

Podstawy fizyki cząstek

Jerzy Pryga¹

¹Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

8 marca 2024



Plan

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akseleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

1 Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

2 Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

3 Akseleratory cząstek

Po co?

Osiągi

4 Podsumowanie



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Rozdział 1. Z czego składa się materia?



Budowa materii – cząsteczki

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

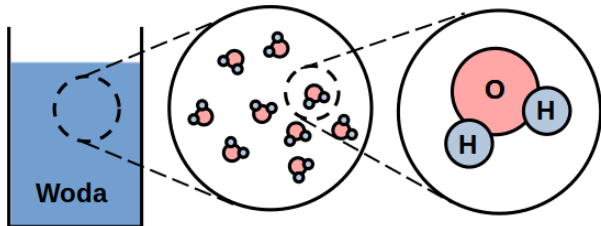
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Budowa materii – cząsteczki

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

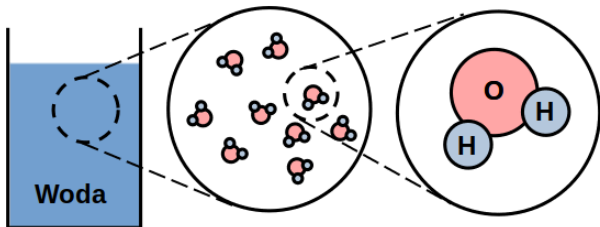
Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Cząsteczka wody – H_2O



Cząsteczka – inaczej molekuła, neutralna elektrycznie grupa dwóch lub więcej atomów utrzymywanych razem przez wiązanie chemiczne ($> 10^{-10}$ m).



Atomy – pierwiastki

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Układ okresowy pierwiastków chemicznych

1	2	13	14	15	16	17	18
1 1 H wodor 1,008	2 4 He hel 4,003						
3 3 Li lit 6,941	4 4 Be beryl 9,012	5 5 B bor 10,811	6 6 C węgiel 12,011	7 7 N azot 14,007	8 8 O tlen 15,999	9 9 F fluor 18,998	10 10 Ne neon 20,180
11 11 Na sód 22,990	12 12 Mg magnez 24,305	13 13 Al glin 26,982	14 14 Si krzem 28,085	15 15 P fosfor 30,974	16 16 S siarka 32,065	17 17 Cl chlor 35,453	18 18 Ar argon 39,948
19 19 K potas 39,098	20 20 Ca wapń 40,078	21 21 Sc skand 44,956	22 22 Ti tytan 47,867	23 23 V wanad 50,942	24 24 Cr chrom 51,996	25 25 Mn mangan 54,938	26 26 Fe żelazo 55,845
27 27 Co kobalt 58,933	28 28 Ni nikiel 58,693	29 29 Cu miedź 63,546	30 30 Zn cynk 65,39	31 31 Ga gal 69,723	32 32 Ge german 72,61	33 33 As arsen 74,922	34 34 Se selen 78,96
35 35 Br brom 79,904	36 36 Kr krypton 83,798	37 37 Rb rubid 85,468	38 38 Sr stront 87,62	39 39 Y cytryn 88,906	40 40 Zr cykon 91,224	41 41 Nb niob 92,906	42 42 Mo molibden 95,94
43 43 Tc technet 97,905	44 44 Ru ruten 101,07	45 45 Rh rod 102,906	46 46 Pd pallad 106,42	47 47 Ag srebro 107,868	48 48 Cd kadm 112,411	49 49 In ind 114,818	50 50 Sn cyna 118,710
51 51 Sb antymon 121,760	52 52 Te tellur 127,60	53 53 I jod 126,904	54 54 Xe ksenon 131,293	55 55 Cs cez 132,905	56 56 Ba bar 137,327	57 57 La lantan 138,905	58 58 Ce cer 140,12
59 59 Pr praseodym 140,908	60 60 Nd neodym 144,242	61 61 Pm promet 144,913	62 62 Sm samar 150,36	63 63 Eu europ 151,964	64 64 Gd gadolin 157,25	65 65 Tb terb 158,925	66 66 Dy dysproz 162,50
67 67 Ho holm 164,930	68 68 Er erb 167,259	69 69 Tm tul 168,934	70 70 Yb iterb 173,04	71 71 Lu lutet 174,967	72 72 Hf hafn 178,49	73 73 Ta tantal 180,948	74 74 W wolfram 183,84
75 75 Re ren 186,207	76 76 Os osm 190,23	77 77 Ir iryd 192,217	78 78 Pt platyna 195,084	79 79 Au złoto 196,967	80 80 Hg rtęć 200,59	81 81 Tl tal 204,383	82 82 Pb ołow 207,2
83 83 Bi bismut 208,980	84 84 Po polon 209,982	85 85 At astat 209,987	86 86 Rn radon 222,018	87 87 Fr frans 223,020	88 88 Ra rad 226,025	89 89 Ac aktywny 227,028	90 90 Th tor 232,038
91 91 Pa protaktyn 231,036	92 92 U uran 238,029	93 93 Np neptun 237,048	94 94 Pu pluton 244,064	95 95 Am ameryk 243,061	96 96 Cm kuri 247,070	97 97 Bk berkel 247,070	98 98 Cf kaliforn 251,080
99 99 Es einstein 252,083	100 100 Fm ferm 257,095	101 101 Md mendelew 258,10	102 102 No nobel 259,10	103 103 Lr lorensa 262,11	104 104 Rf rutherford 261,11	105 105 Db dubn 268,10	106 106 Sg seaborg 269,10
107 107 Bh boh 264,10	108 108 Hs has 269,10	109 109 Mt meitner 268,10	110 110 Ds darmstadt 281,10	111 111 Rg roentgen 280	112 112 Cn kopernik 285	113 113 Nh nihilium 284	114 114 Fl flerowium 289
115 115 Mc moscovium 288	116 116 Lv livermorium 292	117 117 Ts tennessa 294	118 118 Og oganeson 294	119 119 Uu unbinilium 289	120 120 Uub unbinilium 289	121 121 Uut unbinilium 289	122 122 Uuq unbinilium 289

