomy antywodoru umożliwią zbadanie podstawowych praw rządzących Wszechświatem”

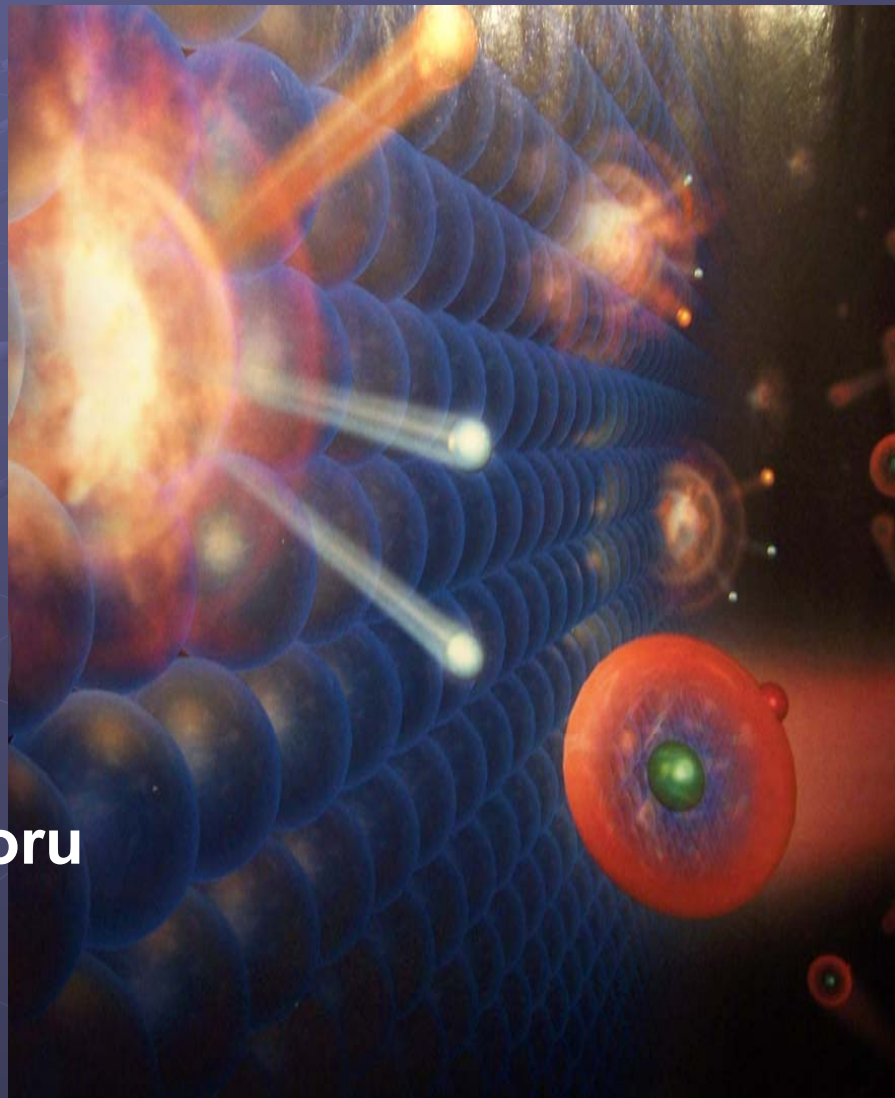
Graham P.Collins



Atom antywodoru zbudowany z pozytonu (czerwony) krążącego wokół antyprotonu (zielony) dryfują z miejsca swoich narodzin i uderzają w ścianę pułapki, gdzie anihilują, tworząc wiązkę cząstek o wysokiej energii.

Plan Wystąpienia:

- 1) Co to jest antymateria.
- 2) Trochę historii
- 3) Antyproton i antyneutron
- 4) CERN
- 5) Niezmienniczość CPT
- 6) Wytwarzanie antywodoru
- 7) Kontrolowanie laserowe



**Antycząstki to niemal identyczne bliźniaki
zwyczajnych cząstek – różnią się od nich tylko
znakiem ładunku elektrycznego.**

**Szczęśliwie dla naszego bezpieczeństwa
antymateria jest w przyrodzie rzadkością.**

**Z braku naturalnych antyatomów fizycy starają się
więc wytworzyć je w laboratoriach.**

Układ okresowy pierwiastków

Układ okresowy pierwiastków

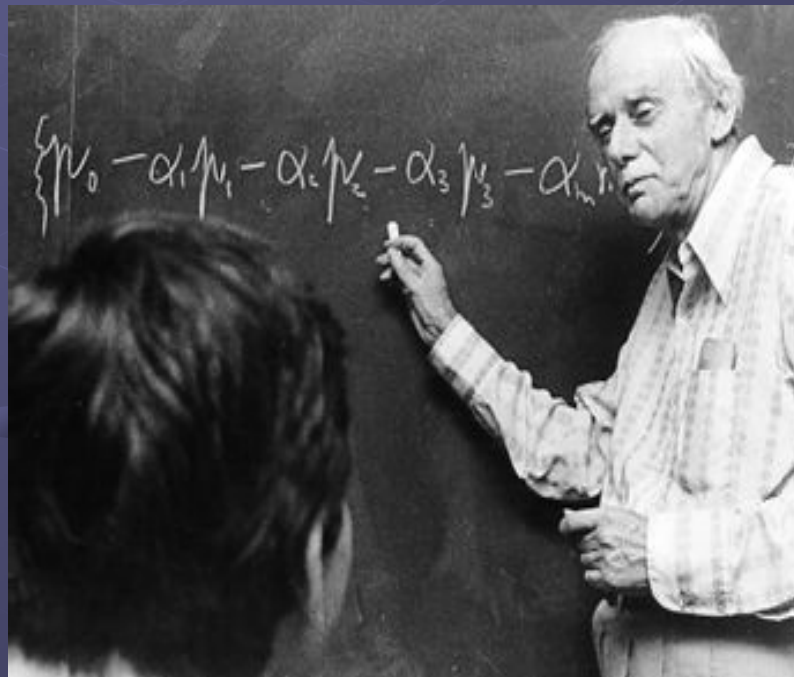
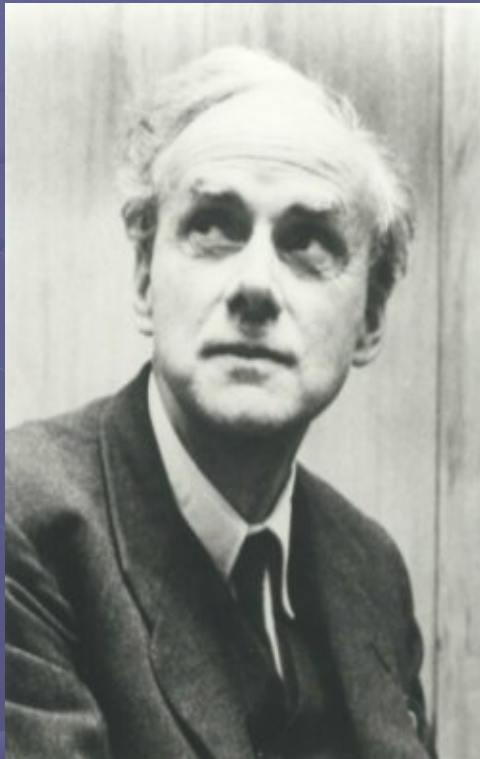
1	2											3	4	5	6	7	8	9	10																
1 H												3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne						
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																		
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn										

