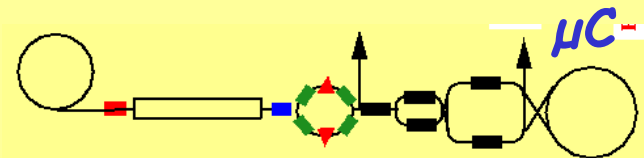
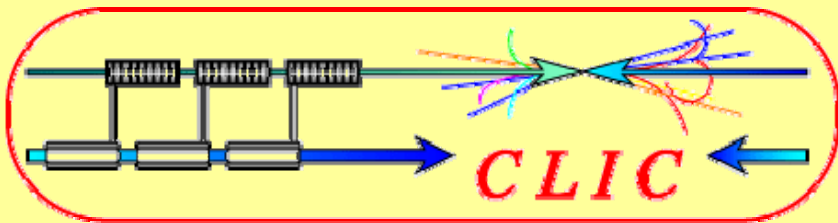
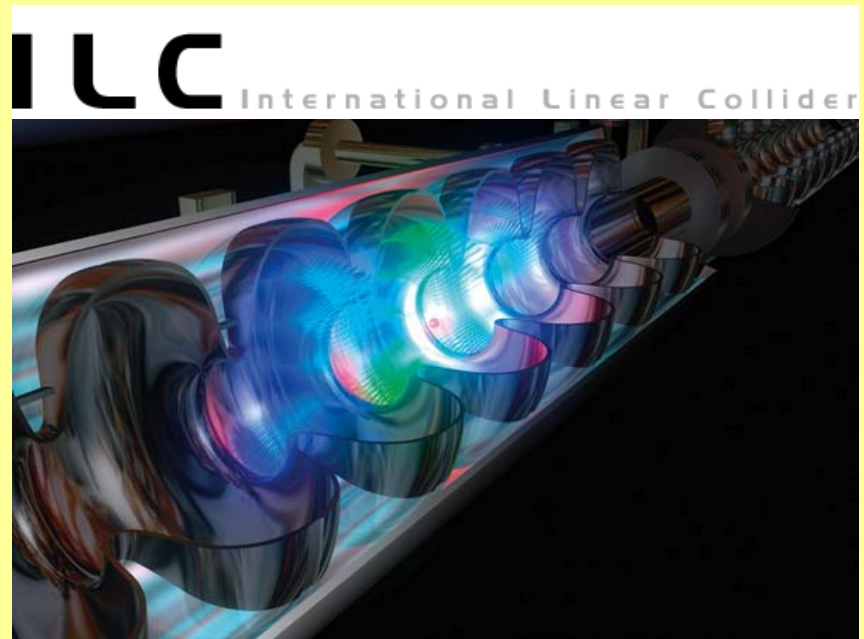
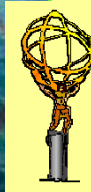


Wrażenia z sympozjum w Orsay

The High Energy Frontier

A.F.Żarnecki
24 lutego 2006

The Physics of the High Energy Frontier



Klaus Desch
University of Freiburg

Open Symposium of the Strategy Group for European Particle Physics
Orsay, 31/01/06