elektryczność (wg Paulinga)

liczba atomowa (l. porządkowa)

masa atomowa, u

symbol pierwiastka chemicznego

nazwa pierwiastka chemicznego

metale	gazy
niemetale	ciecze

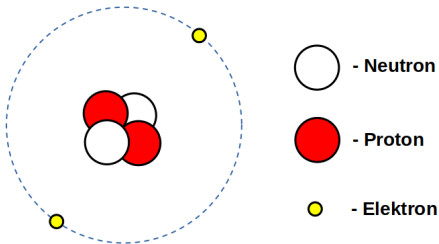
1,1 58 Ce cer 140,116	1,1 59 Pr praseodym 140,908	1,2 60 Nd neodym 144,242	1,2 61 Pm promet 144,913	1,2 62 Sm samar 150,36	1,0 63 Eu europ 151,964	1,1 64 Gd gadolin 157,25	1,2 65 Tb terb 158,925	1,2 66 Dy dysproz 162,50	1,2 67 Ho holm 164,930	1,2 68 Er erb 167,259	1,2 69 Tm tul 168,934	1,1 70 Yb iterb 173,04	1,2 71 Lu lutet 174,967
1,3 90 Th tor 232,038	1,5 91 Pa protaktyn 231,036	1,7 92 U uran 238,029	1,4 93 Np neptun 237,048	1,3 94 Pu pluton 244,064	1,0 95 Am ameryk 243,061	1,1 96 Cm kuri 247,070	1,2 97 Bk berkel 247,070	1,2 98 Cf kaliforn 251,080	1,2 99 Es einstein 252,083	1,2 100 Fm ferm 257,095	1,2 101 Md mendelew 258,10	1,2 102 No nobel 259,10	1,3 103 Lr lorensa 262,11

PIKADEMIA



Atom – co to?

Atom helu



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

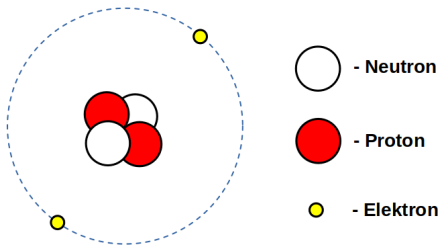
Osiągi

Podsumowanie



Atom – co to?

Atom helu



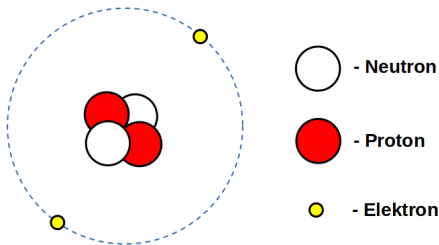
Jądro atomowe – protony i neutrony związane ze sobą oddziaływanie silnym ($\approx 10^{-15}$ m).

Chmura elektronowa – chmura elektronów utrzymywana wokół jądra przez oddziaływanie elektromagnetyczne ($\approx 10^{-10}$ m).



Atom – co to?

Atom helu



Proton (p) – ładunek dodatni $+1 e$.

Neutron (n) – brak ładunku, masa prawie identyczna jak proton.

Elektron (e) – ładunek ujemny $-1 e$, masa prawie 2000 razy mniejsza od protonu.



Atomy

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Atom – podstawowy składnik materii złożony z małego dodatnio naładowanego jądra o dużej gęstości i otaczającej go chmury elektronowej.

Jon – atom który ma niedomiar lub nadmiar elektronów w stosunku do protonów.



Proton i neutron – cząstki złożone

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

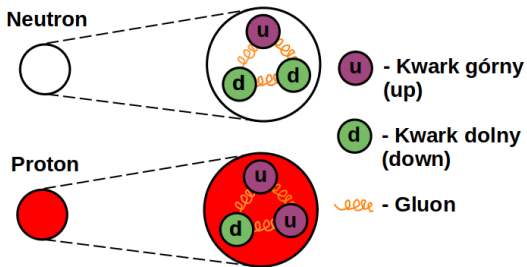
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Proton i neutron – cząstki złożone

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

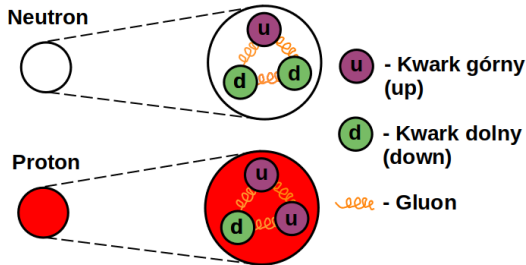
Jednostki energii

Akceleratorzy cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Kwarki – cząstki elementarne o ułamkowym ładunku: $u - +\frac{2}{3}$, $d - -\frac{1}{3}$.