Lantanoide

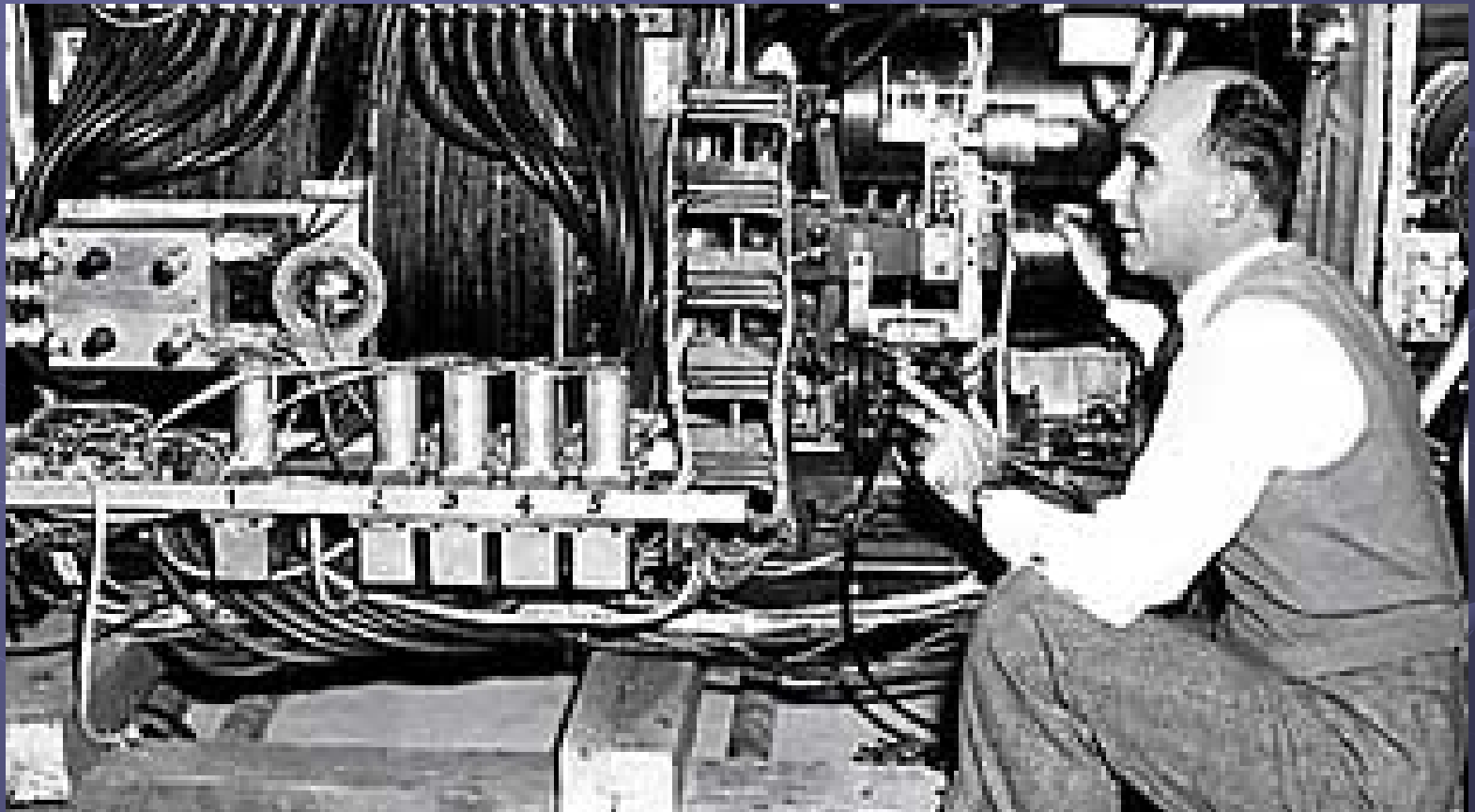
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Acknowledgements

Paul A.M. Dirac



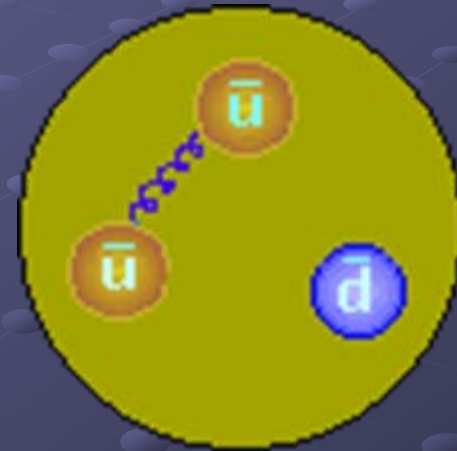
Carl D. Anderson



1955 r (antycząstki)

Antyproton

Antyproton składa się on z dwóch antykwarków górnych $\bar{u}$ i jednego antykwarka dolnego $\bar{d}$, między którymi wymieniane są różnokolorowe gluony.



Antyneutron odkryty w 1956 roku składa się z dwóch antykwarków dolnych $\bar{d}$ i jednego antykwarka górnego $\bar{u}$.

Niektóre cząstki (np. eta-c należąca do mezonów, składająca się z kwarka powabnego c i jego antykwarka) są jednocześnie swoimi własnymi antycząstkami.

Mogą jednak istnieć we wszechświecie obszary, w których istnieje materia zbudowana z antycząstek, czyli antymateria.

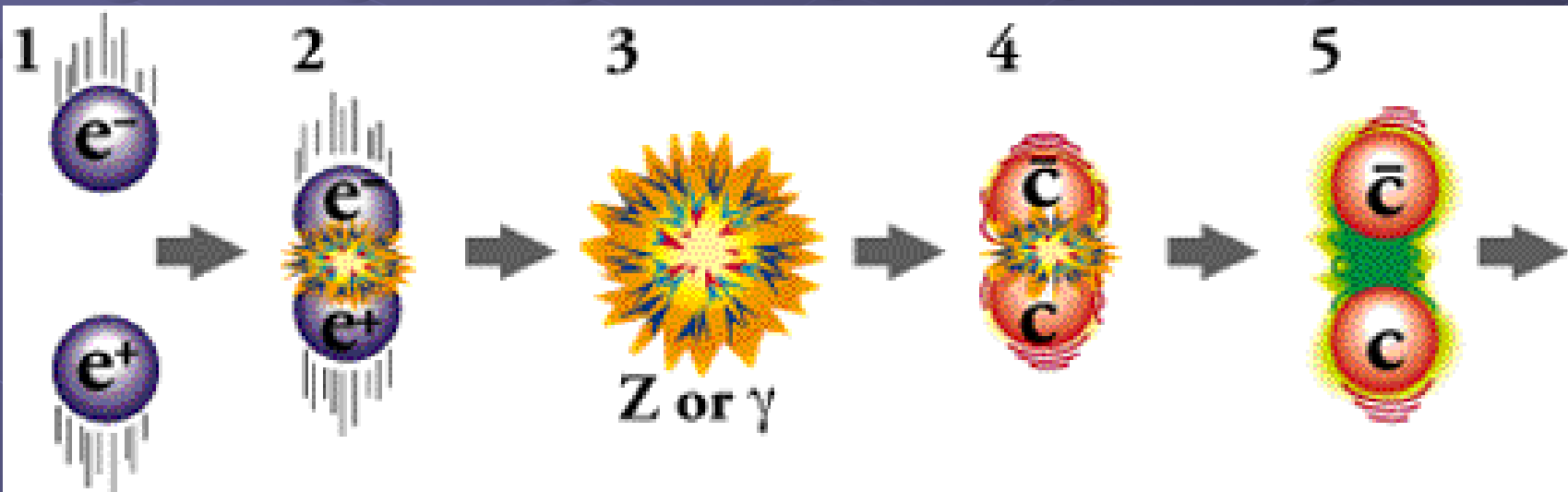
Atomy antymaterii byłyby zbudowane z antyprotonów, antyneutronów i pozytonów. Przy zetknięciu się antymaterii ze zwykłą materią powinna zachodzić anihilacja wyzwalaając olbrzymie ilości energii. Pojawiają się również hipotezy o istnieniu wielu Światów Równoległych, z których część może być również zbudowana z antymaterii.

ANIHILACJA

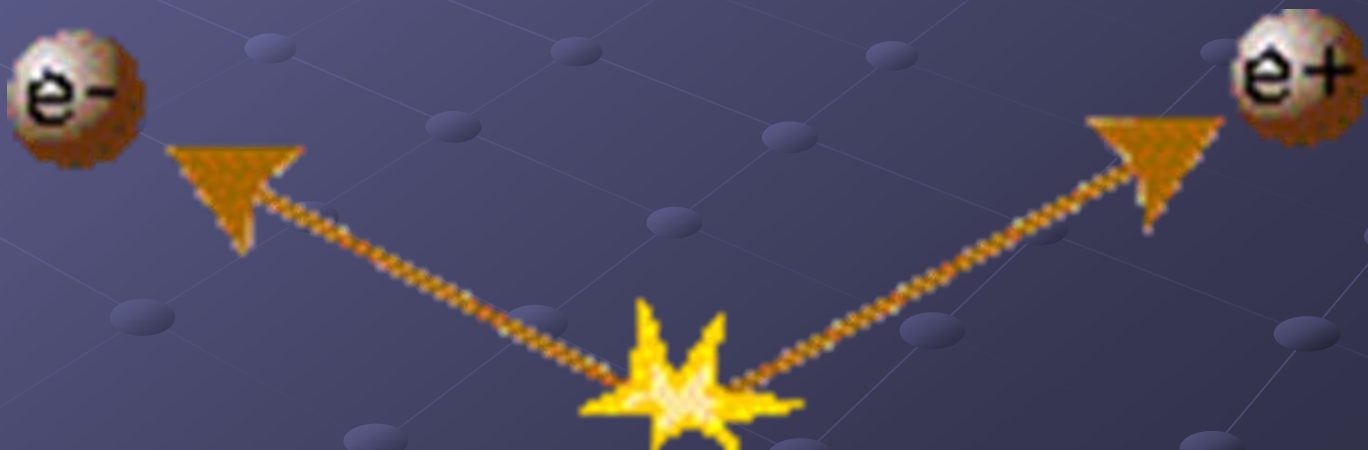
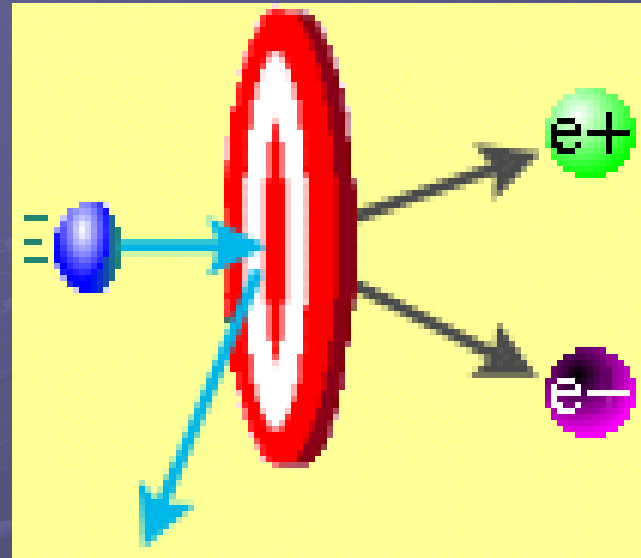
Przy spotkaniu się cząstki z jej antycząstką zachodzi ich anihilacja, polegająca na tym, że cząstka i antycząstka znikają, a kosztem ich energii spoczynkowych i kinetycznych powstają inne, lżejsze cząstki. Przy anihilacji elektronu i pozytonu wytwarzają się zazwyczaj dwa, czasem trzy fotony. później z fotonów mogą powstać inne cząstki i antycząstki. Anihilacja protonu z antyprotonem daje w wyniku kilka pionów.