High Energy Frontier

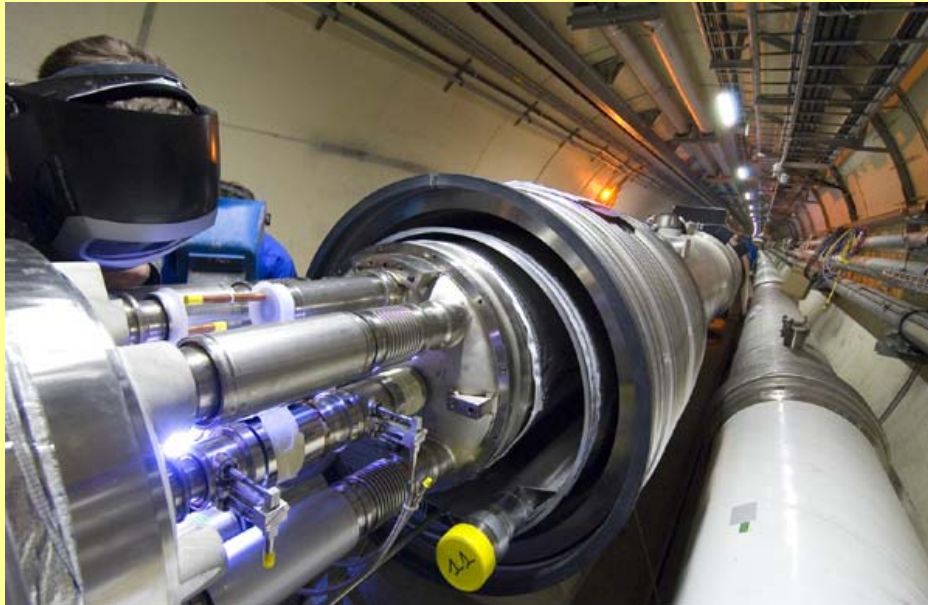
Orsay Jan,30 2006

P. Raimondi

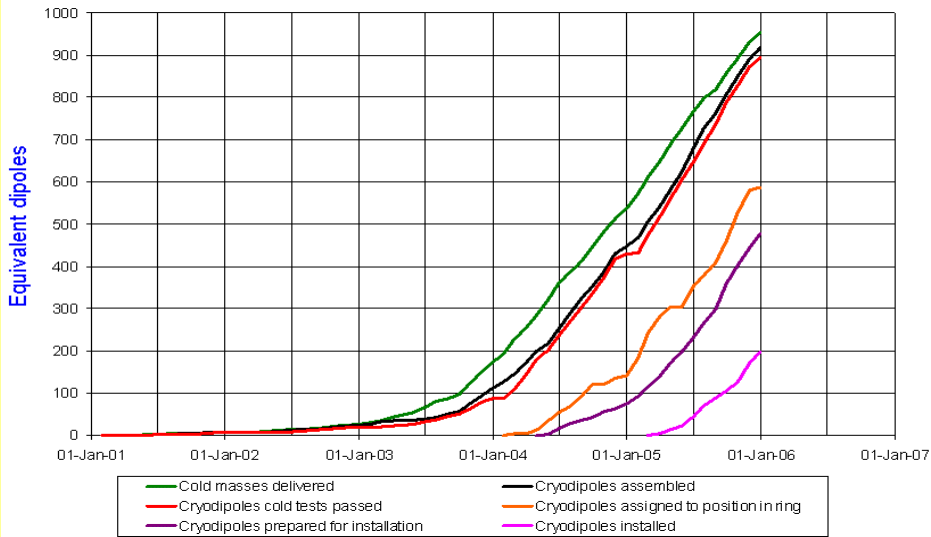
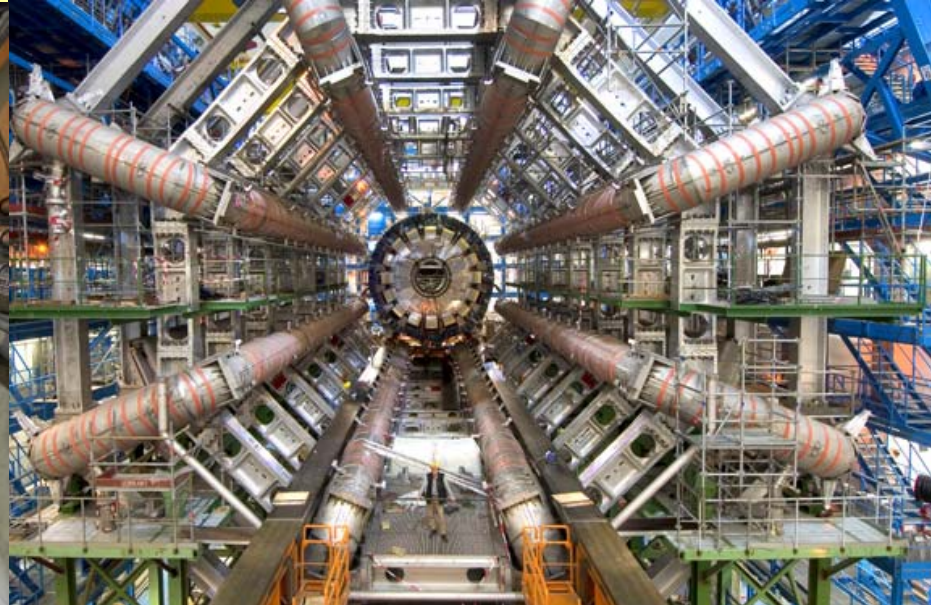
- **ILC**
- **CLIC**
- **LHC Upgrade**
- **Muon Collider**

LHC: where we are today?

tremendous effort → tremendous progress



Cryodipole overview



expect first collisions in 2007 with ATLAS+CMS ready to take data!

LHC: when can we expect results?

May expect $O(30) \text{ fb}^{-1}$ by 2009/10

With these data we may:

- discover SM/MSSM Higgs boson
- discover SUSY if $m_{\text{SUSY}} < 2\text{-}2.5 \text{ TeV}$
- discover dilepton-resonances (Z', RS, \dots) if $m < \sim 3 \text{ TeV}$

but: **data on disk \neq paper published!**

need to:

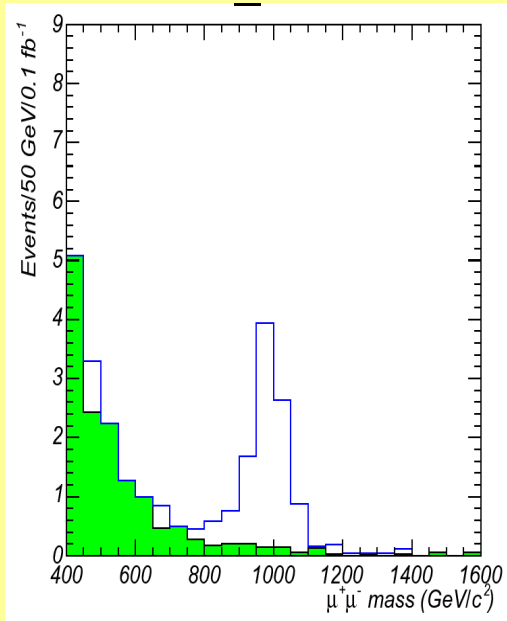
- commission/align/calibrate detectors+triggers
- calibrate physics objects ($e, \mu, \tau, b, \text{jets}, E_{\text{T}}^{\text{miss}}$)
with SM candles ($Z, W, t, \text{jets}, \dots$)
- understand SM-backgrounds from data and tune MC

