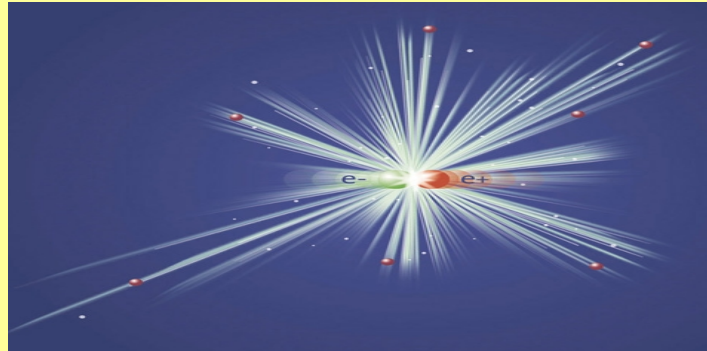
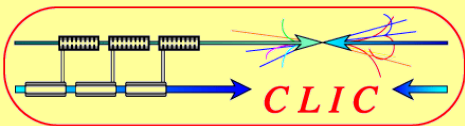


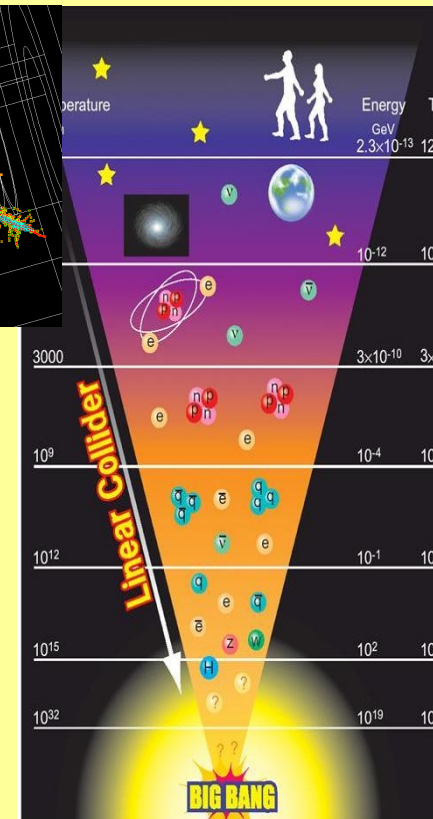
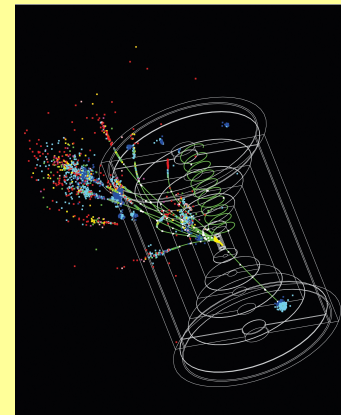
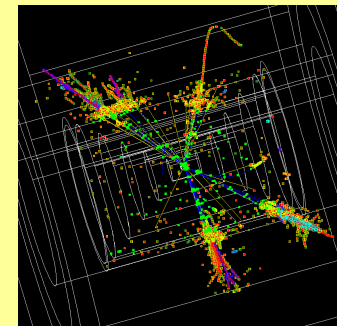
Przyszłe liniowe zderzacze elektronów i pozytonów



International Linear Collider

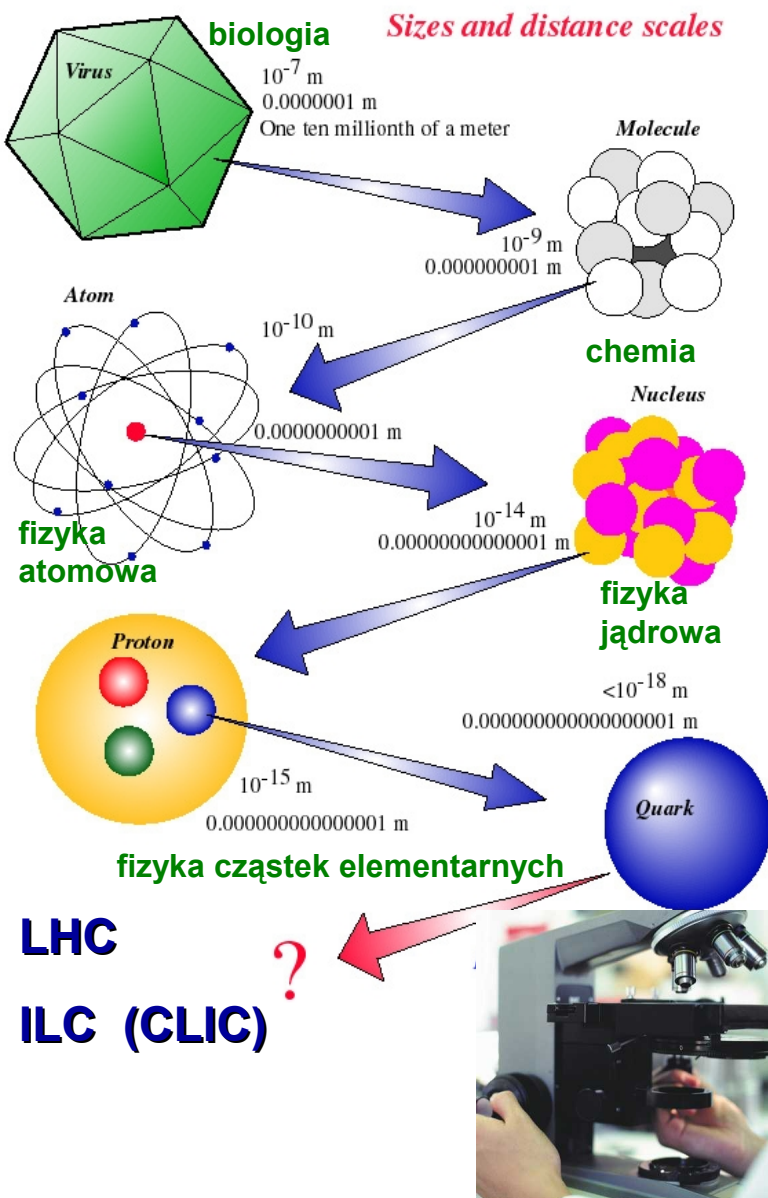


Compact Linear Collider



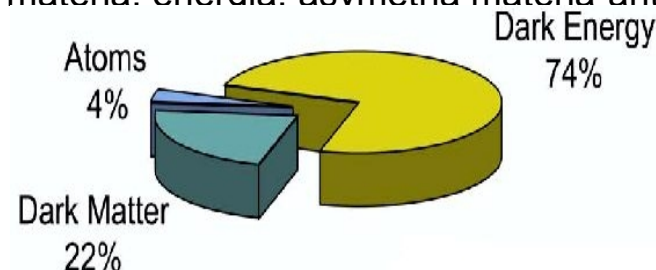
ILC : <http://www.linearcollider.org>
CLIC: <http://clic-study.web.cern.ch/CLIC-Study>

Fizyka cząstek na progu wielkich odkryć: „piłka w grze” – od Listopada 09 (LHC)



Stoimy u progu nowych odkryć, które mogą:

- zmienić nasze wyobrażenia o otaczającej nas rzeczywistości
- rozwiązać takie zagadki Wszechświata jak: ciemna materia. energia. asymetria materia-antymateria



- pozwolić zapoznać się z warunkami jakie panowały we Wszechświecie w krótkim czasie po Wielkim Wybuchu

Umożliwić nam to mają dwa duże, międzynarodowe projekty badawcze związane z budową nowych zderzaczy cząstek: hadronów i leptonów. Są to:

LHC i ILC (CLIC).