Elektron i pozyton zderzają się i anihilują w wirtualny foton, z którego powstają dwie pary kwark-antykwarek (mezon D^+ składający się z kwarku powabnego i antykwarku dolnego oraz mezon D^- składający się z antykwarku powabnego i kwarku dolnego).

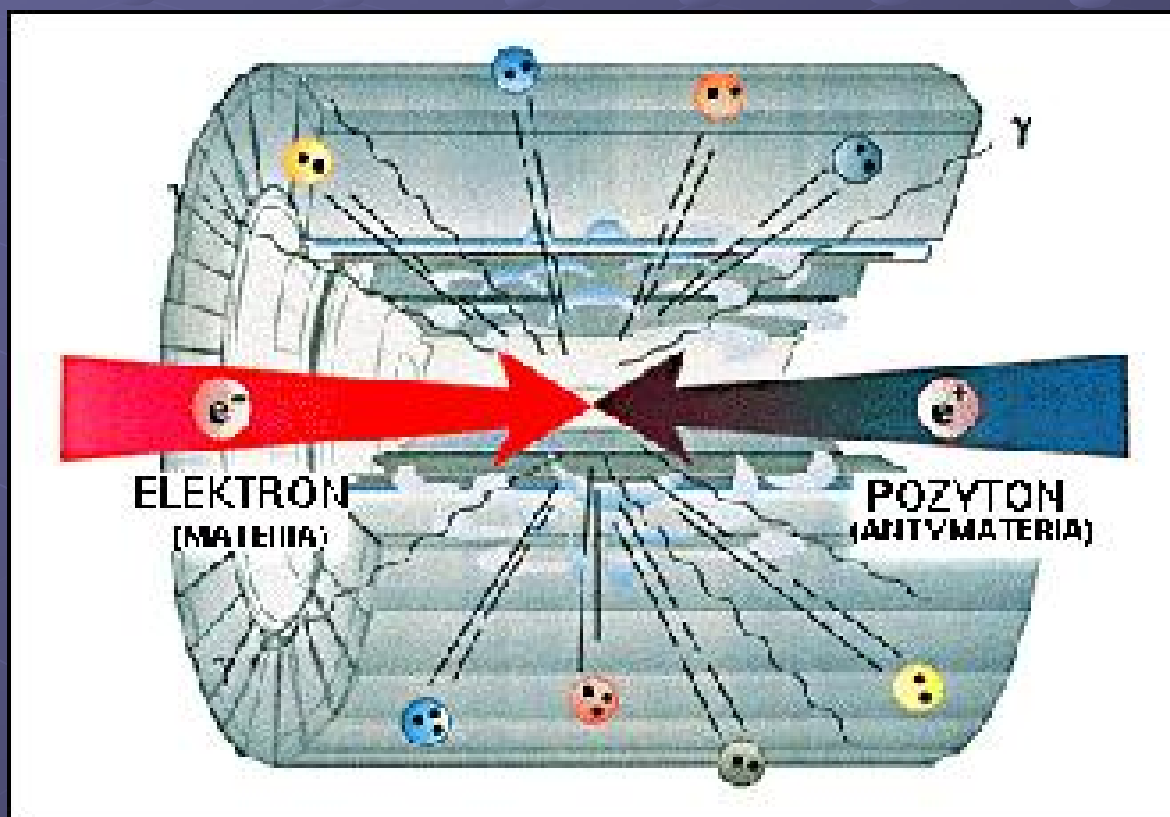


KREACJA



1995r – wytworzenie pierwszych antyatomów

Wielki zderzacz elektronowo-pozytonowy LEP

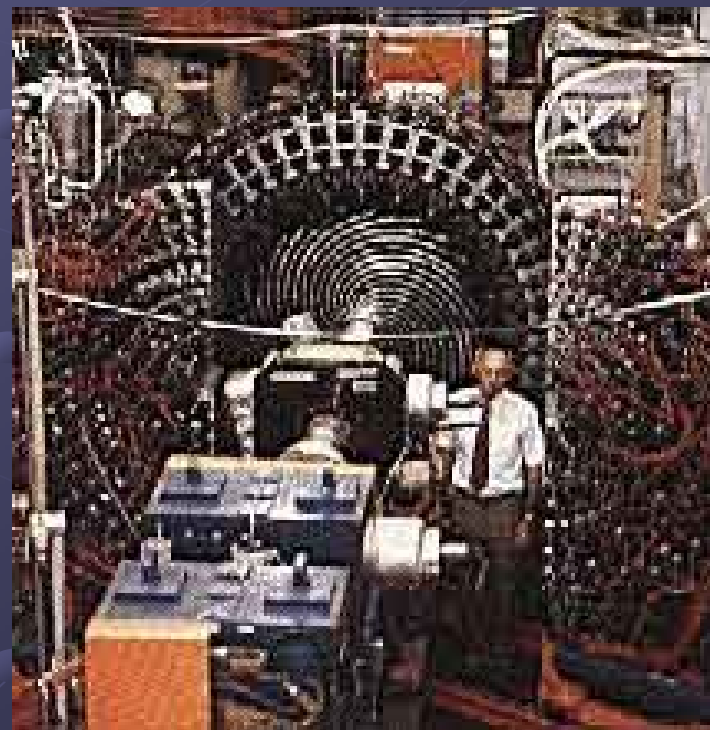


Pierwsze antyatomy zostały wytworzone w 1995 roku przez naukowców z europejskiego laboratorium fizyki cząstek elementarnych CERN pod Genewą.

W przeprowadzonym przez nich doświadczeniu wiązka antyprotonów, które krążyły w pierścieniu akceleratora, przecinała strumień atomów ksenonu. Od czasu do czasu dochodziło do zderzenia, w wyniku którego powstawała para elektron-pozyton, po czym pozyton odlatywał wraz z jednym z antyprotonów i wiązał się w nim w atom antywodoru.

Eksperymentatorzy wytworzyli dziewięć antyatomów poruszających się z prędkością bliską prędkości światła.

W 1998 wytworzono 57 antyatomów.





Szybko poruszająca się antymateria jest jednak praktycznie bezużyteczna. Chcąc dokładnie zbadać antyatomy, fizycy muszą przechowywać je w urządzeniach zwanych pułapkami atomowymi, co staje się możliwe dopiero po spowolnieniu cząstek i ochłodzeniu ich do temperatury poniżej 0,5K

Cel badań antycząstek:

- Zweryfikowanie tzw. twierdzenia o symetrii CPT

CPT

C - sprzężenie ładunkowe (charge) → czyli zamiana cząstek na antycząstki i odwrotnie

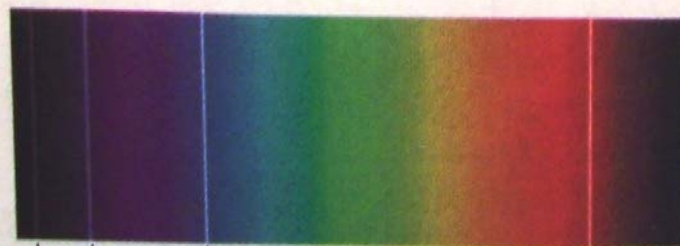
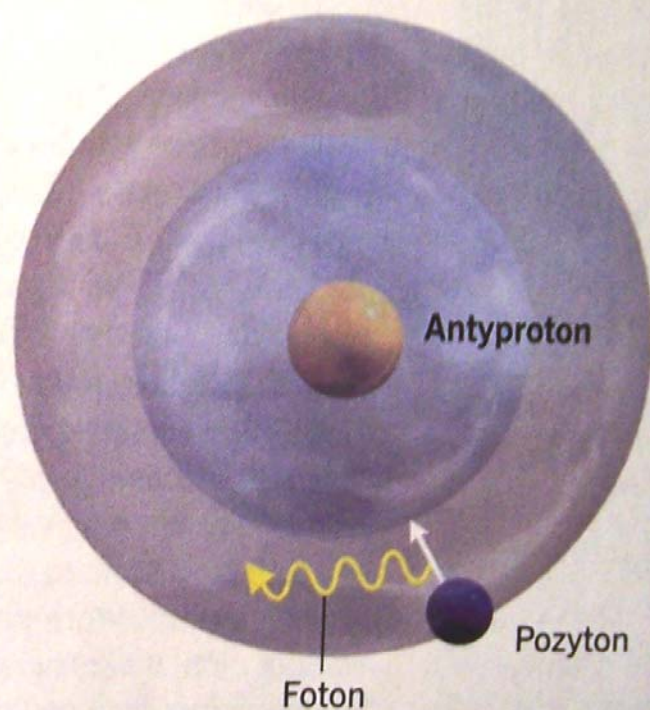
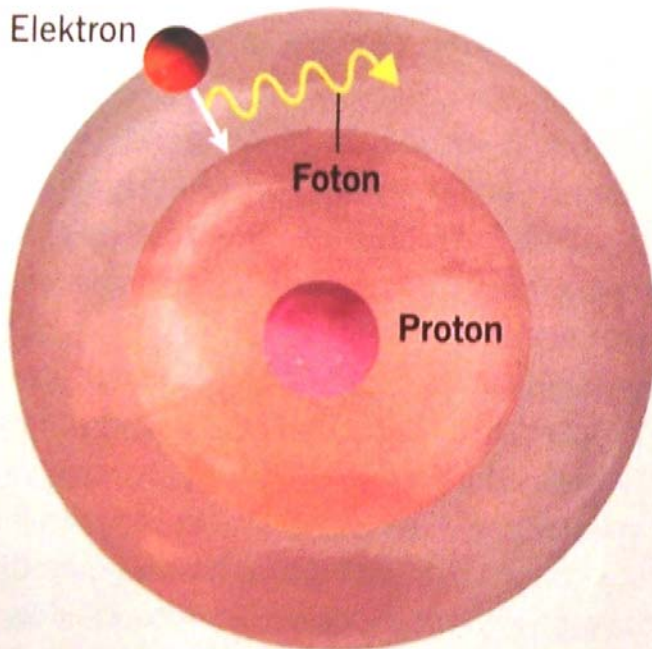
P - parzystość → odbicie w przestrzeni (zwierciadlane)