how fast a signal can be established depends on its complexity

→ examples

Possible discoveries at LHC with 10 fb^{-1}

di-lepton resonance (Z', RS, Z_H, \dots)

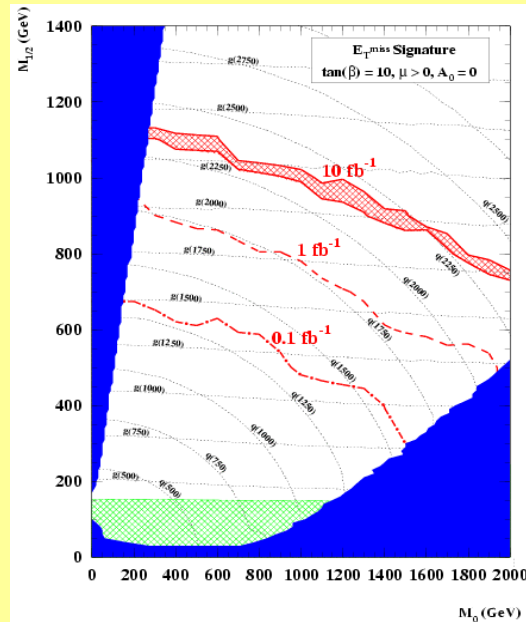


with 10 fb^{-1} :

$m < \sim 3 \text{ TeV}$
dep. on model

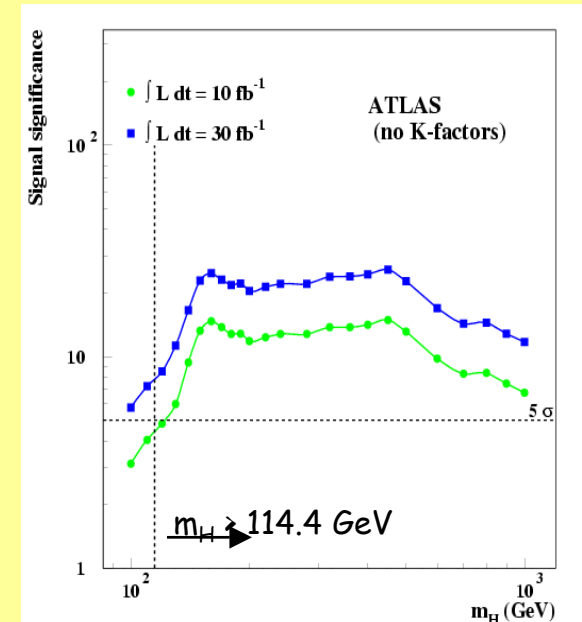
more easy...

inclusive SUSY



$m_{sq,gl} < 2-2.5 \text{ TeV}$
in mSUGRA

SM/MSSM Higgs



full range

...more challenging

1st Summary: LHC+upgrades

- LHC and ATLAS/CMS progressing well. Expect first collisions in 2007.
- First data set with excellent prospects for discoveries ($10\text{-}30\text{ fb}^{-1}$) may be expected for 2009/10. Analysis needs detailed understanding of detectors and backgrounds.
- SM Higgs, SUSY ($\sim 2.5\text{ TeV}$), di-lepton resonances ($\sim 3\text{ TeV}$) can be seen within these data.
- Full LHC luminosity allows for discovery of very broad range of high-pt phenomena and measurements of new particle properties.
- LHC luminosity upgrade (SLHC) increases discovery reach by 20-30%, better precision for statistically limited processes.
- Energy upgrade (DLHC) has larger discovery reach but represents a significantly larger effort.

The International Linear Collider

Huge world-wide effort to be ready for **construction** in 2009/10
(Global Design Effort GDE)

Result of an intense R&D process since 1992

[Parameters \(ICFA parameter document/ILC baseline\)](#)

The baseline:

e^+e^- LC operating from M_Z to **500 GeV**, tunable energy
 e^-/e^+ polarization
at least 500 fb^{-1} in the first 4 years