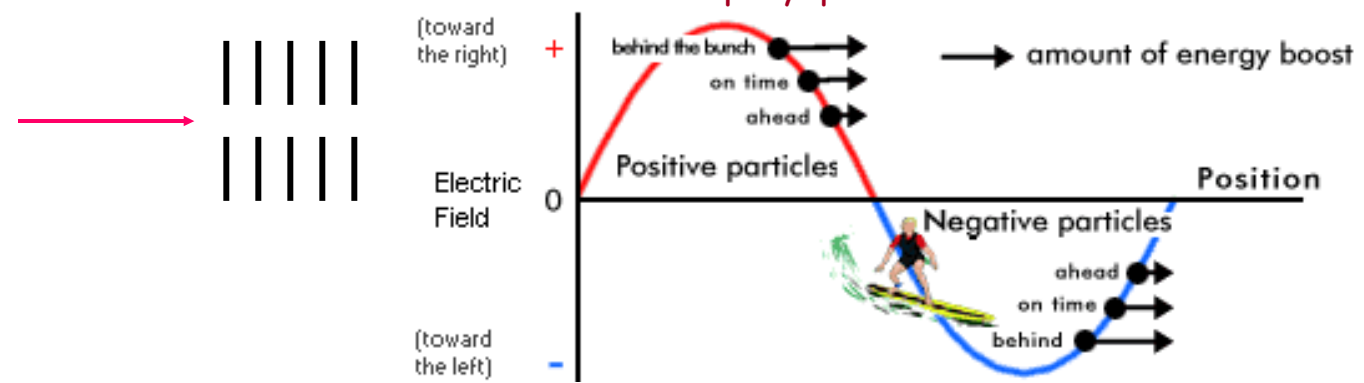
Są /będą to podstawowe narzędzia badawcze – mikroskopy - fizyków zaglądających w świat niezwykle małych wymiarów, do poziomu elementarnych składników materii.

■ **LHC, 21.11.2009** – kołowy, hadronowy akcelerator (pp -14 TeV energia zderzenia w CMS - max.)

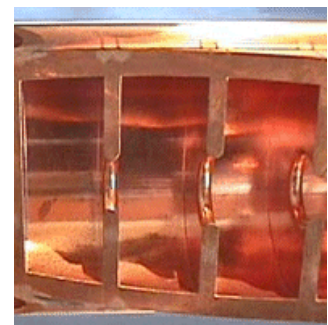
■ **ILC (CLIC) > 2018 (> 2028)** - liniowy, leptonowy akcelerator (0.5 – 1 TeV) (CMS)

Dwa rodzaje akceleratorów

Liniowe akceleratory (Liniaki)



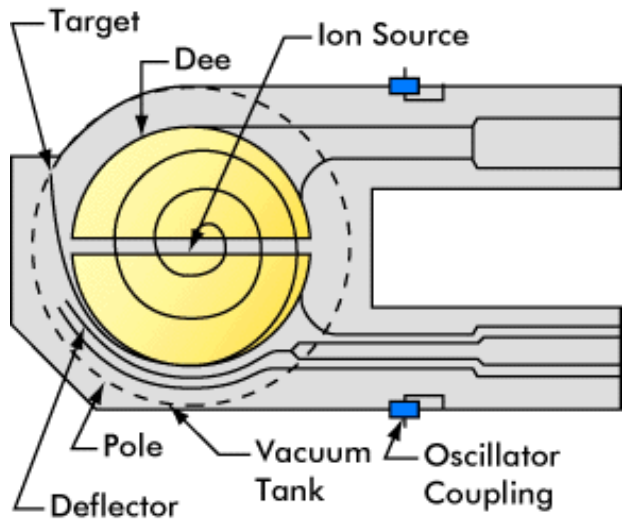
wnęka RF



podstawowa
przyśpieszająca
structura

kołowe akcleratory

Cyklotrony (pierwsze)

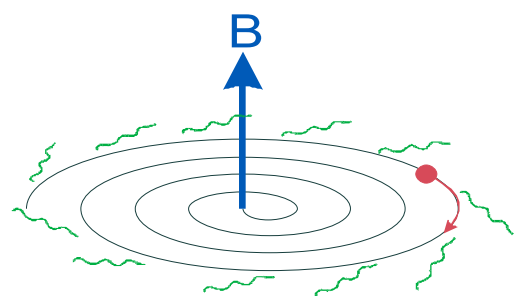


Synchrotrony (obecne)



Magnesy trzymają
cząstki na orbicie,
podczas przejścia przez
wnękę RF (pole E)
wzrasta ich energia

Promieniowanie synchrotronowe



Strata energii / obrót –
ogranicza przyśpieszanie
elektronów

Strata energii $\sim (E/m)^4 / R$
2.5 GeV/obrot – dla 100 GeV (LEP)
156 GeV/obrot – dla 500 GeV (ILC)

Jak badać zjawiska mikroświata ?

Aby uzyskać odpowiedź na najbardziej fundamentalne pytanie:

z czego zbudowana jest materia w najmniejszych, obserwowalnych skalach odległości -

konieczne jest budowanie
coraz potężniejszych zderzaczy.

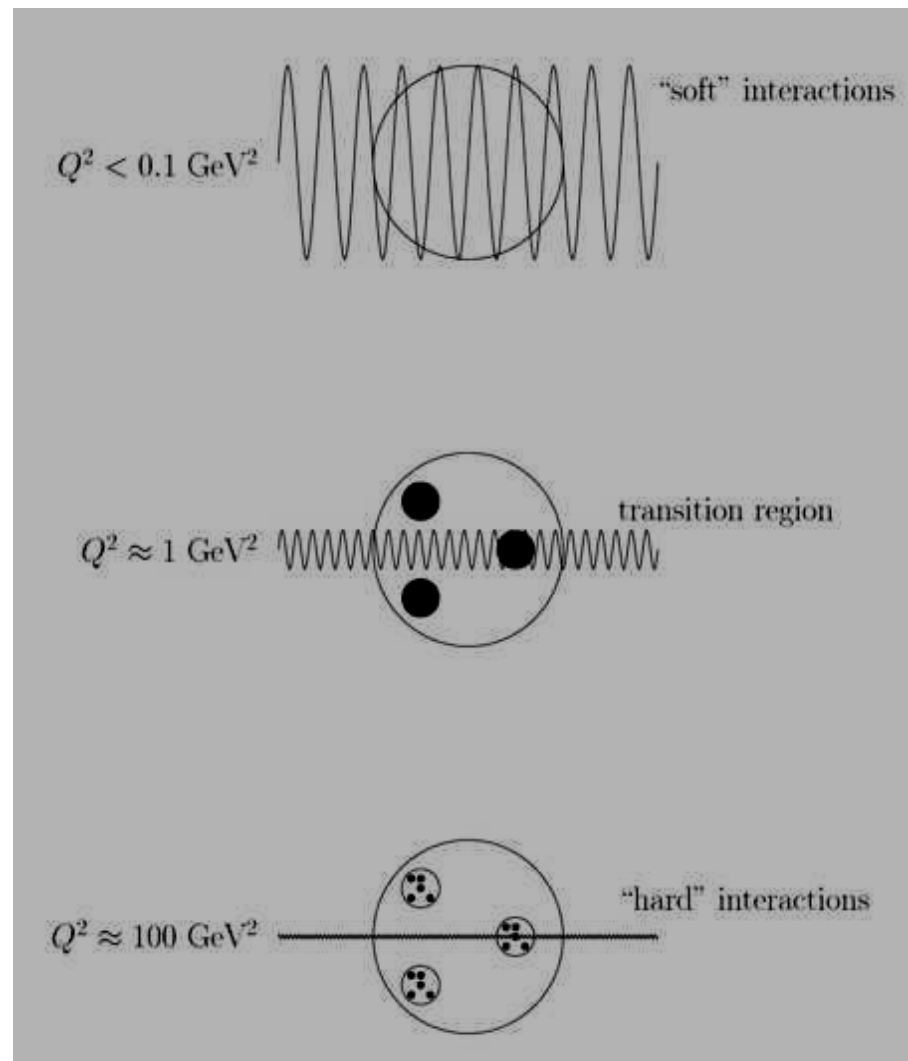
Im **wyższa** energia zderzeń (akceleratora)
tym **mniejsze** odległości można próbować
(rozdzielać) w eksperymencie