Gluon – cząstka pośrednicząca w oddziaływaniu silnym.



Proton i neutron – cząstki złożone

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

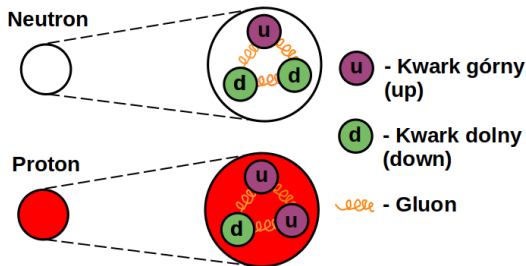
Jednostki energii

Akceleratorzy cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Cząstka subatomowa – składnik jądra atomowego, proton lub neutron.

Cząstka elementarna – niepodzielny składnik materii



Oddziaływania fundamentalne

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Nazwa	Bozony	Względna siła	Zależność od r	Zasięg [m]
Słabe	$W^{\pm}, Z^0$	10^{33}	$\sim \frac{1}{r} e^{-m_{W,Z} r}$	10^{-18}
Elektro–magnetyczne	fotony	10^{36}	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞
Silne	gluony	10^{38}	$\sim r$	10^{-15}
Grawitacyjne	?grawiton?	1	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞



Oddziaływania fundamentalne

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

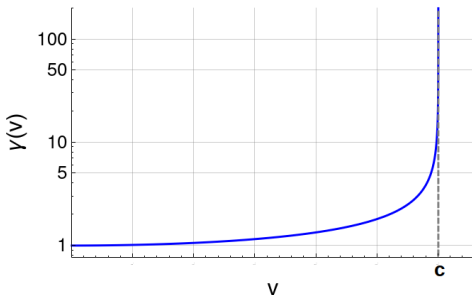
Nazwa	Bozony	Względna siła	Zależność od r	Zasięg [m]
Słabe	$W^{\pm}, Z^0$	10^{33}	$\sim \frac{1}{r} e^{-m_{W,Z} r}$	10^{-18}
Elektro–magnetyczne	fotony	10^{36}	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞
Silne	gluony	10^{38}	$\sim r$	10^{-15}
Grawitacyjne	?grawiton?	1	$\sim \frac{1}{r^2}$	∞

Pytania: Czy graviton istnieje? Czy to są jedyne istniejące oddziaływania? Dlaczego grawitacja jest tak słaba względem innych oddziaływań?...



Szczególna teoria względności

Szczególna teoria względności (STW) nakłada nam ograniczenia na prędkości cząstek posiadających masę.



$$E = mc^2$$



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

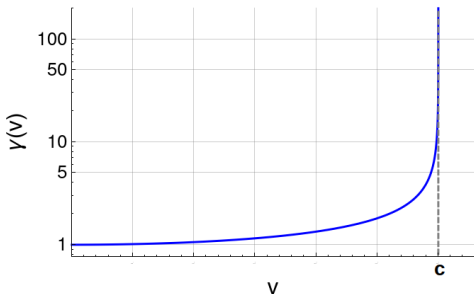
Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Szczególna teoria względności

Szczególna teoria względności (STW) nakłada nam ograniczenia na prędkości cząstek posiadających masę.



$$m = m(v) = \gamma(v)m_0, \quad \gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

Aby osiągnąć $v = c$ potrzebna by była nieskończona energia.



Prędkość światła

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Czy to dużo?

c – prędkość światła $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s.



Prędkość światła

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Czy to dużo?

c – prędkość światła $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s.

**W skali Ziemi:
TAK**

**W skali przestrzeni
kosmicznej:
NIE**



Prędkość światła

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Czy to dużo?

c – prędkość światła $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s.

W skali Ziemi:

TAK

Światło obiegloby Ziemię
wokół równika
(ok. 41 000 km) w około
0.1367 s.

**W skali przestrzeni
kosmicznej:**

NIE

Światło leci ze Słońca na
Ziemię
(ok. 150 000 000 km) w
około 8 min 20 s!
Odległość do najbliższej
gwiazdy (Alfa Centauri) to
ok. 4.37 ly.



Prędkość światła

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Czy to dużo?

c – prędkość światła $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s.

Patrząc na obiekty astrofizyczne dosłownie
patrzymy w przeszłość!



Szczególna teoria względności

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

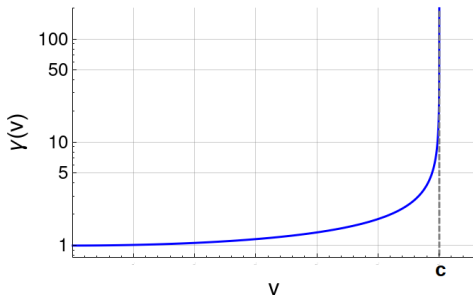
Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Zatem z prędkością światła mogą poruszać się tylko cząstki bezmasowe!



Co to za cząstki?