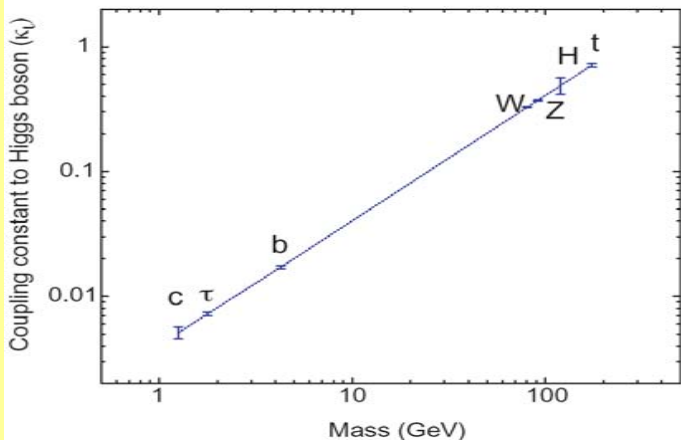
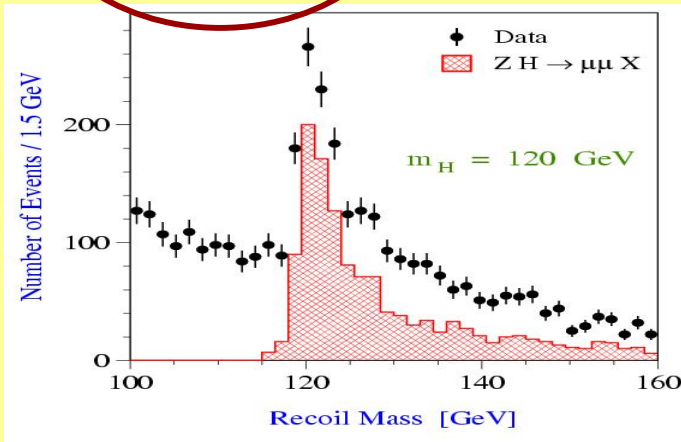
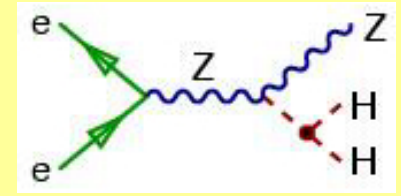
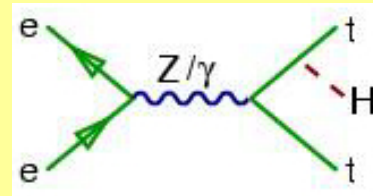
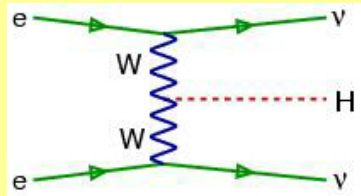
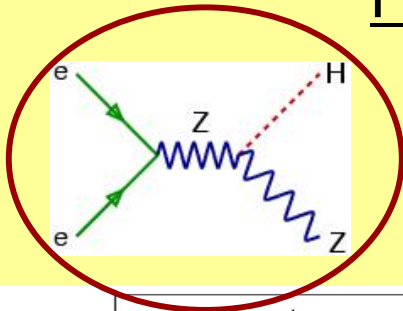
Upgrade: to \sim **1 TeV** 500 fb^{-1} /year

Options :

- GigaZ (high luminosity running at M_Z)
- $\gamma\gamma$, $e\gamma$, e^-e^- collisions

Choice of options depends on LHC+ILC results

Precision Higgs Physics at ILC



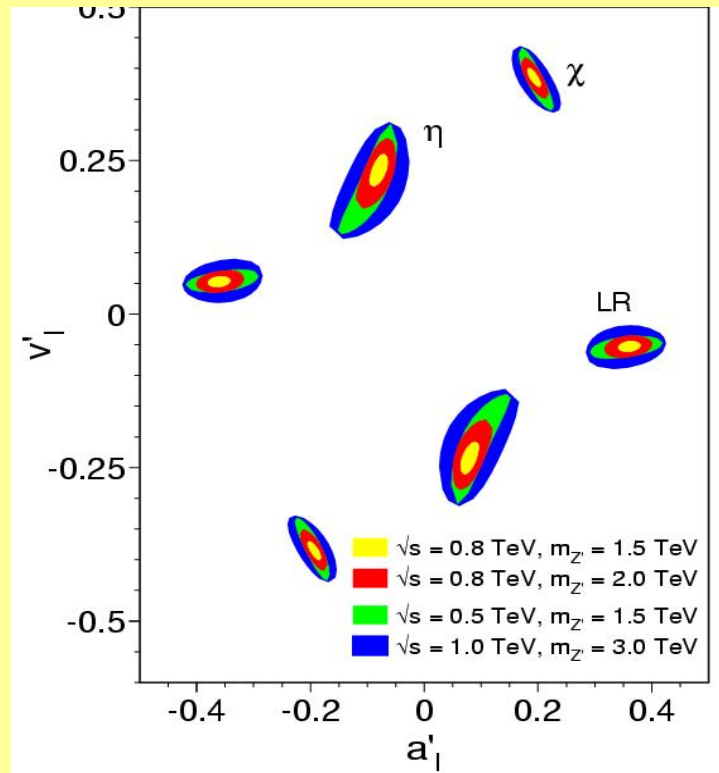
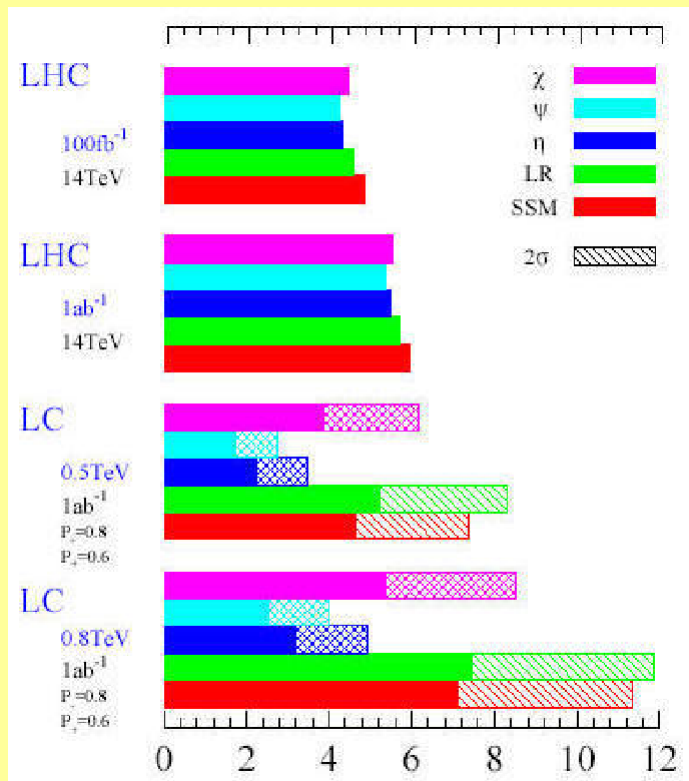
- decay-mode-independent observation
- mass (50 MeV)
- absolute couplings (Z,W,t,b,c, τ) (1-5%)
- total width (model-independent)
- spin, CP
- top Yukawa coupling ($\sim 5\%$)
- self coupling ($\sim 20\%$, 120-140 GeV)
- $\Gamma_{\gamma\gamma}$ at photon collider (2%)