→ poprawia się przestrzenna zdolność
rozdzielcza

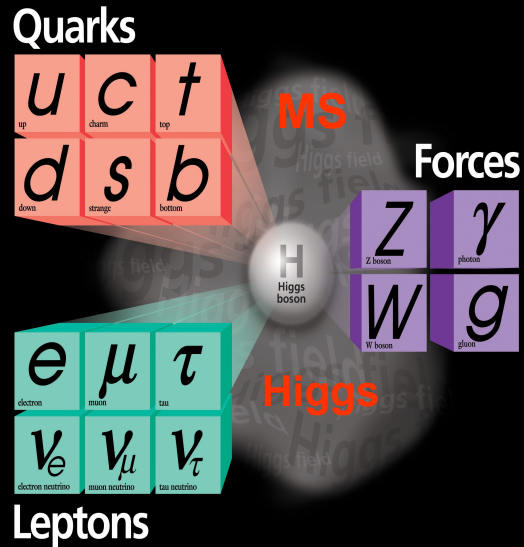
Wynika to z hipotezy de Broglie'a

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Akcelerator = mikroskop
Cząstki wiązki = sonda



Nasz świat - oczami fizyki cząstek elementarnych



Istnienie materii wymaga 6 rodzajów kwarków:

u, d, c, s, t, b

i 6 rodzajów leptonów:

$e, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$

Te cząstki o spinie $\frac{1}{2}$ są nazywane fermionami.

Pomiędzy kwarkami i leptonami (i ich antycząstkami) działają siły przenoszone przez inny rodzaj cząstek o spinie całkowitym –

tzw. bozony pośredniczące:

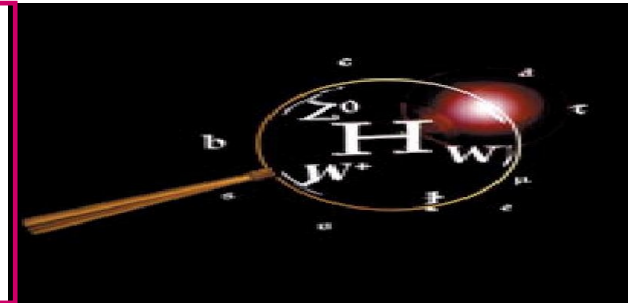
γ, Z^0, W^+, W^-, g

Własności znanych cząstek można przewidzieć na podstawie teorii opisującej kwarki, leptony i ich oddziaływania.

Jest to tzw. **model standardowy (SM)**. Opisuje trzy rodzaje oddziaływań spotykanych w przyrodzie: elektromagnetyczne, słabe, silne ale nie grawitację.

Potwierdza się go eksperymentalnie w tysiącach pomiarów, prowadzonych w ogromnej większości przy pomocy akceleratorów, które znajdują się w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie.

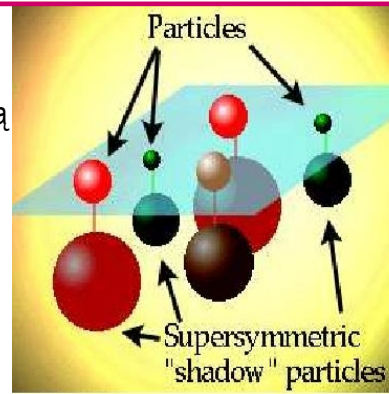
Dla nadania masy cząstek model standardowy jest uzupełniony o specjalny tzw. **mechanizm Higgsa**, który wymaga istnienia specjalnego bozonu Higgsa. Do tej pory nie udało się go odkryć, prawdopodobnie z powodu niewystarczającej energii dostępnej w badaniach. Dlatego naturalną próbą jego odkrycia była konieczność zbudowania nowego zderzaczy o większej energii jak **LHC** i stworzenie projektów dla przyszłych zderzaczy **ILC (CLIC)**



Szereg badań np. w astrofizyce oraz powody teoretyczne wymagają jednak rozszerzenia modelu standardowego o nowe pojęcia jak

Supersymetria, Wielka unifikacja, Dodatkowe wymiary.

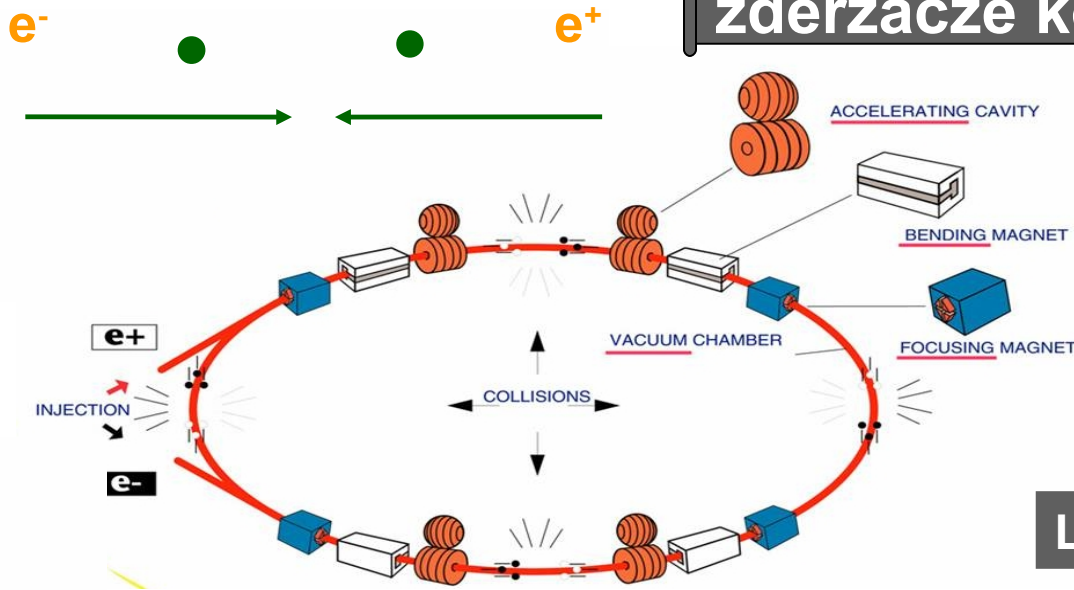
Nowe zderzacze mają pomóc w weryfikacji tych teorii.