Promieniowanie elektromagnetyczne – spektrum

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

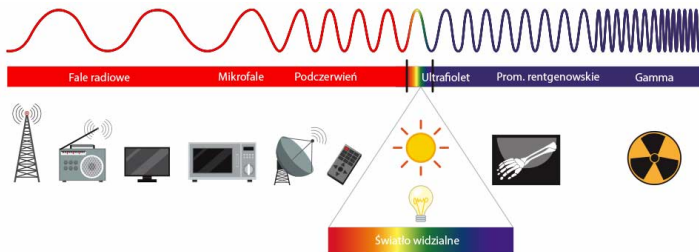
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Promieniowanie elektromagnetyczne – spektrum

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

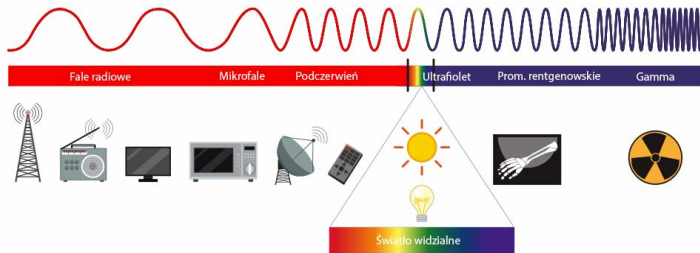
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Fala elektromagnetyczna – rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego.



Światło jako cząstka – foton

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

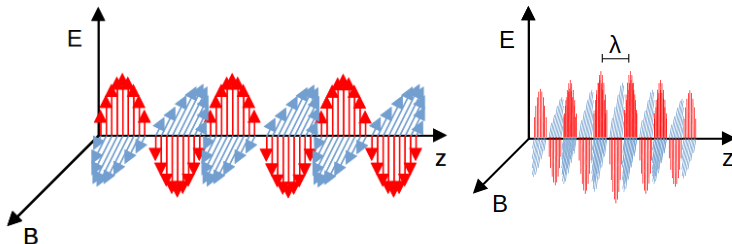
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



$$E = hf$$

h – stała Plancka = $6.626 \cdot 10^{-32}$ J/Hz.

f – częstotliwość [Hz].



Światło jako cząstka – foton

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

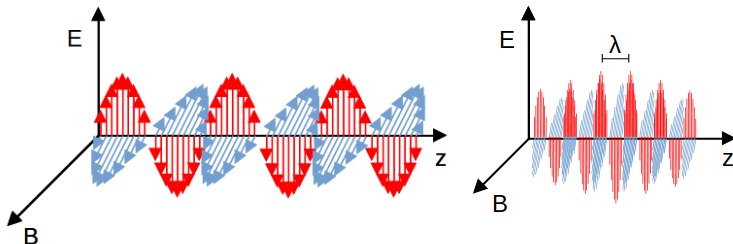
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Gdy λ jest bardzo małe ($< 10^{-10}$ m) często mówi się o fotonach, czyli cząstkach światła.



Powszechnie występujące cząstki

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

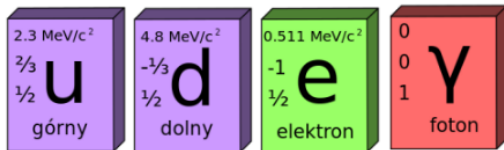
Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Cząstki



Powszechnie występujące cząstki

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

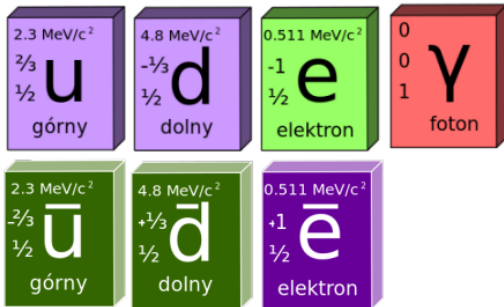
Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Cząstki



Antycząstki



Model Standardowy

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Fermiony			Bozony	
Kwarki	$2.3 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u górny	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c powabny	$173.5 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t szczytowy	Bozony cechowania
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d dolny	$95 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s dziwny	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b spodni	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ mion	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ taon	
Leptony	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e neutrino elektronowe	$<170 \text{ keV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ neutrino mionowe	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ neutrino taonowe	
			0 0 1 γ foton	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z^0 bozon Z
			0 0 1 g gluon	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 $W^\pm$ bozon W
			$126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 H^0 bozon Higgsa	
				Masa Ładunek Spin
	I	II	III	



Nagrody Nobla za odkrywanie cząstek

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

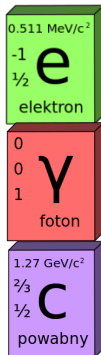
Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

- 1905 **Philipp Lennard** – "Za jego prace dotyczące promieni katodowych"
- 1918 **Max Planck** – "W uznaniu jego zasług, które oddał w rozwoju fizyki przez odkrycie kwantów energii"
- 1976 **Burton Richter, Samuel Ting** – "Za ich odkrycie ważnej, podstawowej cząstki elementarnej"
- 2008 **Makoto Kobayashi, Toshihide Masukawa** – "Za odkrycie podstaw złamania symetrii co umożliwiło przewidzenie istnienia co najmniej trzech rodzin kwarków"



Nagroda Nobla z fizyki 2013

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratorzy cząstek

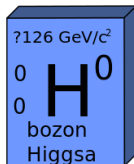
Po co?