T – odwrócenie czasu

Doświadczenia z antymaterią

Wodór

Antywodór



Długość fali (nanometry)

CPT Symmetric Situation

Apple



G



Earth

Anti-Apple



G



Anti-Earth

Not:

Anti-Apple



G

?



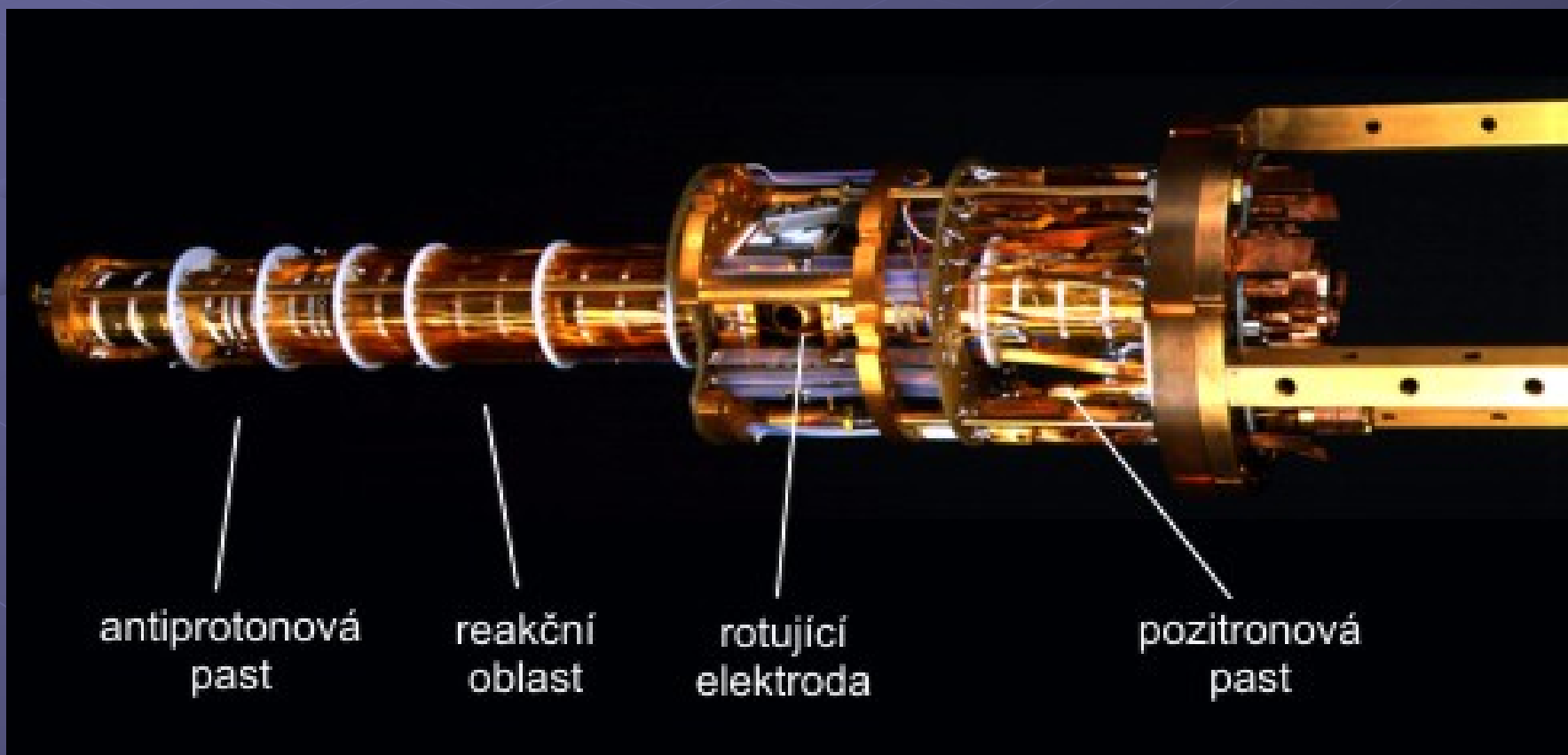
Earth

Niezmienniczość CPT oznacza, że odtwarzanego od końca i oglądanego w lustrze filmu o antycząstkach nie potrafilibyśmy odróżnić od rzeczywistości.

Gdyby właściwości antycząstek występujących w takim „antyfilmie” różniły się choćby w najmniejszym szczególe od obserwowanych właściwości cząstek, oznaczałoby to łamanie symetrii CPT.

Eksperyment TRAP

- Porównanie właściwości protonów i antyprotonów z bardzo dobrą dokładnością



Antywodór

pozytony

antyprotony

Jako źródło pozytonów fizycy z CERN wykorzystują promieniotwórczy sód 22.

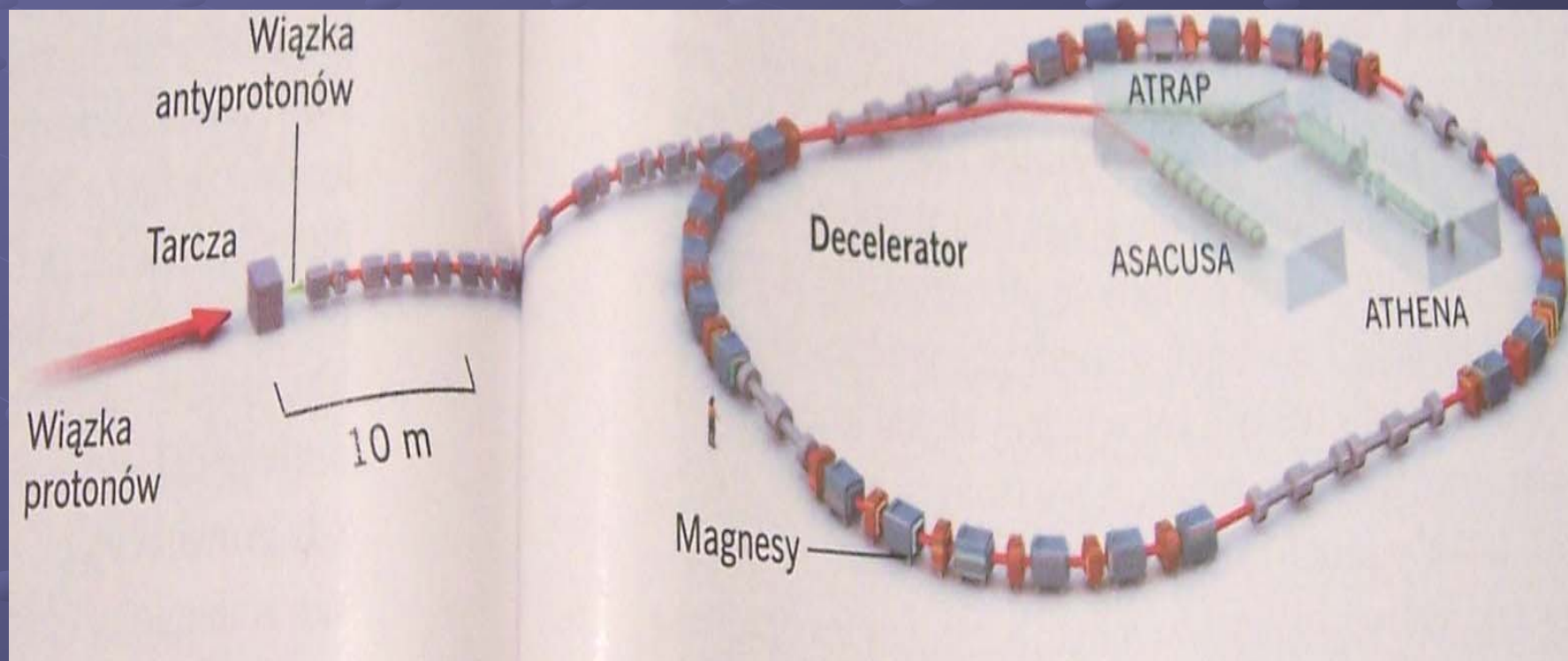


Gram tego izotopu wytwarza 2×10^{14} pozytonów na sekundę. Pozytony te mają jednak energię 550 keV, która odpowiada prędkości równej prawie dziewięciu dziesiętnym prędkości światła i temperaturze 6×10^9 stopni Kelvina.