?

Zderzacze elektron-pozyton

zderzacze kołowe e^+e^-



Cząstka naładowana emituje w polu magnetycznym promieniowanie synchrotronowe

LEP:

1 MeV/obrot dla 10 GeV

2.5 GeV/obrot dla 100 GeV

156 GeV/obrot dla 500 GeV

Strata energii na jeden obrot:

$$\Delta E \propto \frac{1}{R} \left(\frac{E}{m} \right)^4$$

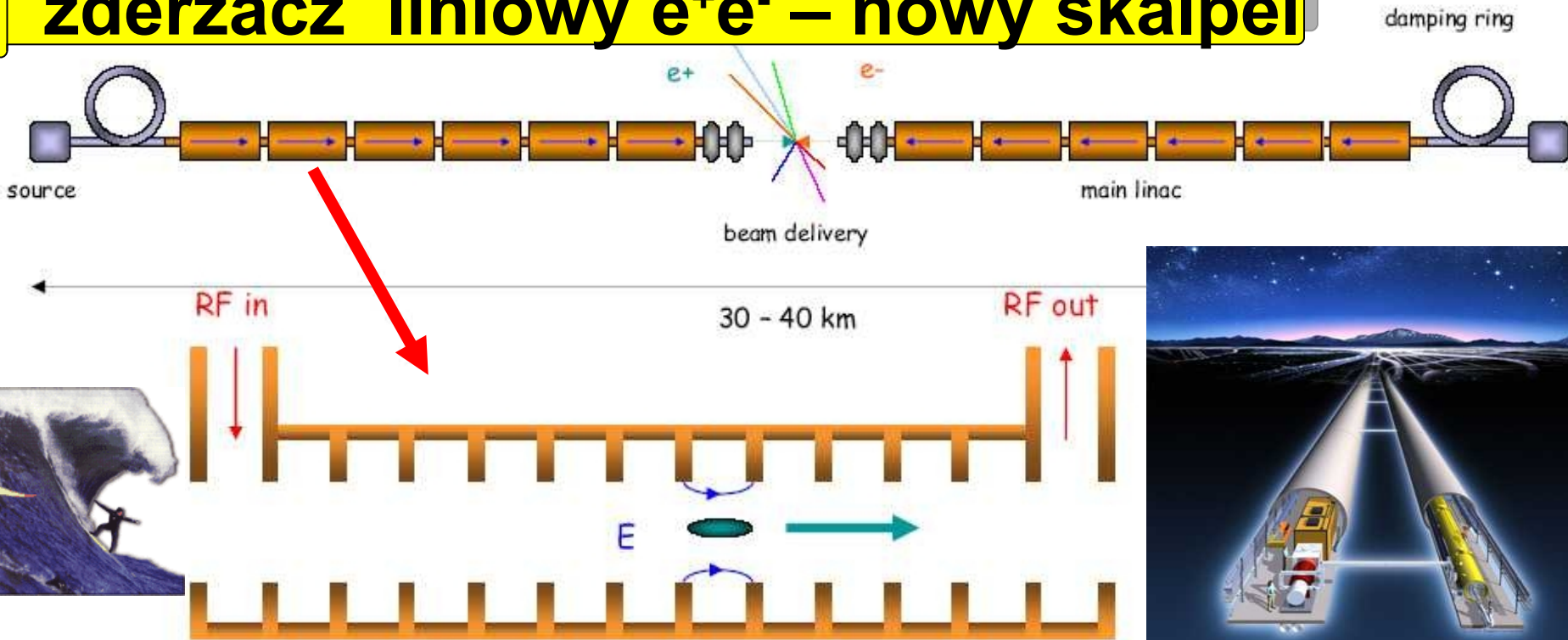
Zderzacze kołowe e^+e^-

Energia maks. do 0.1 TeV x 0.1 TeV

$$\left(\frac{m_p}{m_e} \right)^4 \approx \left(\frac{938 \text{ MeV}}{0.5 \text{ MeV}} \right)^4 \approx 10^{13}$$

Straty energii, wynikające z promieniowania synchrotronowego są dla protonów nieistotne

zderzacz liniowy e^+e^- – nowy skalpel



Pierwsze idee liniaka
o energii w teraskali:
lata 80-90 XXw.

0.045 TeV x 0.045 TeV

Giga Z

0.25 TeV x 0.25 TeV

ILC

0.5 TeV x 0.5 TeV

CLIC

1.5 TeV x 1.5 TeV



Główne parametry liniowego zderzacza

Filling factor Linac length Gradient

$$E_{cm} = 2 F_{fill} L_{linac} G_{RF}$$

Uzyskana energia

Energy lost by
beamstrahlung

Wall-plug
power

Wall-plug to
beam efficiency

$$L = \frac{k_b N_b^2 f_{rep}}{4 \pi \sigma_x^* \sigma_y^*} \alpha \frac{\delta_B^{1/2} P_{AC} \eta_{beam}^{AC}}{E_{cm} \epsilon_{ny}^{1/2}}$$

światłość

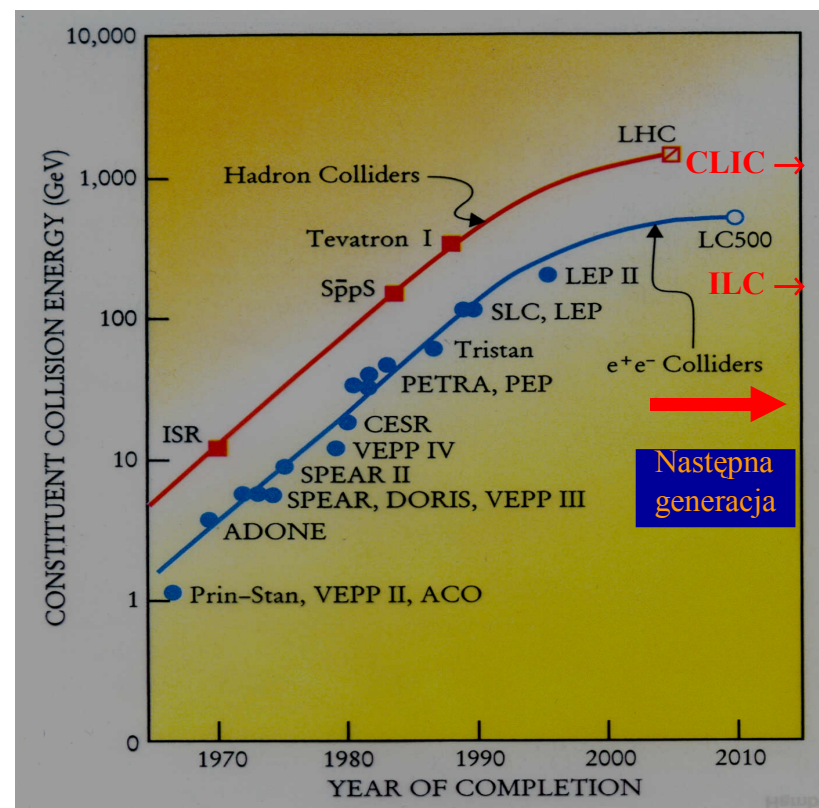
Beam size at
interaction point

Center-of-mass energy

Vertical emittance

Światowa sieć z udziałem akceleratorów

Przykład :