Osiągi

Podsumowanie



François Englert



Peter W. Higgs

"Za teoretyczne odkrycie mechanizmu, który pomaga nam zrozumieć pochodzenie masy cząstek subatomowych, co zostało niedawno potwierdzone dzięki odkryciu postulowanej cząstki elementarnej podczas eksperymentów ATLAS i CMS przeprowadzonych w Wielkim Zderzaczu Hadronów w CERN"



Nagrody Nobla związane z cząstkami

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Można powiedzieć, że Nagród Nobla
związanych bezpośrednio z cząstkami
elementarnymi było łącznie **12**, a pośrednio
– **trudno policzyć!**



Model Standardowy

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Zalety:

- Dostarcza “tablicę Mendelejewa” cząstek elementarnych.
- Łączy oddziaływania elektromagnetyczne, słabe i silne.
- Wyjaśnia pochodzenie masy cząstek elementarnych.



Model Standardowy

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Zalety:

- Dostarcza “tablicę Mendelejewa” cząstek elementarnych.
- Łączy oddziaływania elektromagnetyczne, słabe i silne.
- Wyjaśnia pochodzenie masy cząstek elementarnych.

Wady:

- Ma wiele parametrów, których wartości są dobrane arbitralnie.
- Nie uwzględnia oddziaływań grawitacyjnych.
- Nie wyjaśnia dlaczego mamy przewagę materii nad antymaterią we Wszechświecie.
- Nie dostarcza wyjaśnienia dla zjawisk astrofizycznych, które rozwiązywało by istnienie ciemnej materii i ciemnej energii.



Ciemna energia i ciemna materia

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

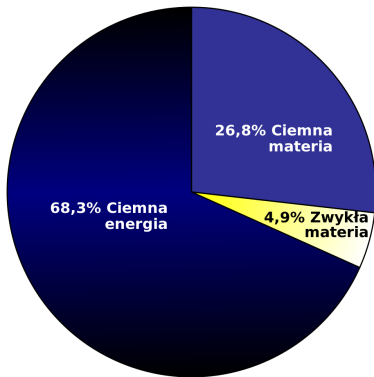
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie



Model standardowy opisuje jedynie zwykłą materię!



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Rozdział 2. Przyspieszanie cząstek



Siła Lorentza

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Siła działająca na ładunek q :

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}),$$

$\vec{E}$ – wektor natężenia pola elektrycznego,

$\vec{v}$ – wektor prędkości ładunku,

$\vec{B}$ – wektor indukcji pola magnetycznego,



Siła Lorentza

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

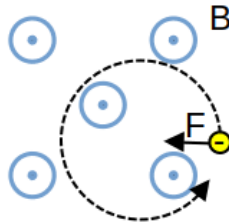
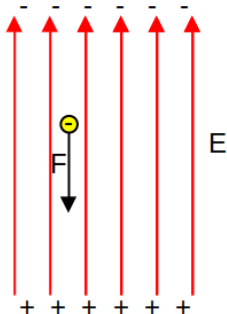
Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

α – kąt pomiędzy kierunkiem prędkości $\vec{v}$ a wektorem $\vec{B}$.



Emisja promieniowania

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

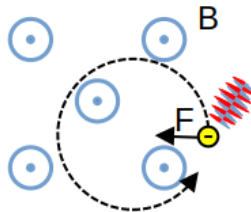
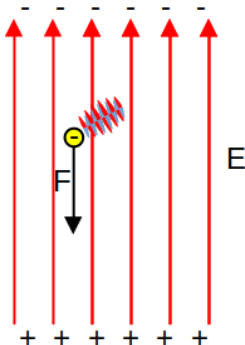
Akceleratorzy cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Każda cząstka naładowana, emituje promieniowanie (fale elektromagnetyczne/fotony) kiedy poddana jest przyspieszeniu.

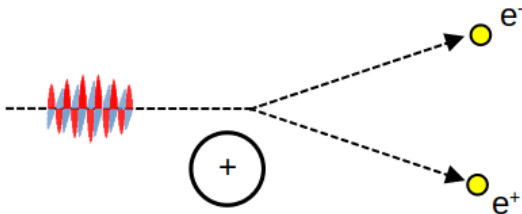


Produkcja par

Gdy energia fotonu spełnia warunek:

$$E \geq 2mc^2,$$

gdzie m to masa pewnego rodzaju cząstek, może wystąpić zjawisko produkcji par cząstka–antycząstka w wyniku oddziaływania fotonu z polem elektromagnetycznym.



Czym jest eV?

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

W fizyce atomowej i fizyce cząstek jako jednostkę energii stosuje się elektronowolty.

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Elektronowolt (eV) – energia jaką uzyska bądź straci elektron, przemieszczający się w próżni w polu elektrycznym o potencjale 1 V.



Czym jest eV?

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

W fizyce atomowej i fizyce cząstek jako jednostkę energii stosuje się elektronowolty.

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Przykłady:

- Energia fotonów UV: 3 - 10 eV.
- Energia spoczynkowa elektronu: 511 keV.
- Energia elektronu z rozpadu $^{40}\text{K} \approx 1.31 \text{ MeV}$.
- Energia fotonów z rozpadu ^{60}Co : 1.17 MeV i 1.33 MeV.