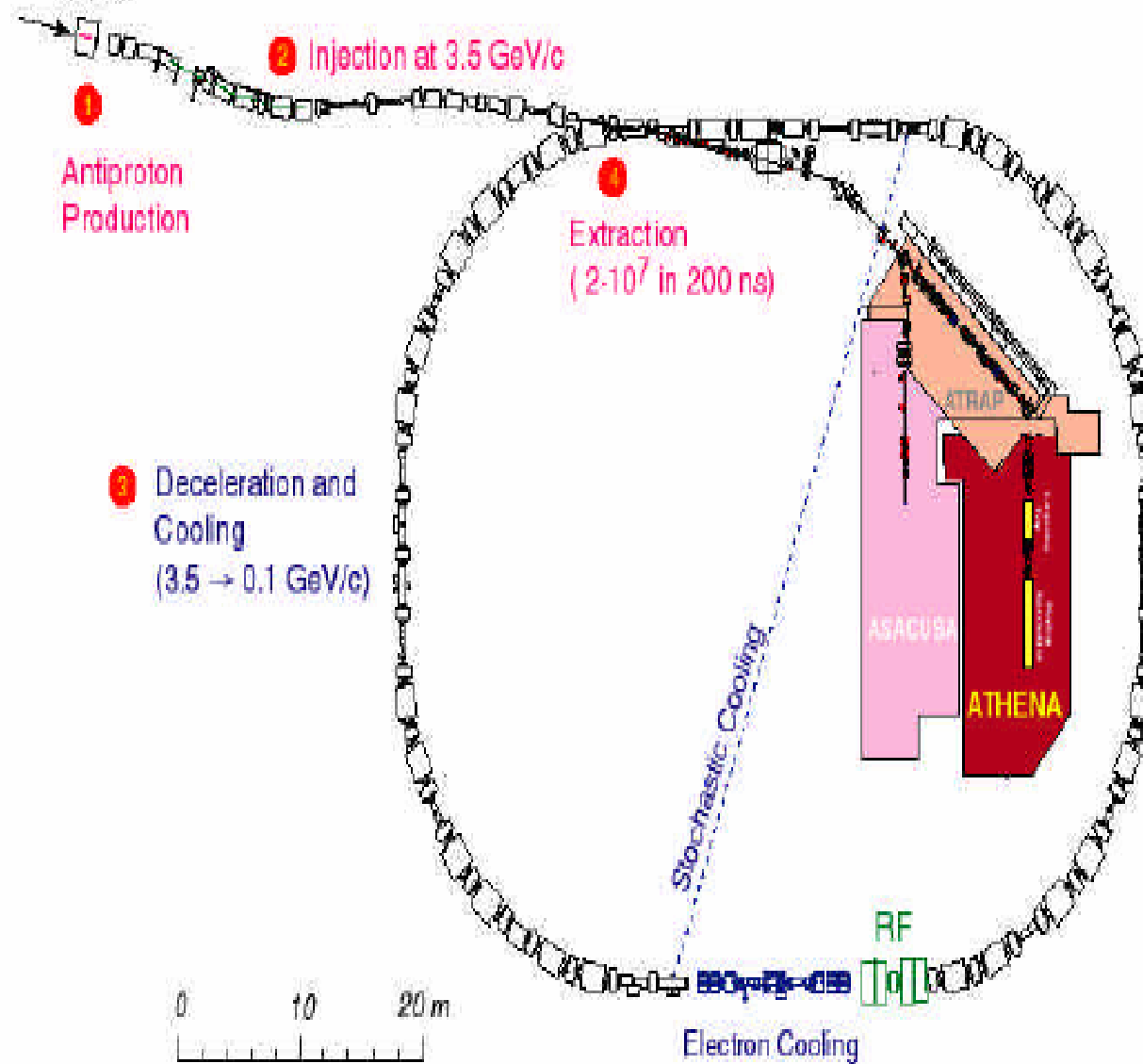


Wytwarzanie i wykrywanie chłodnego antywodoru

Decelerator Antyprotonowy



From PS: $1.5 \cdot 10^{13}$ protons/bunch,
28 GeV

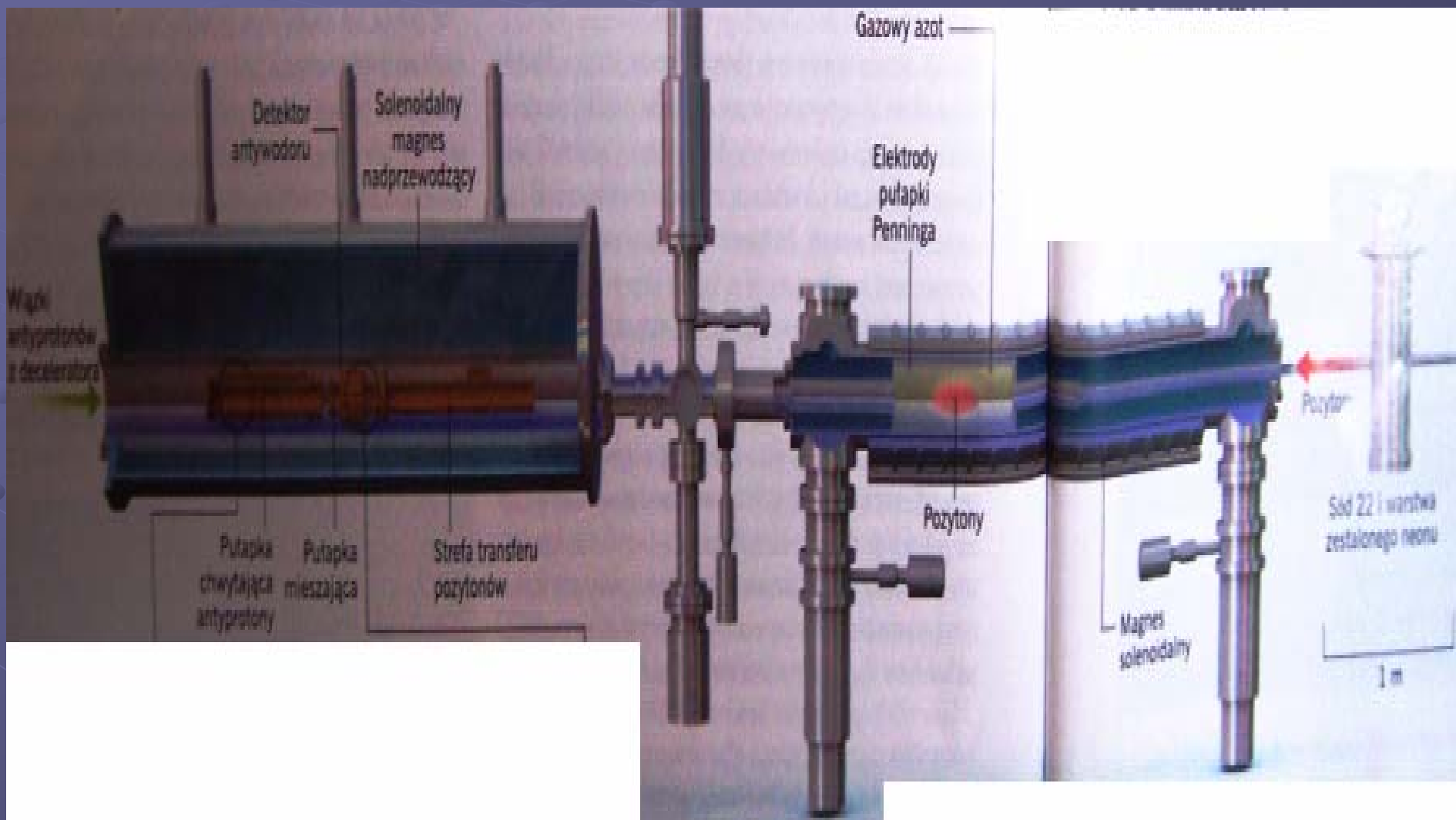


W ciągu pięciu minut zespół ATHENA zbiera 75mln pozytonów i za pomocą pól elektrycznych oraz magnetycznych zamyka je w wysokopróżniowej pułapce Penninga.