fully establish Higgs mechanism!

New Resonances

Effects from heavy dilepton resonances can be observed by the ILC up to many times the centre-of-mass energy

If LHC observes a new resonance, ILC can measure the couplings and thus distinguish its origin (Z' , XD, little-H,...)

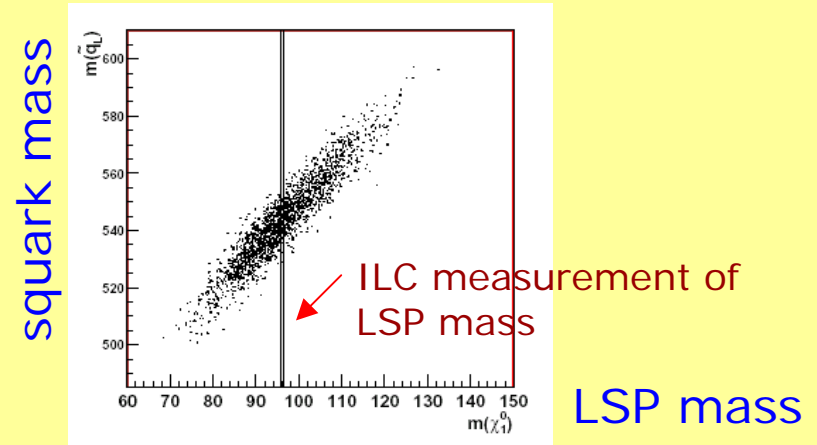


SUSY at ILC+LHC

1. ILC measurements improve LHC precision:

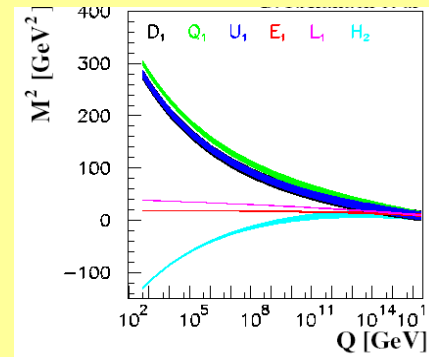
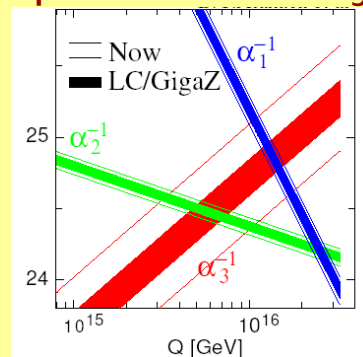
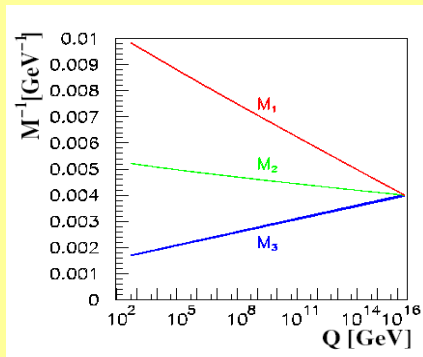
$\Delta m(\chi^0_1)$ @ LHC: 5 GeV
 $\Delta m(\chi^0_1)$ @ ILC: 0.05 GeV