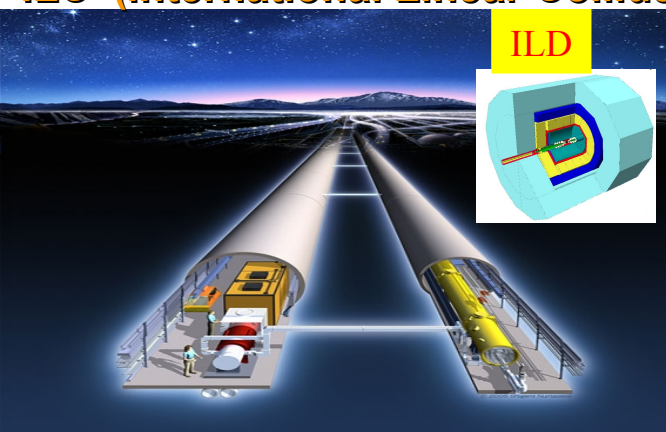


Paradoksalnie :

LHC (Large Hadron Collider)

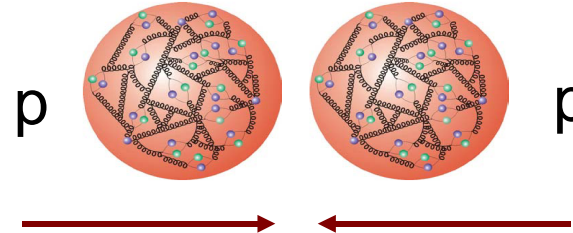


ILC (International Linear Collider)



Miejsce : CERN - Szwajcaria

Początek pracy - listopad 2009 $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ ($\sim 5 \text{ TeV}$ eff. oddz. partonów)



Wiele partonów w stanie początkowym – oddziaływania silne - wielopartonowe

Wysoki potencjał dla odkryć
ale:
nieznany stan początkowy
pozostałości protonu nie są mierzalne (rura akceleratora)-
niezachowanie energii-pędu
duże tło od procesów QCD
część procesów może nie być widoczna

Miejsce - jeszcze nieznane

(USA, Europa, Japonia)

$\sqrt{s} \leq 1 \text{ TeV}$



Prosta – punktowa struktura na początku – brak silnych oddziaływań

Początek pracy ~ 2018 ? → obecnie intensywne prace badawczo rozwojowe (R&D) nad akceleratorem i detektorami dla eksp. na ILC - kilkunastoletni i program badań

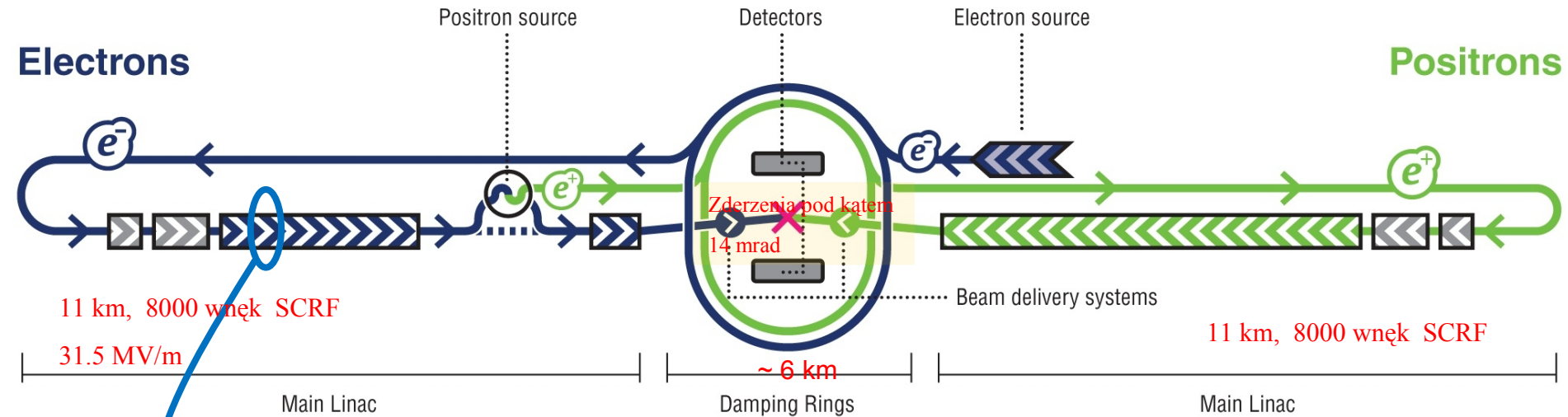
Wyjątkowe urządzenie dla precyzyjnych pomiarów

Nowej Fizyki odkrywanej na LHC i nie tylko **ale:**

pojawia się problem : **promieniowanie wiązki (beamstrahlung – BS)**. Wązki zawierające dużo elektronów w paczce są niezwykle skolimowane w punkcie IP - duże gęstości ładunków – duże pola elektryczne → Elektrony z jednej paczki promieniają w polu elektrycznym przeciwnej. Średnia strata energii przy energii 500 GeV ~ 1.5 %. BS dostarcza tła głównie dla detektorów pracujących pod małymi kątami ale też dla pierwszych warstw det. śladów

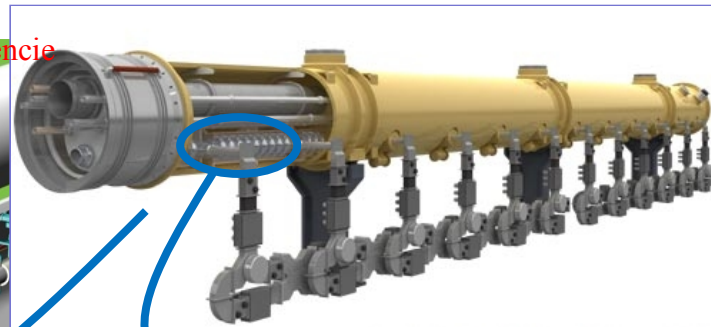
Oba akceleratory będą się uzupełniały i oba są potrzebne dla uzyskania jednoznacznej interpretacji uzyskanych pomiarów na LHC i ILC

Dokument : ILC Reference Design Report



Całkowita moc dla akceleratora ~ 230 MW

Dla energii 1 TeV długość ~ 47 km przy gradiencie 36 MV/m



System zasilający RF : jeden moduł np. dla 500 GeV – 10MW klystron, 3 moduły kriogeniczne z wnekami RF