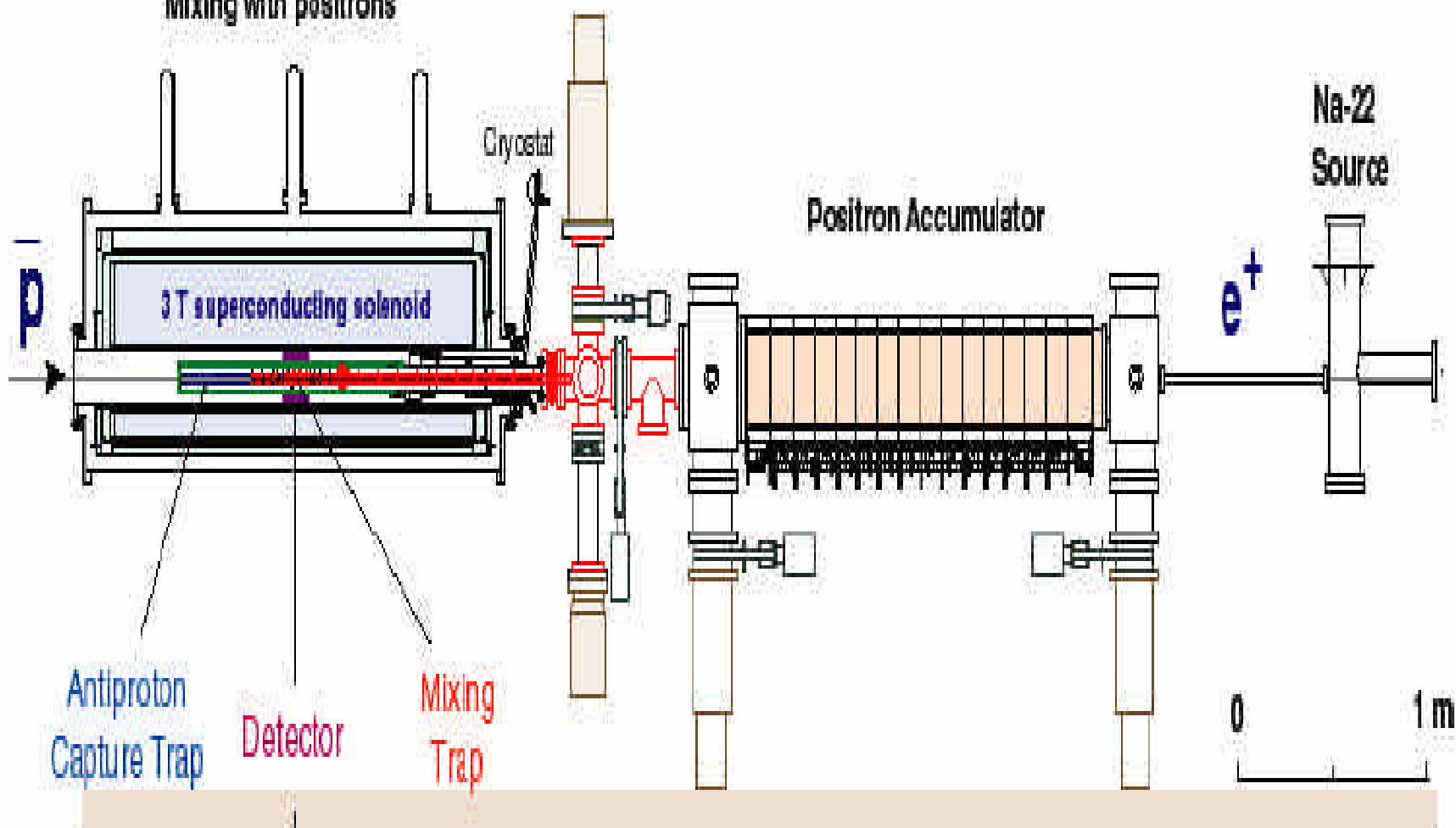
Pułapka w eksperymencie ATRAP mieści około 5mln pozytonów.

Obie pułapki są na tyle szczelne, że przez godzinę udaje się z nich uciec tylko nielicznym cząstkom.

Łapacz antyprotonów i pułapka mieszająca



Antiproton Accumulation +
Mixing with positrons

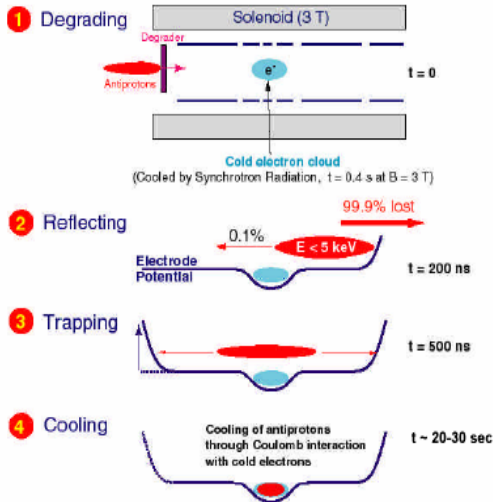


Jak działa łapacz antyprotonów??