(SPS1a)

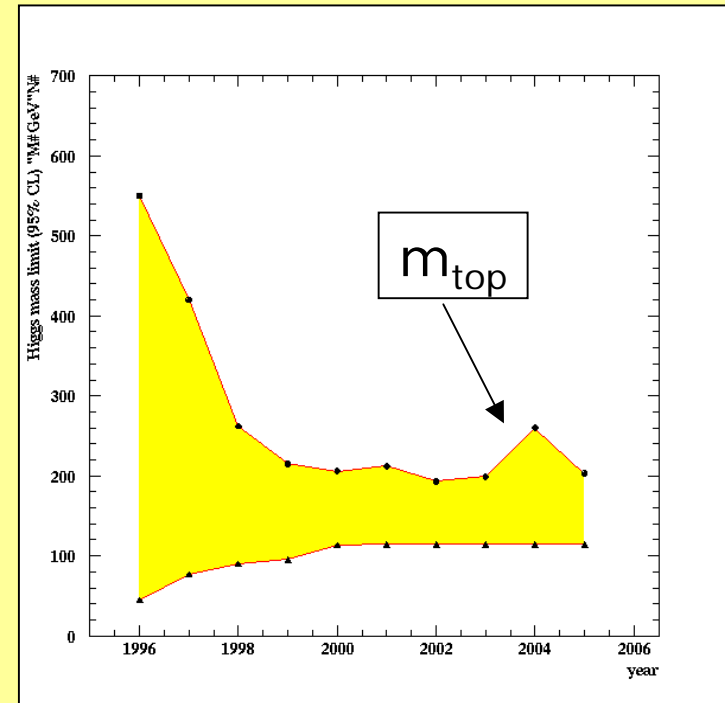
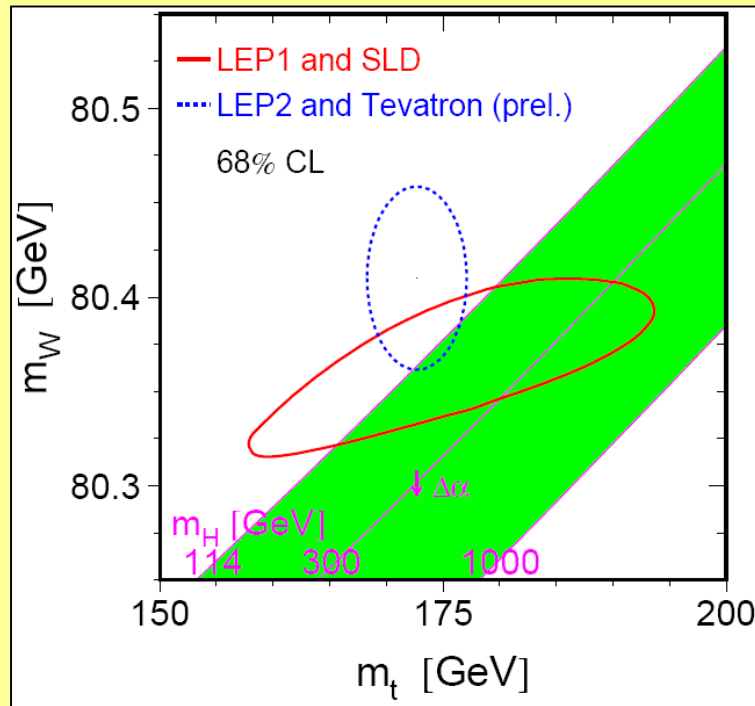


2. ILC precision + LHC mass reach for squarks/gluinos does allow for a general MSSM parameter determination (19 parameters)
 this will not be possible with either LHC or ILC alone – need both!

allows for model-independent study of GUT/Planck scale features:



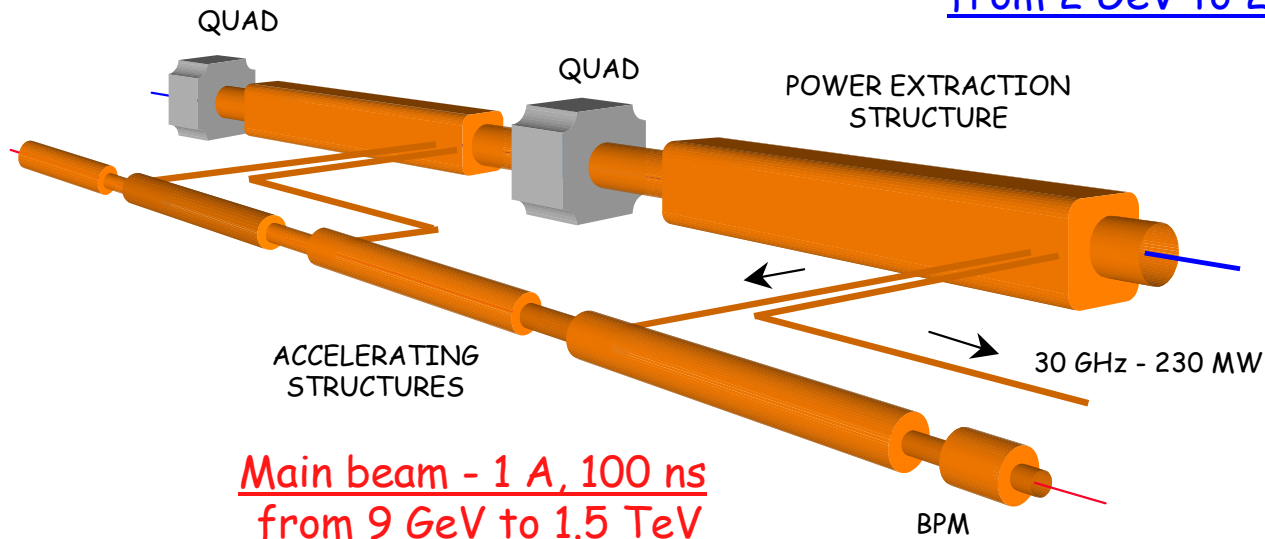
LEP+Tevatron: a success story



- led to understanding the SM at the **quantum level**
- possibility to predict phenomena at the TeV scale and beyond

CLIC Two-Beam scheme

Drive beam - 150 A, 130 ns
from 2 GeV to 200 MeV

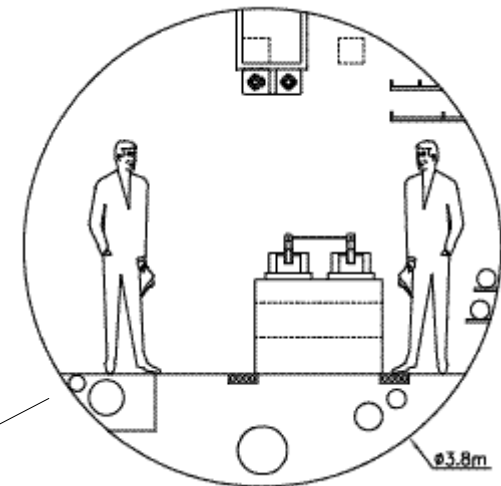


Main beam - 1 A, 100 ns
from 9 GeV to 1.5 TeV

CLIC MODULE

(6000 modules/linac at 3 TeV)

CLIC TUNNEL
CROSS-SECTION



3.8 m diameter

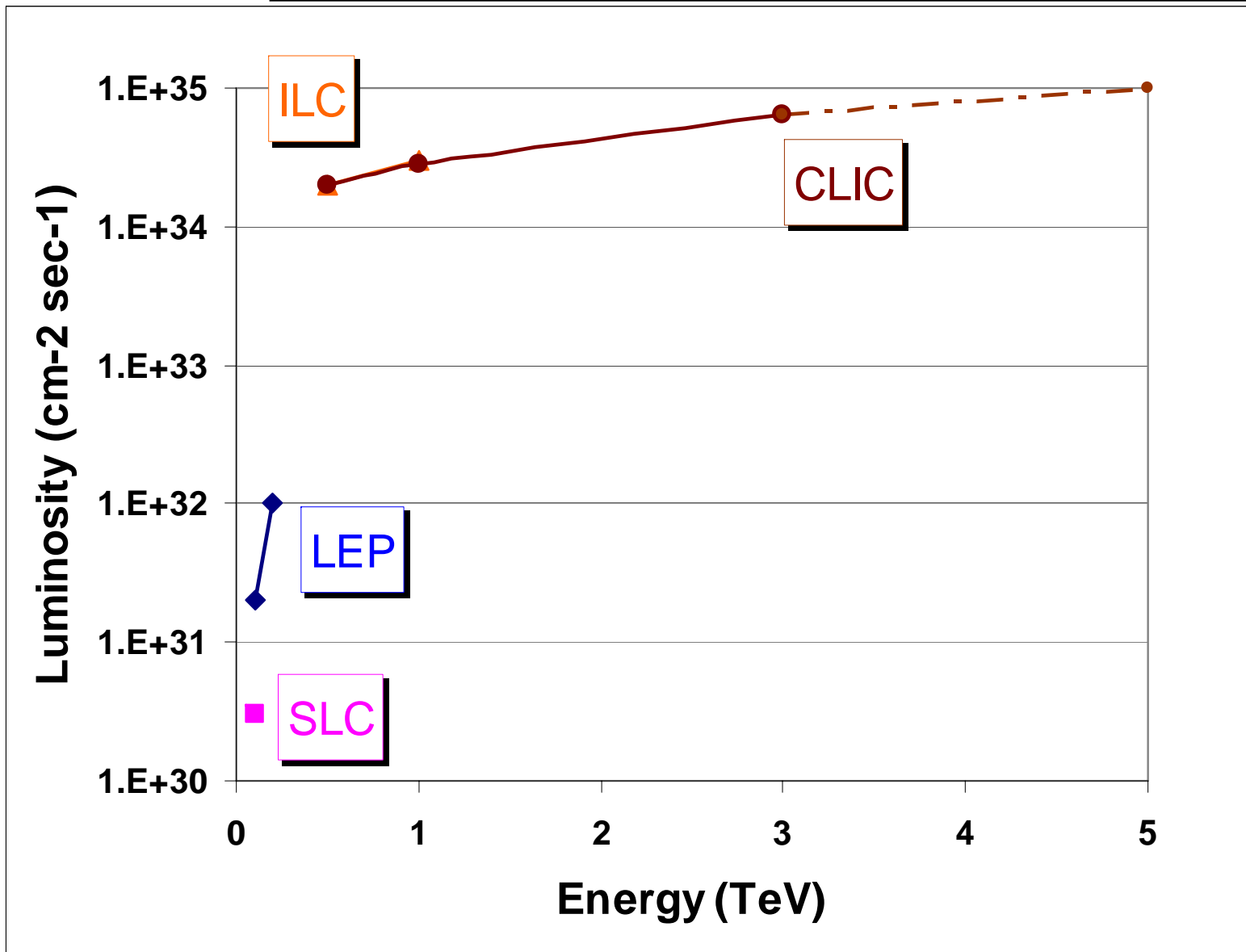
Physics case for multi-TeV e^+e^- at CLIC