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Rozdział 3. Akceleratory cząstek



Eksperymenty

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

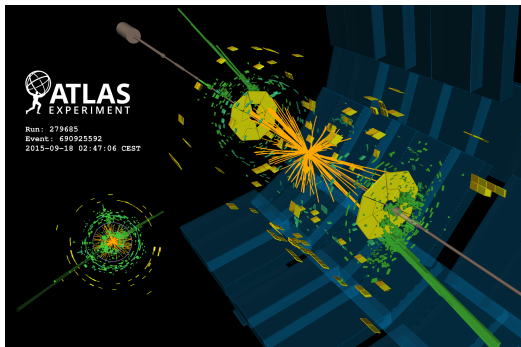
Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Eksperymenty w fizyce cząstek polegają głównie na zderzaniu ze sobą cząstek o bardzo dużej energii i sprawdzaniu co się stanie.

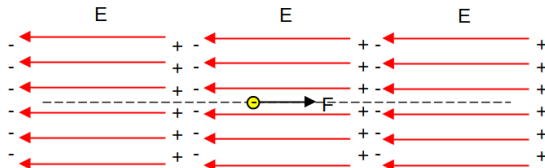


W teorii są proste.
W praktyce niekoniecznie!

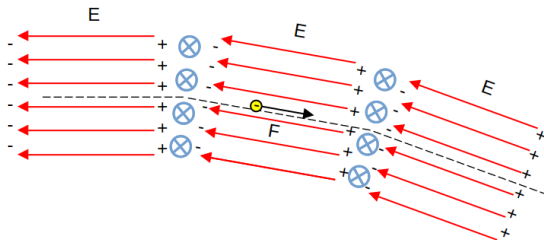


Typy akceleratorów

Liniowe



Kołowe



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

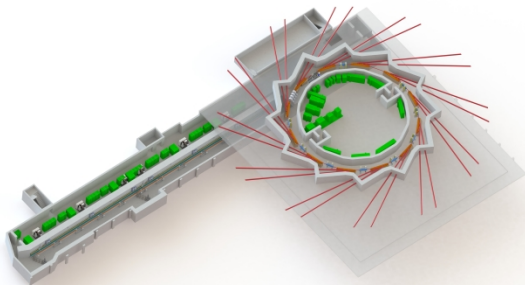
Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Akceleratory kołowe – Polska

Synchrotron Solaris – Kraków, Ruczaj (średnica ok. 30 m)



Produkuje wysokoenergetyczne fotony
do celów naukowych



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

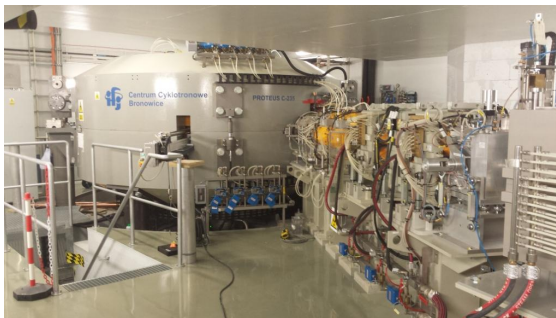
Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Akceleratory kołowe – Polska

Cyklotron Proteus – Kraków, Bronowice



Produkuje wiązki protonów wykorzystywanych do celów naukowych oraz leczenia nowotworów



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Akceleratory kołowe – CERN

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

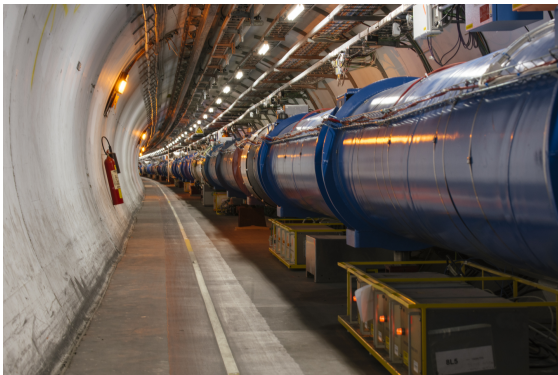
Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

LHC – Large Hadron Collider
(średnica ok. 27 km)



Akceleratory kołowe – CERN

LHC – Large Hadron Collider
(średnica ok. 27 km)

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

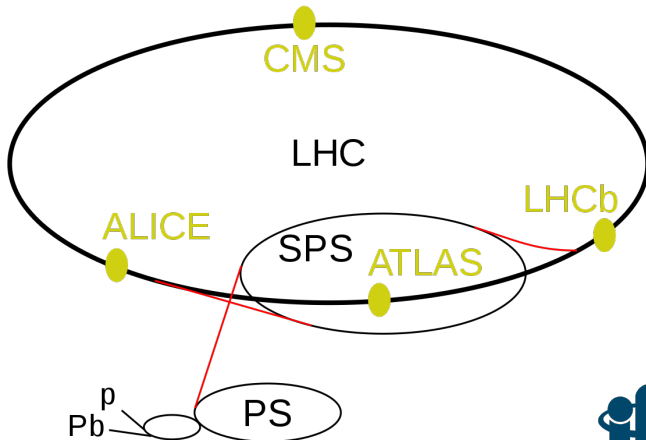
Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie



Osiągi

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Najwyższa energia zderzenia par protonów uzyskana w
LHC w CERNie:
 $E = 13.6 \text{ TeV}$



Osiągi

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

Najwyższa energia zderzenia par protonów uzyskana w
LHC w CERNie:

$$E = 13.6 \text{ TeV}$$

**To wciąż niewiele w porównaniu z promieniowaniem
kosmicznym!**



Osiągi

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Najwyższa energia zderzenia par protonów uzyskana w
LHC w CERNie:

$$E = 13.6 \text{ TeV}$$

**To wciąż niewiele w porównaniu z promieniowaniem
kosmicznym!**

Najwyższa zaobserwowana energia pojedynczego protonu
promieniowania kosmicznego:

$$E \approx 10^8 \text{ TeV}$$



Akceleratory a promieniowanie kosmiczne

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna
Fotony

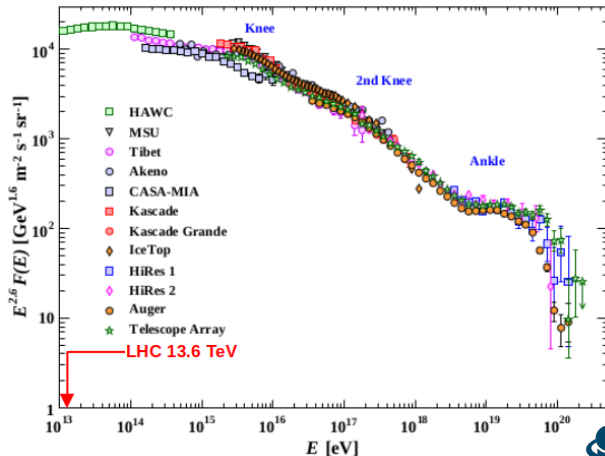
Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie



Naturalne akceleratory

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

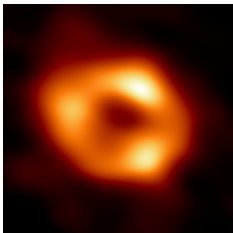
Akceleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

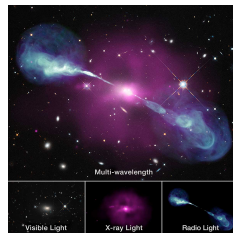
Czarne dziury



Supernowe



Aktywne galaktyki



Eksperymenty przy LHC

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

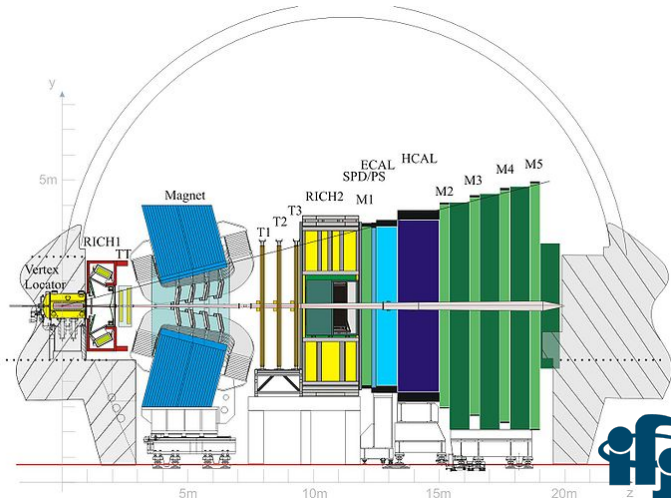
Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratorzy
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

LHCb – LHC beauty



Eksperymenty przy LHC

ALICE – A Large Ion Collider Experiment

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

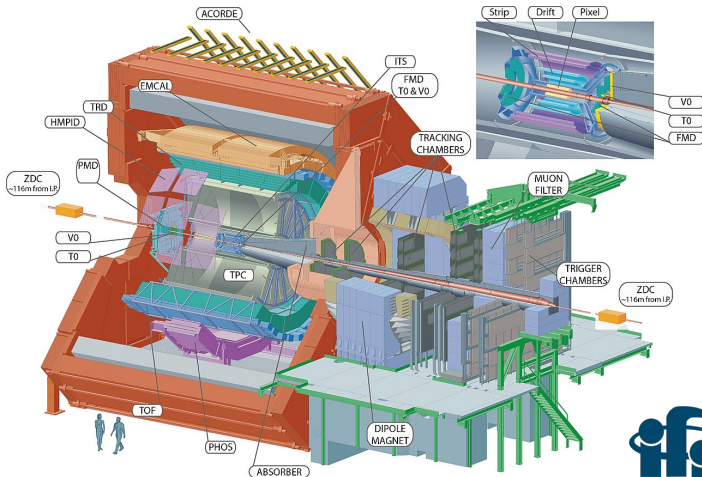
Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie



Eksperymenty przy LHC

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

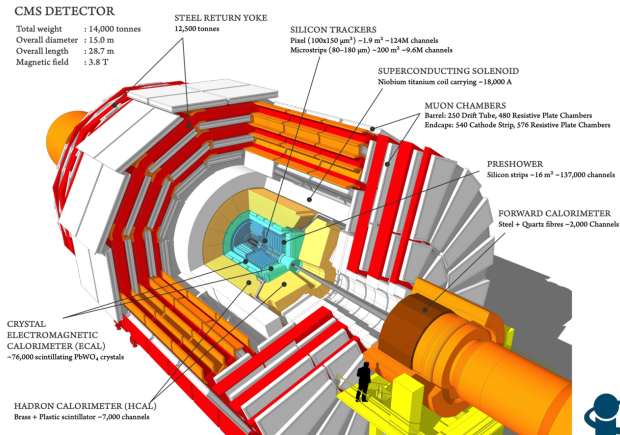
Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratorzy
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

CMS – Compact Muon Solenoid



Eksperymenty przy LHC

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

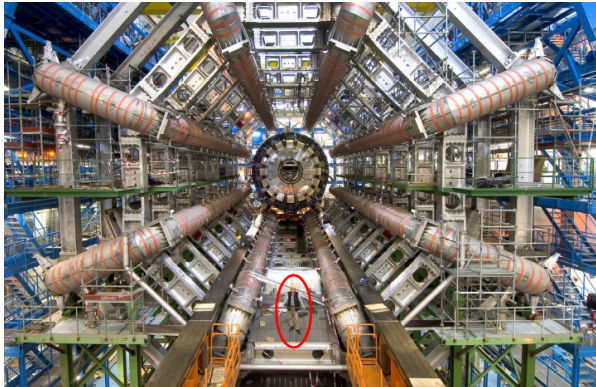
Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratorzy
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Eksperyment ATLAS (w czasie budowy)



Eksperymenty przy LHC

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

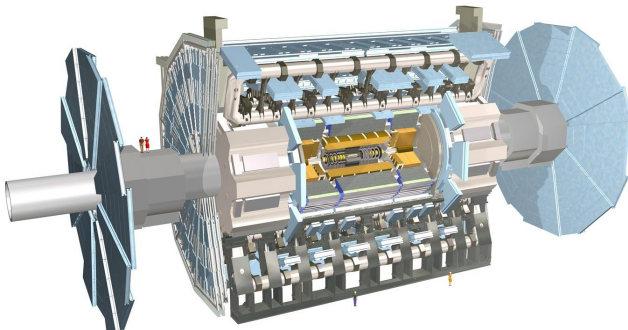
Akseleratory
cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

ATLAS – A Toroidal LHC ApparatuS



Odkrycia "przy okazji"

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratory cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

- 1 **Internet (World Wide Web)** – wczesne lata 90'.
- 2 **Ekran dotykowy** – wczesne lata 70'.
- 3 **Grid computing** – lata 2000'.
- 4 **PET (Positron Emission Tomography)** – technologie opracowane przez CERN w latach 80'.
- 5 **RTG** – dużo mniejsze dawki dzięki detektorom opracowanym w 1968 r.
- 6 **Terapia protonowa** – rozwijana od lat 60 pozwala na leczenie raka o znacznie zmniejszonych efektach ubocznych.
- 7 **I wiele innych...**



Odkrycia "przy okazji"

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki, jony i atomy

Fizyka relatywistyczna

Fotony

Przyspieszanie cząstek

Ładunek w polu

Inne efekty

Jednostki energii

Akceleratorzy cząstek

Po co?

Osiągi

Podsumowanie

- 1 **Internet (World Wide Web)** – wczesne lata 90'.
- 2 **Ekran dotykowy** – wczesne lata 70'.
- 3 **Grid computing** – lata 2000'.
- 4 **PET (Positron Emission Tomography)** – technologie opracowane przez CERN w latach 80'.
- 5 **RTG** – dużo mniejsze dawki dzięki detektorom opracowanym w 1968 r.
- 6 **Terapia protonowa** – rozwijana od lat 60 pozwala na leczenie raka o znacznie zmniejszonych efektach ubocznych.
- 7 **I wiele innych...**

Badania podstawowe $\Rightarrow$ realne korzyści dla społeczeństwa!



Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa
się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

Rozdział 4. Podsumowanie



Podsumowanie

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

- Na najbardziej fundamentalnym poziomie, materia składa się z cząstek subatomowych jak elektrony oraz protony, neutrony, które składają się z kwarków.
- Model Standardowy opisuje właściwości cząstek elementarnych oraz oddziaływania silne, słabe i elektromagnetyczne.
- Cząstki przyspiesza się w polach elektrycznych a tory ich ruchu zagina polami magnetycznymi.
- Cząstki zderza się przy wysokich energiach, aby tworzyć inne cząstki i testować w ten sposób Model Standardowy.



Bibliografia

Fizyka cząstek

Jerzy Pryga

Z czego składa się materia?

Cząstki, cząsteczki,
jony i atomy

Fizyka
relatywistyczna
Fotony

Przyspieszanie
cząstek

Ładunek w polu
Inne efekty
Jednostki energii

Akceleratory
cząstek

Po co?
Osiągi

Podsumowanie

- https://ccb.ifj.edu.pl/pl.cyklotron_proteus_c_235.html
- <https://atlas.cern/>
- <https://home.cern/about/what-we-do/our-impact>
- <https://www.wikipedia.org/>
- <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2013/summary/>
- https://pdg.lbl.gov/2023/reviews/contents_sports.html