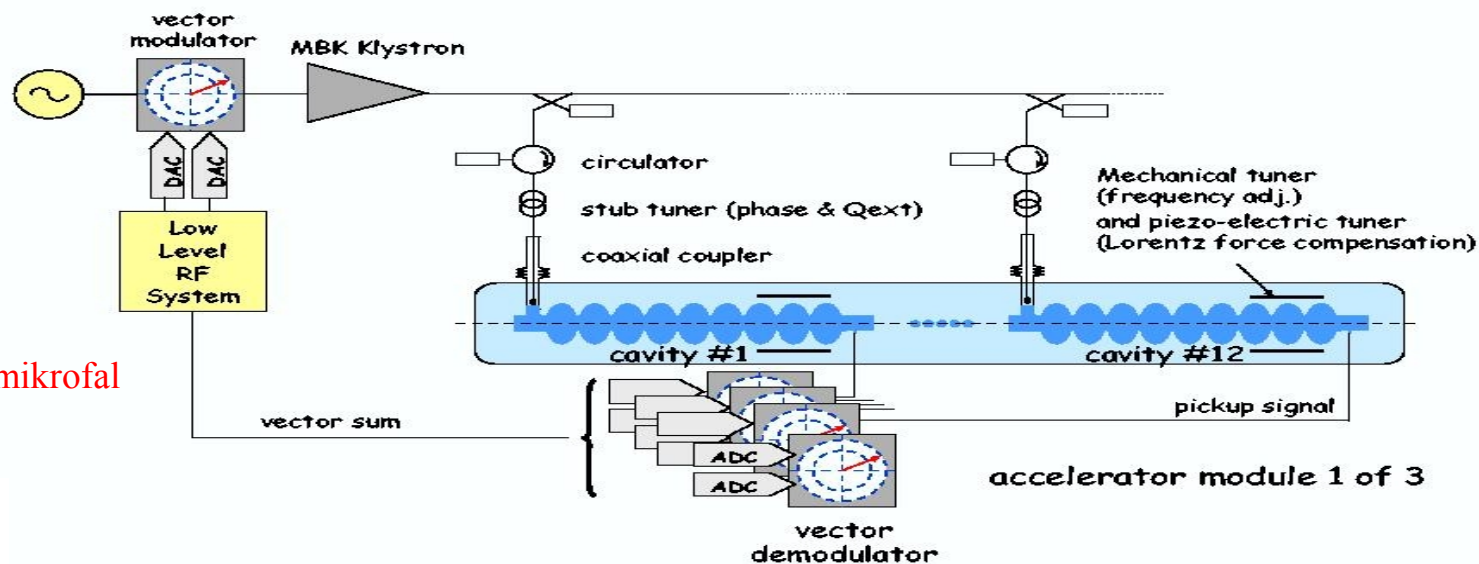
9-cell 1.3GHz Niobium Cavity



Płyty z niobu, czyszczenie powierzchni (electropolishing), nadanie odpowiedniego kształtu

Koncepcja akceleratora : zasilanie - klystrony , złączki

1 klystron for 3 accelerating modules, 12 nine-cell cavities each



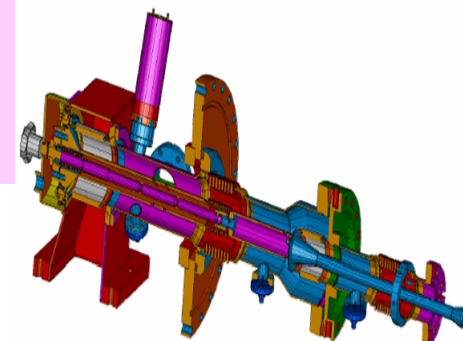
Klystrony – generatory mikrofali o dużej mocy



- Działo elektronowe (1) produkuje strumień elektronów
- Specjalne komory (2) (bunching cavities) regulują prędkość elektronów tak że, w komorze końcowej (3) (output cavity) pojawiają się one w grupach/paketach (bunches)
- W komorze (3) pakiety elektronów emitują mikrofae
- Mikrofae są kierowane do falowodu (4) do wnętrza RF
- Elektrony ulegają absorpcji w (5) (beam stop)

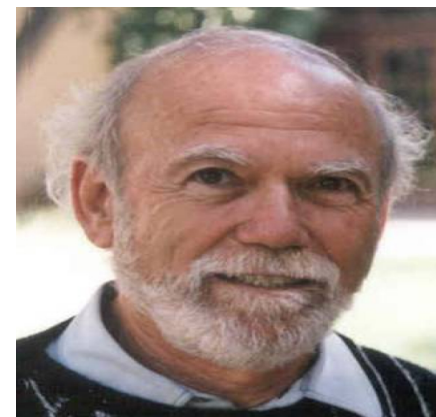
Typowa częstota drgań 1.3GHz (RF):

Coupler (złączka)



ILC - koordynacja zadań przez międzynarodowe ciało GDE

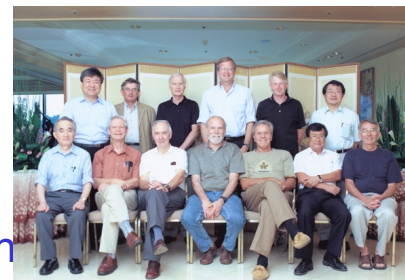
Sierpień 2004 - wybór „zimnej” technologii : nadprzewodzące wnęki RF : akcelerator: **The International Linear Collider , ILC:**



Dla koordynowania zadań związanych
z ILC, ICFA powołała w marcu 2005
ciało GDE:

Global Design Effort (GDE) -

„Globalne Laboratorium” ILC - dyr. Barry Barish



Parametry:

- Energia w pierwszym okresie $\sqrt{s} \leq 0.5 \text{ TeV}$ (dopasowanie do procesu)
- Świetlność $(2-5) 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Polaryzacja $e^- \sim 80 \%$
- Przynajmniej 500 fb^{-1} w pierwszych 4 latach
- Rozszerzenie do 1 TeV , $500 \text{ fb}^{-1} / \text{rok}$

Wyzwanie : dla uzyskania świetlności $L : (2-5) 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
(10000 x SLC) rozmiary wiązek muszą mieć :

$\sigma_x \sim (400 - 600) \text{ nm}$,
 $\sigma_y \sim (3-9) \text{ nm}$, $\sigma_z \sim (500 - 700) \mu\text{m}$

Inne opcje – w zależności od realizacji programu fizycznego:

- Polaryzacja e^+ (40 - 50%)
- GigaZ - duże statystyki przy M_Z i $2 M_W$ - przy polaryzacji wiązek, progowe skanowanie energią (6 MeV)
- zderzenia e^-e^- , $\gamma\gamma$ ($E_\gamma \leq 0.8 E_e$) , $e\gamma$

ILC - duże wyzwanie :

duża energia , duże świetlności, nowe technologie - oczekiwane duże koszty budowy

Zadania :

- **szczegółowy projekt ILC**
(koszt, plan współpracy z przemysłem, politykami, analiza miejsc dla ILC)
- **koordynacja wszystkich prac R&D**
związanych z projektem ILC (akcelerator, detektory) regionalnych i światowych, współpraca z CLIC

Najważniejsze dokumenty →

Baseline Configuration Document (BCD)
Reference Design Report (RDR), Technical Design
Detector Concept Report (DCR), Letter of Intent (Loi) dla
detektorów

- dostarczanie informacji –internet
- poszukiwania sposobów finansowania
- organizacja spotkań roboczych ,
konferencji, video konferencji...



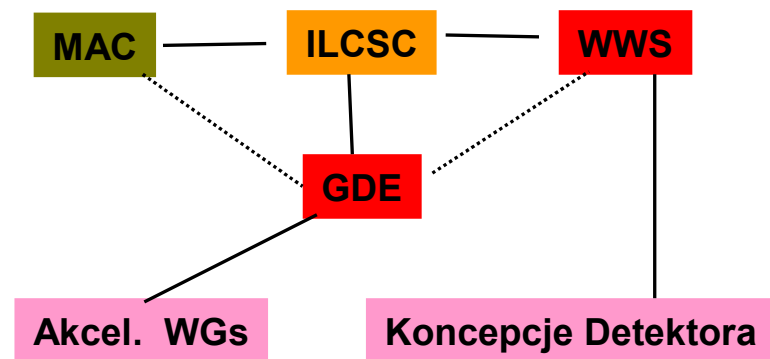
GDE – ludzie:

Ameryka – 22 , Europa – 24, Azja - 16

dyrektor : B. Barish oraz

3 regionalnych dyr.