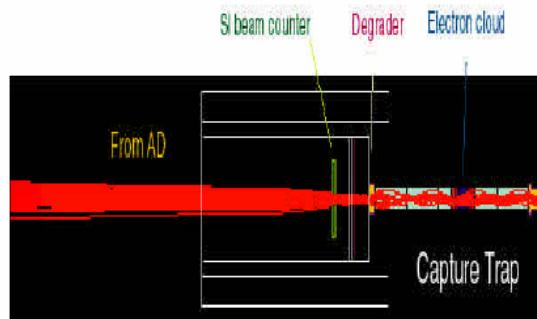
Antiprotons - Capture and Cooling

5.0 MeV antiproton bunch ($2 \cdot 10^7$) from AD

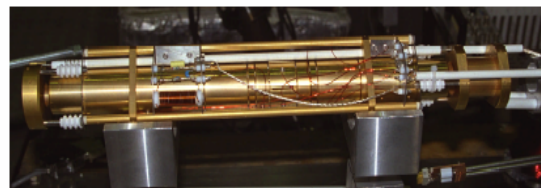


5. Transfer to mixing trap:

10,000 cold antiprotons / AD shot

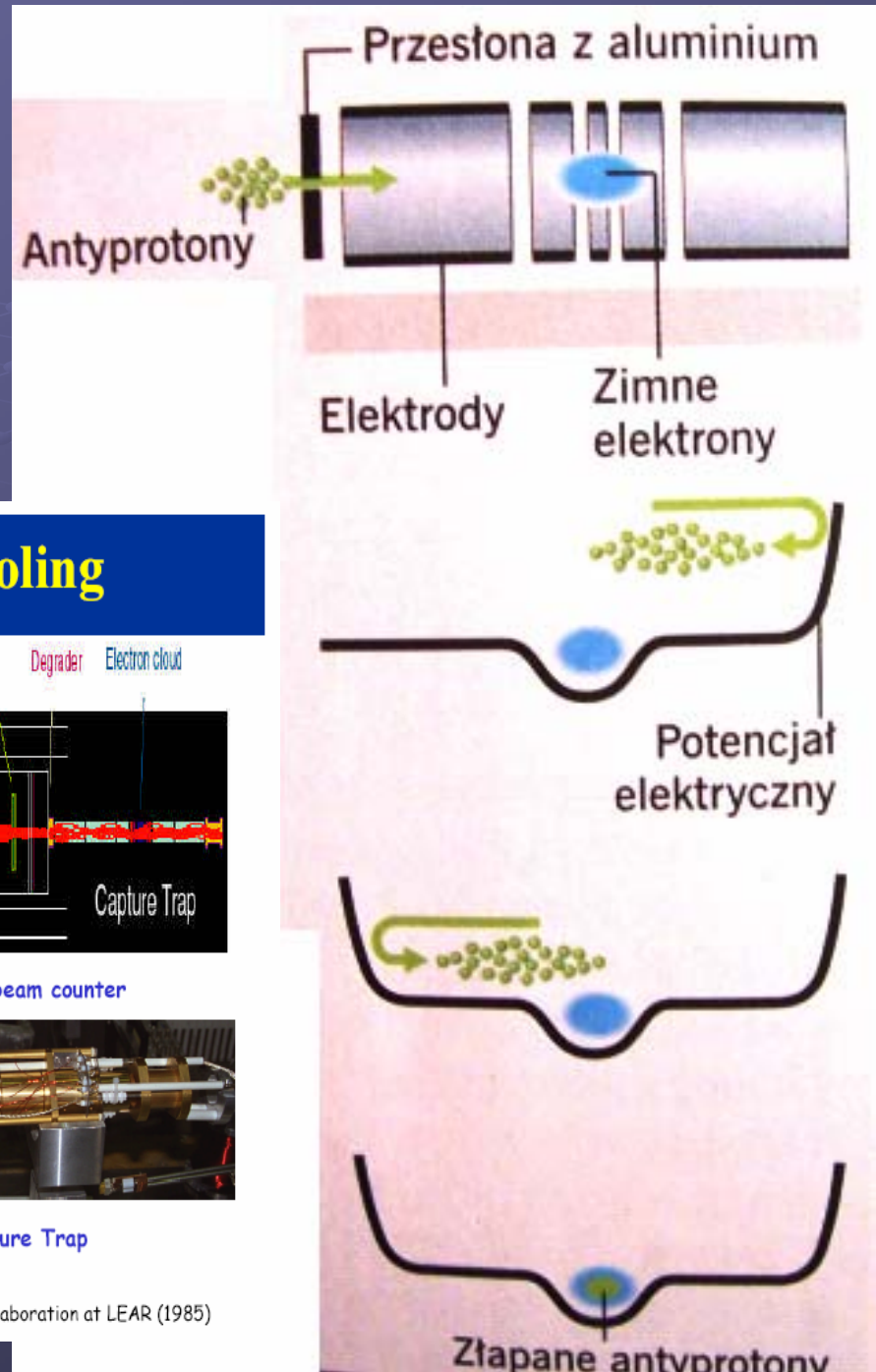


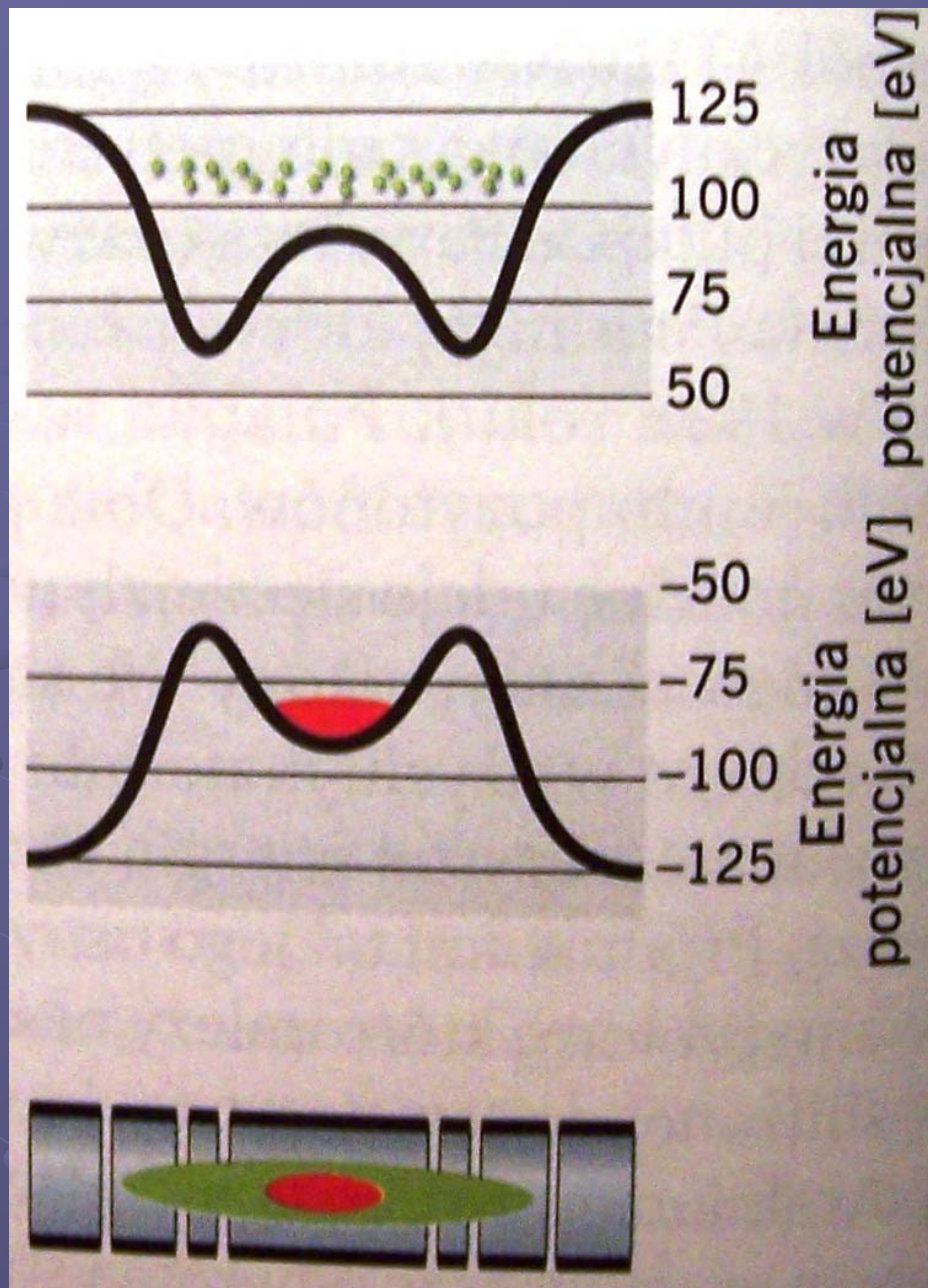
Segmented Si (67μ) beam counter



Antiproton Capture Trap

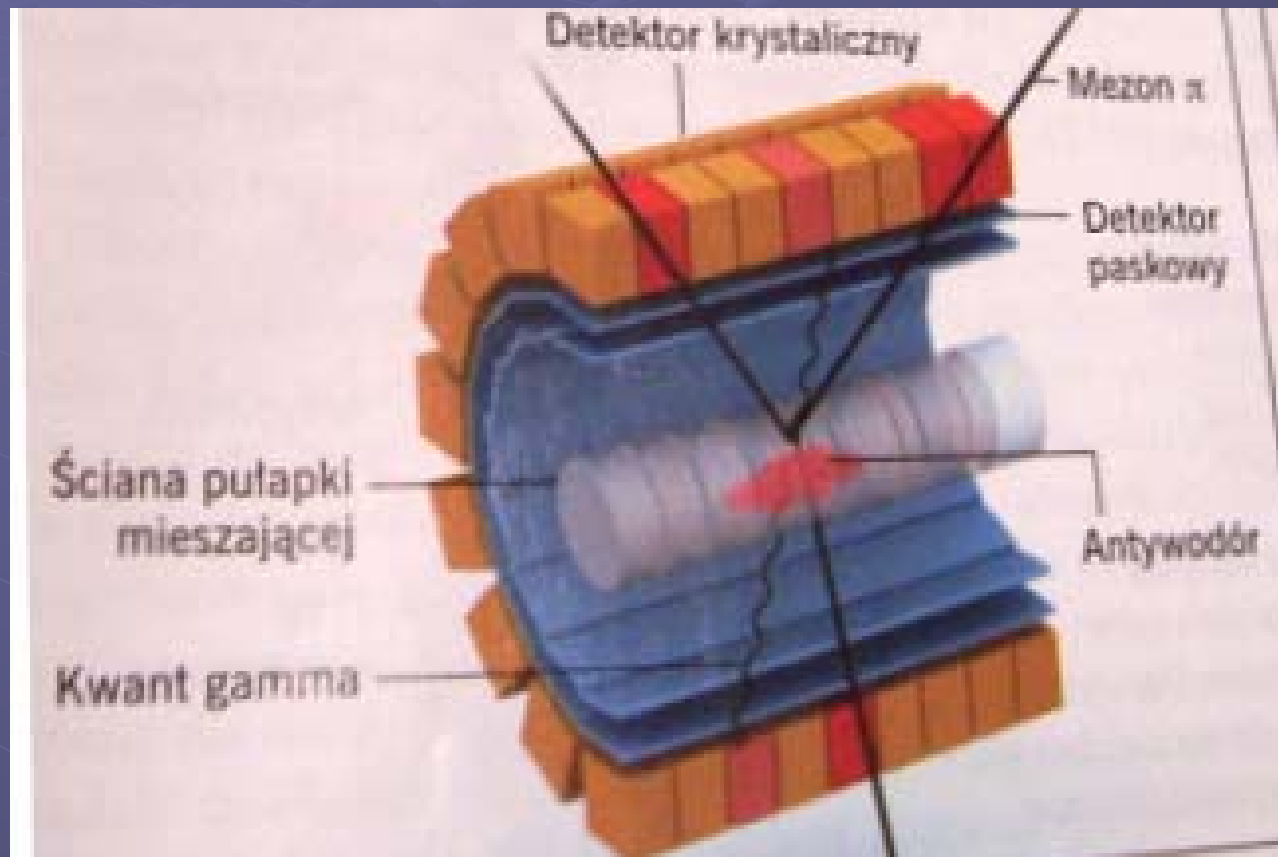
Technique developed by TRAP collaboration at LEAR (1985)





Jak działa
zagnieżdżona
pułapka
mieszająca??

Jak działa detektor??



Technika umożliwiająca jednoczesne pułapkowanie cząstek o różnych polaryzacjach została po raz pierwszy zastosowana w 1988 roku przez Gabrielse'a i jego współpracowników.

Polegało to na umieszczeniu płytkiej pułapki na cząstki o danej polaryzacji wewnątrz głębokiej pułapki na cząstki o polaryzacji przeciwnej.

Cząstka uwięziona w zewnętrznej pułapce „widzi” ją jako głęboką studnię z dnem wybrzuszonym jako spód butelki.

Dla cząstek o przeciwnym ładunku studnia zamienia się w wulkan z kraterem, w którym są uwięzione.

We wnętrzu krateru mogą się więc znajdować oba rodzaje cząstek.

Cząstki znajdujące się w kraterze zderzają się ze sobą chaotycznie i niekiedy w wyniku kolizji jeden z pozytonów zaczyna poruszać się w tym samym kierunku co jeden z antyprotonów, a do tego w niewielkiej od niego odległości.

Składniki takiej pary niemal natychmiast zaczynają się kręcić wokół siebie i powstaje atom antywodoru.

Problemy w trakcie otrzymywania antywodoru

-trzeba je zaobserwować i udowodnić, że rzeczywiście istnieją

-trzeba się z tym śpieszyć, ponieważ elektrycznie obojętne atomy antywodoru nie są już otrzymywane w pułapce przez pola elektryczne i magnetyczne, lecz wylatują z niej z taką prędkością, jaką miały w chwili powstania (pojedyncze antyprotony mogą dawać fałszywy sygnał podobny do tego, jaki dają całe antyatomy)

Zespół ATRAP stosuje pomysłową metodę, dzięki następuje całkowita eliminacja tego właśnie tła.