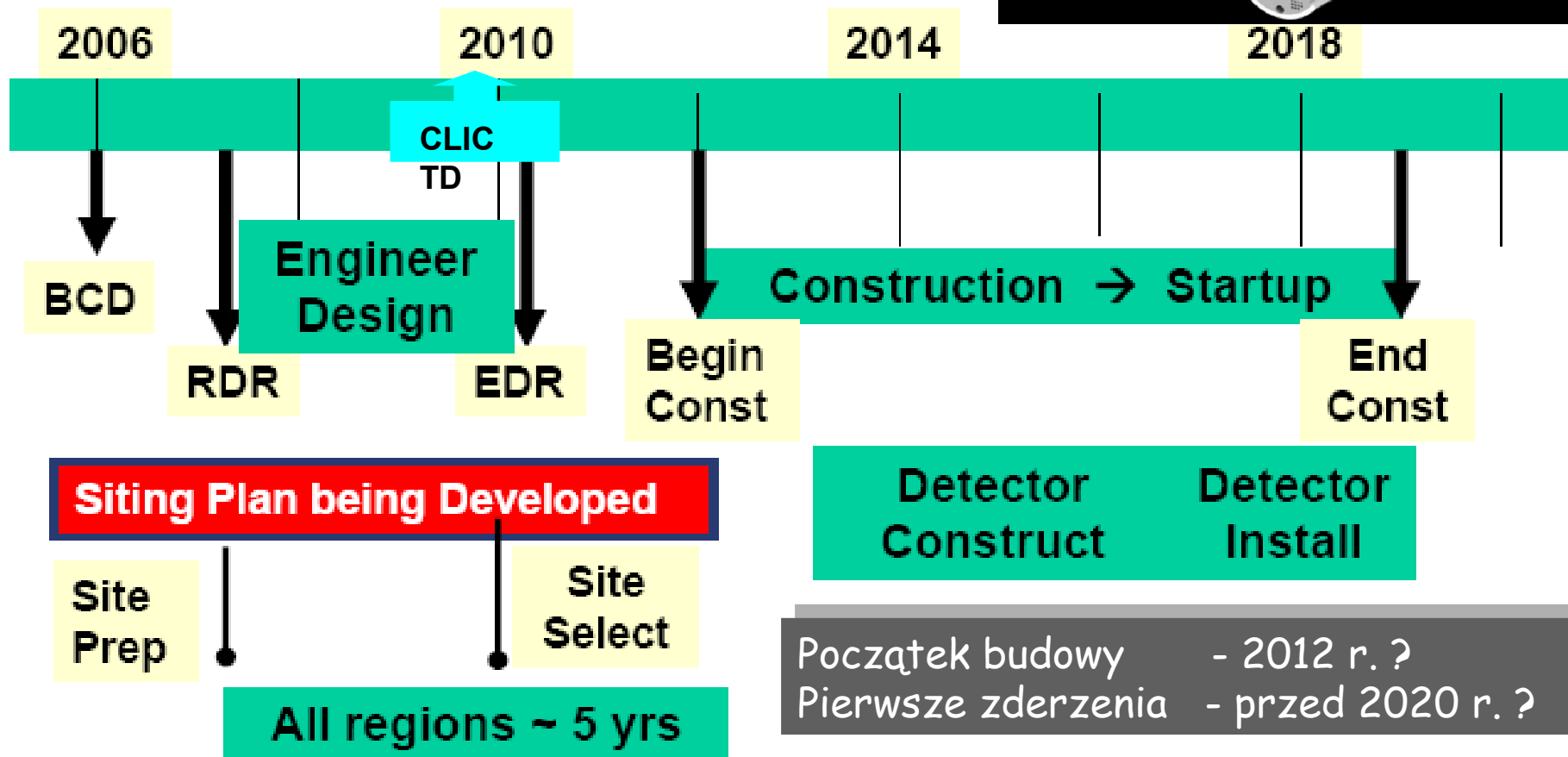
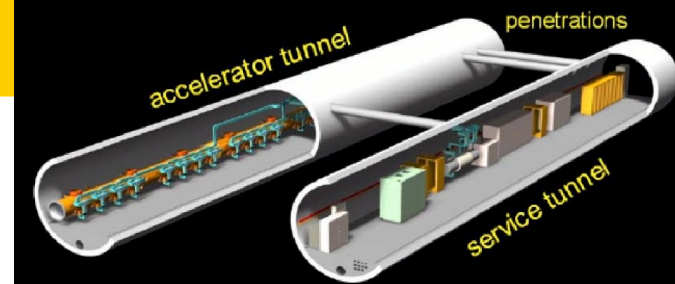
dla Europy, Ameryki i Azji