Eksperymentatorzy zliczają jedynie te atomy antywodoru, które poruszają się dokładnie wzdłuż osi cylindra i w których pozyton i antyproton są słabo ze sobą związane.

W 2004 roku zespół ATRAP uzyskał informację o prędkościach atomów antywodoru (a więc o ich temperaturze).

Wyniki:

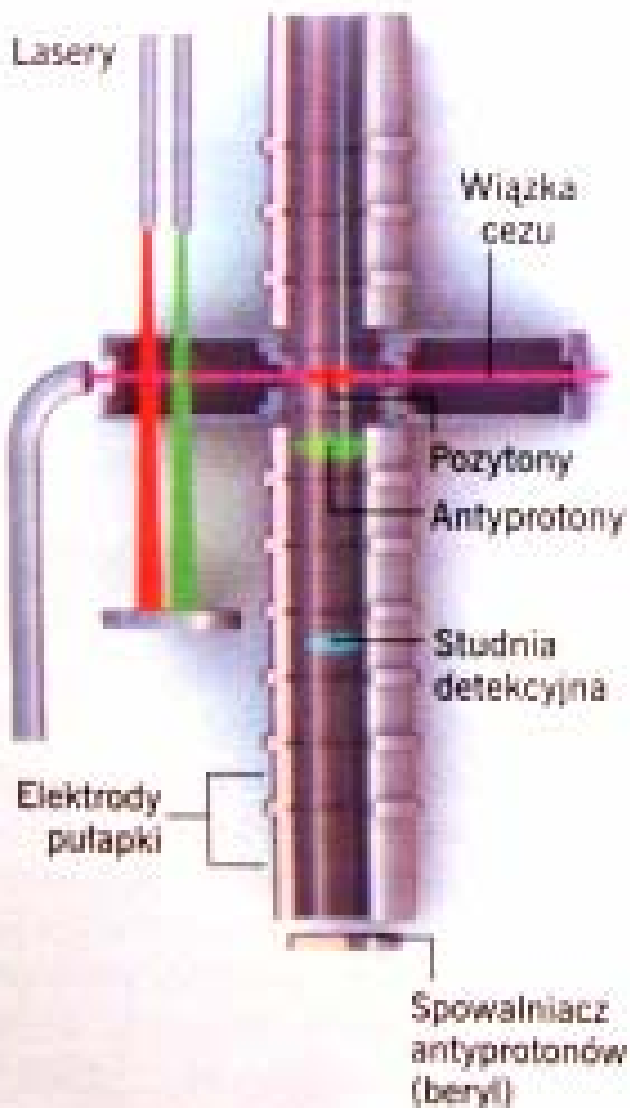
- Wytworzone i zaobserwowane atomy miały temoeraturę 2400 K
- znacznie wyższą niż elementy pułapki, które schłodzono ciekłym helem do temperatury 4,2K

Aby przeprowadzić szczegółową spektroskopię antyatomów, trzeba je schodzić co najmniej do 0,5K. Dopiero wtedy można je złapać w pułapkę dla swobodnych atomów i zbadać w jaki sposób pochłaniają światło laserowe o różnych częstościach.

**Dążąc do wytworzenia niskotemperaturowych
antyatomów zespół ATRAP opracował metodę
kontrolowanej laserowo produkcji antywodoru.**

**Nie stosuje się w niej zagnieżdżonych pułapek a
pozytony i antyprotony są utrzymywane w
sąsiadujących ze sobą, lecz oddzielnych studniach
potencjału.**

PRODUKCJA KONTROLOWANA LASEROWO

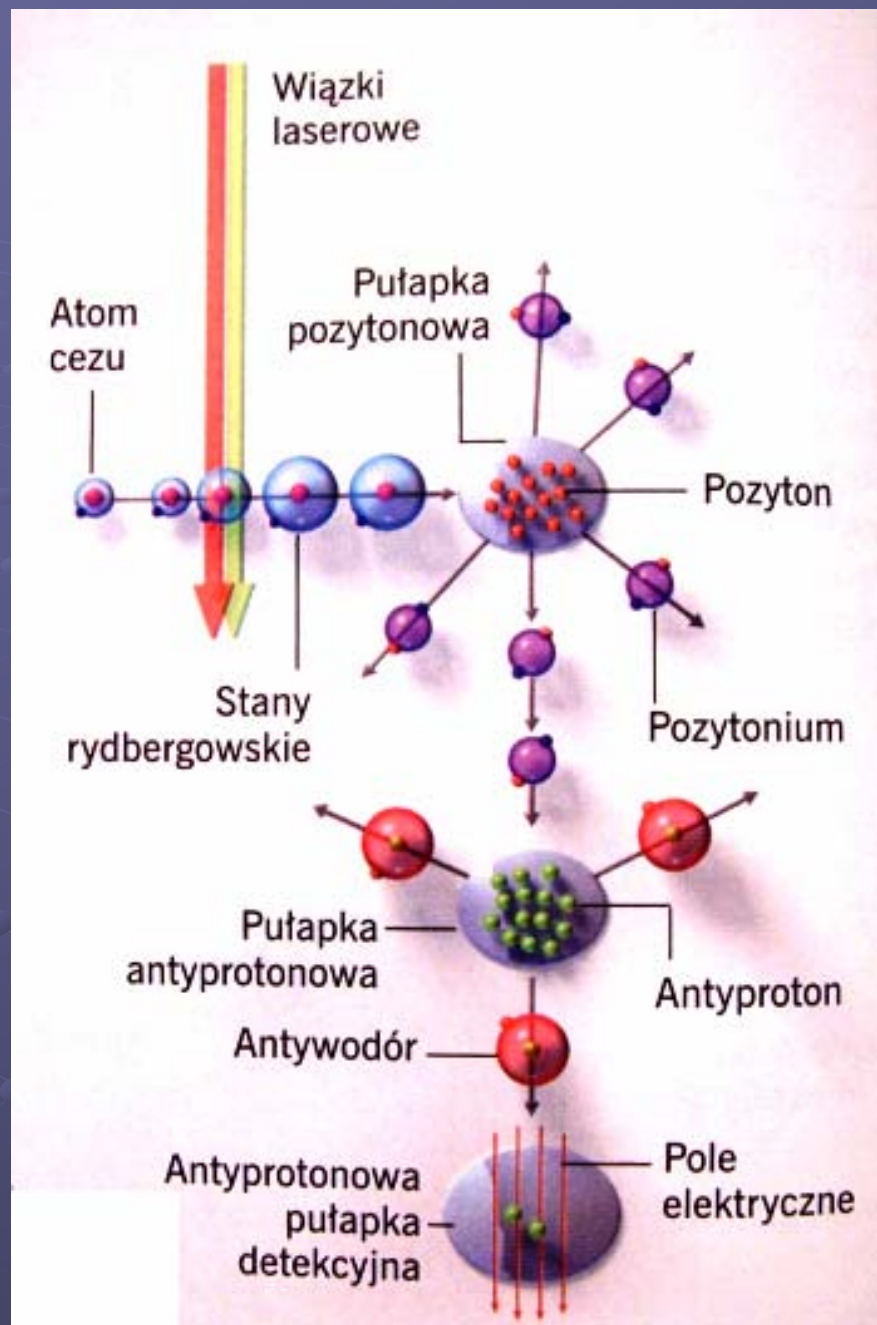


Atomy cezu przelatują przez wiązkę laserową o odpowiednio dobranych parametrach, która wzbudza je do rozdętych stanów rydbergowskich.

Zamknięte w pułapce pozytony wyłapują wzbudzone elektrony z atomów cezu i wiążą się z nimi. Powstają w ten sposób obojętne elektrycznie pozytonia w stanie rydbergowskim, które uciekają z pułapki we wszystkich kierunkach.

Część pozytoniów wpada do pułapki antyprotonowej, gdzie antyprotony wyłapują pozytony i wiążą się z nimi w atomy antywodoru, które uciekają z pułapki we wszystkich kierunkach.

Część antyatomów wpada do kolejnej pułapki antyprotonowej, gdzie silne pole elektryczne „obdziera je” z pozytonów. Wykryte przypadki anihilacji antyprotonów dowodzą, że atomy antywodoru rzeczywiście zostały wyprodukowane.



Obecnie najważniejszym wyzwaniem dla zespołów badawczych jest obecnie produkcja antyatomów, które nadawałyby się do badań spektroskopowych.

Takie antyatomy nie tylko powinny być schłodzone do temperatury co najmniej 0,5K (aby można było je utrzymać w pułapce magnetycznej) , lecz także muszą znajdować się w stanie podstawowym.

**Decelator Antyprotonowy pracuje
od maja do listopada więc w 2006
roku będą ponowne próby
zniewolenia złowrogiego bliźniaka
wodoru.**

Literatura

1) <http://livefromcern.web.cern.ch/livefromcern/antimatter/kids/AM-kids02-c.html>

2) <http://www.fizyka.net.pl>

3) Świat nauki – Lipiec 2005

4) Świat nauki – Październik 2004