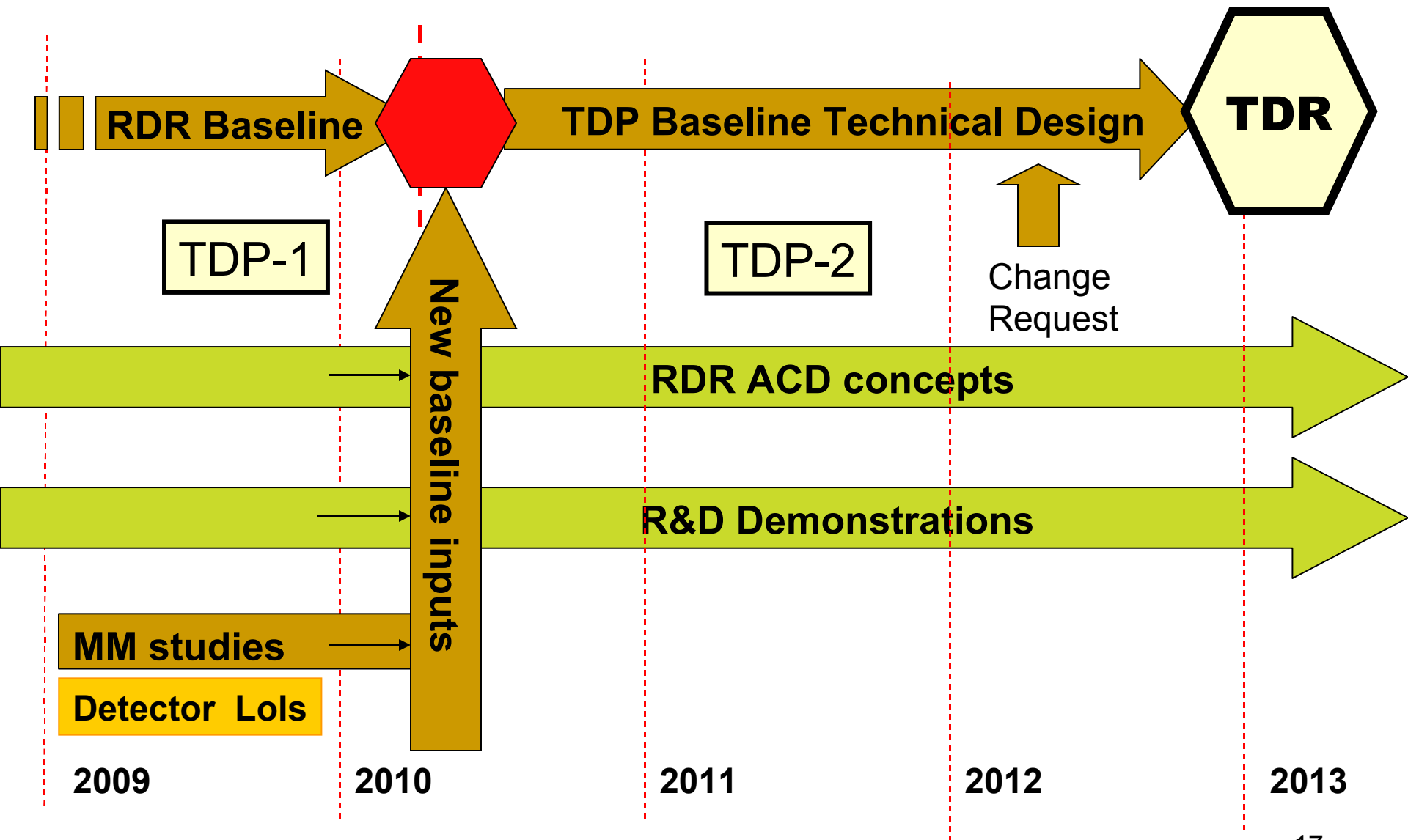
Mapa drogowa - dalsze kroki

Fizyka LHC



R & D -- Industrialization

Techniczne fazy rozwoju projektu





ILC Research and Development Plan for the Technical Design Phase

Release 4

July 2009

ILC Global Design Effort

Director: Barry Barish

Prepared by the Technical Design Phase Project
Management

Project Managers: Marc Ross
 Nick Walker
 Akira Yamamoto

Główne zadania dla TDP:

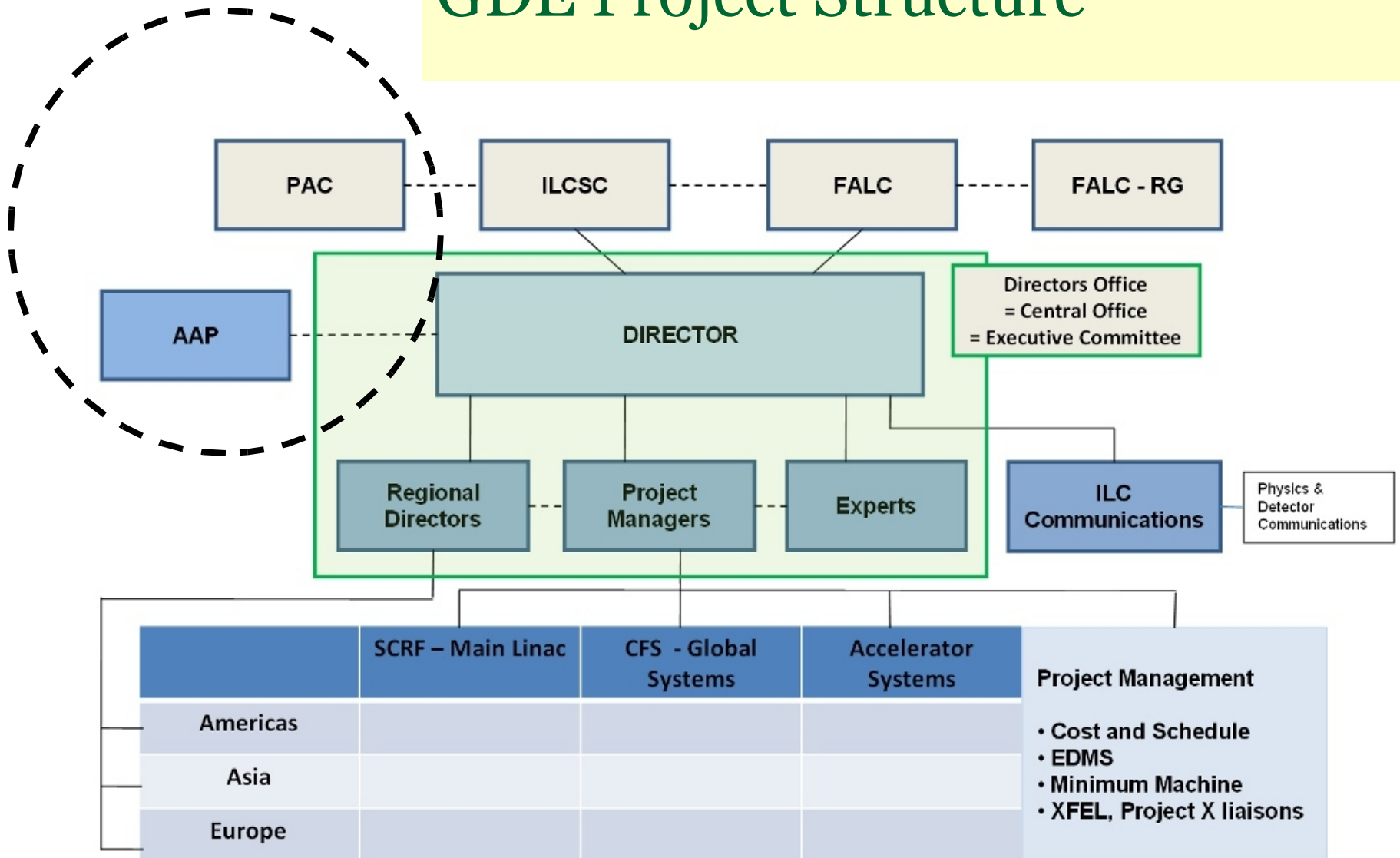
ILC design evolved for cost /
performance optimization

Complete crucial demonstration
and risk-mitigating R&D

Updated VALUE estimate and
schedule

Project Implementation Plan

GDE Project Structure



“Satisfactory progress is being made towards a Technical Design Report in 2012. At some time in the future, ILCSC guidance will be needed for activities beyond that date.”

“There is some concern by the PAC on whether there will be enough cavities available to obtain meaningful statistics on the yield, and more information on the needed statistics would be helpful. Some help on this may be forthcoming from the XFEL, Project X and Quantum Beam projects.”

“The PAC supports the “Minimum Machine” activities to carefully review the RDR design

The Committee believes that this activity should not compromise the existing ILC physics goals, and reiterates its belief that the 1 TeV upgrade option should be maintained.”

Co po roku 2012 ?

Stanowisko AAP (Accelerator Advisory Panel)

The AAP points to uncertainties beyond 2012 in their conclusions:

- *“Some aspects of the R&D for the ILC will have to continue beyond 2012.”*
- *“The milestone 2012 is however timely placed. The LHC will be providing operating experience of a large facility and with some luck the first physics discoveries will emerge.”*
- *“The HEP community is thus well prepared for the decision for the next facility. In a sense the construction of the ILC seems the natural evolution of that process, in which case the efforts for the ILC have to be ramped up without delay.”*
- *“Nature may be less kind or science policy makers not ready for a decision on the next big HEP project. In this case the large community must be engaged to facilitate the decision for the construction of the next HEP project.”*

We need to prepare for uncertainties in the path to the ILC after 2012, including what LHC tells us.