Natural upgrade path of ILC program **if physics demands**

Physics highlights:

1. rare Higgs decays
2. improve on Higgs self coupling + extend mass range
3. more complete SUSY spectrum
4. extending mass reach new resonances, scans
5. study resonances of strong EWSB if within kinematic reach

Performances of Lepton Colliders



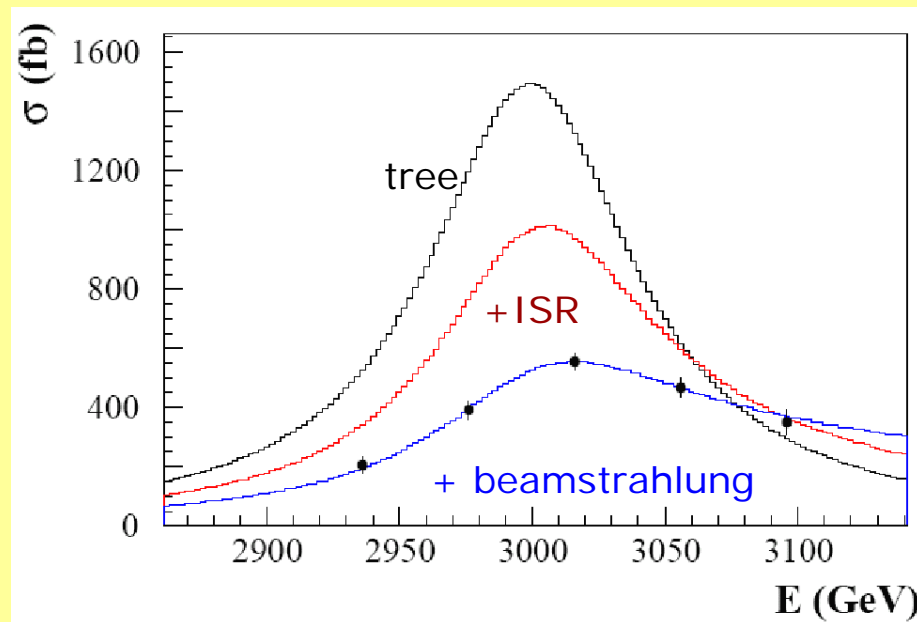
Compact Linear Collider CLIC

Two-beam acceleration: concept to reach multi-TeV → Raimondi

CLIC collaboration: R&D towards a 3(5) TeV collider with $L=10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Experimentation at CLIC: beamstrahlung becomes more severe

- forward coverage
- backgrounds
- precision of scans
- short bunch spacing (0.7 ns) challenges detector time resolution



lineshape scan
of a 3 TeV
dilepton resonance
at CLIC

Physics at a Muon Collider

100 GeV → Multi-TeV $\mu^+\mu^-$ Collider could emerge as a (major) upgrade of a Neutrino factory → Raimondi

Multi-TeV μ C could do same physics as multi-TeV e^+e^- if same luminosity can be achieved (seems hard → impossible)

advantage: no ISR, beamstrahlung → $\Delta E_b/E_b \sim 10^{-6}$?

disadvantage: huge backgrounds from μ decay

Unique Selling Point: s-channel Higgs production

2nd Summary: Lepton Colliders

- Outstanding physics potential for a 90-500-1000 GeV Linear Collider (top, Higgs-Mechanism, SUSY particles, indirect reach in multi-TeV region, precision measurements of new+SM processes) ILC technology is at hands – complete design soon
- CLIC may provide 3-5 TeV collisions. Potential to further increase direct + indirect mass reach. Physics justification needs TeV-scale data. Experimentation more difficult. Technology?
- Muon Collider (100 GeV – several TeV). Far future. Physics justification needs TeV-scale data. Technology?? Experimentation??

Sesje dyskusyjne

W 2 (+1) sesjach dyskusyjnych poświęconych przyszłym kolajderom głos zabrało około 75 osób prezentujących bardzo różnorodne stanowiska.

Główny wątek dyskusji:

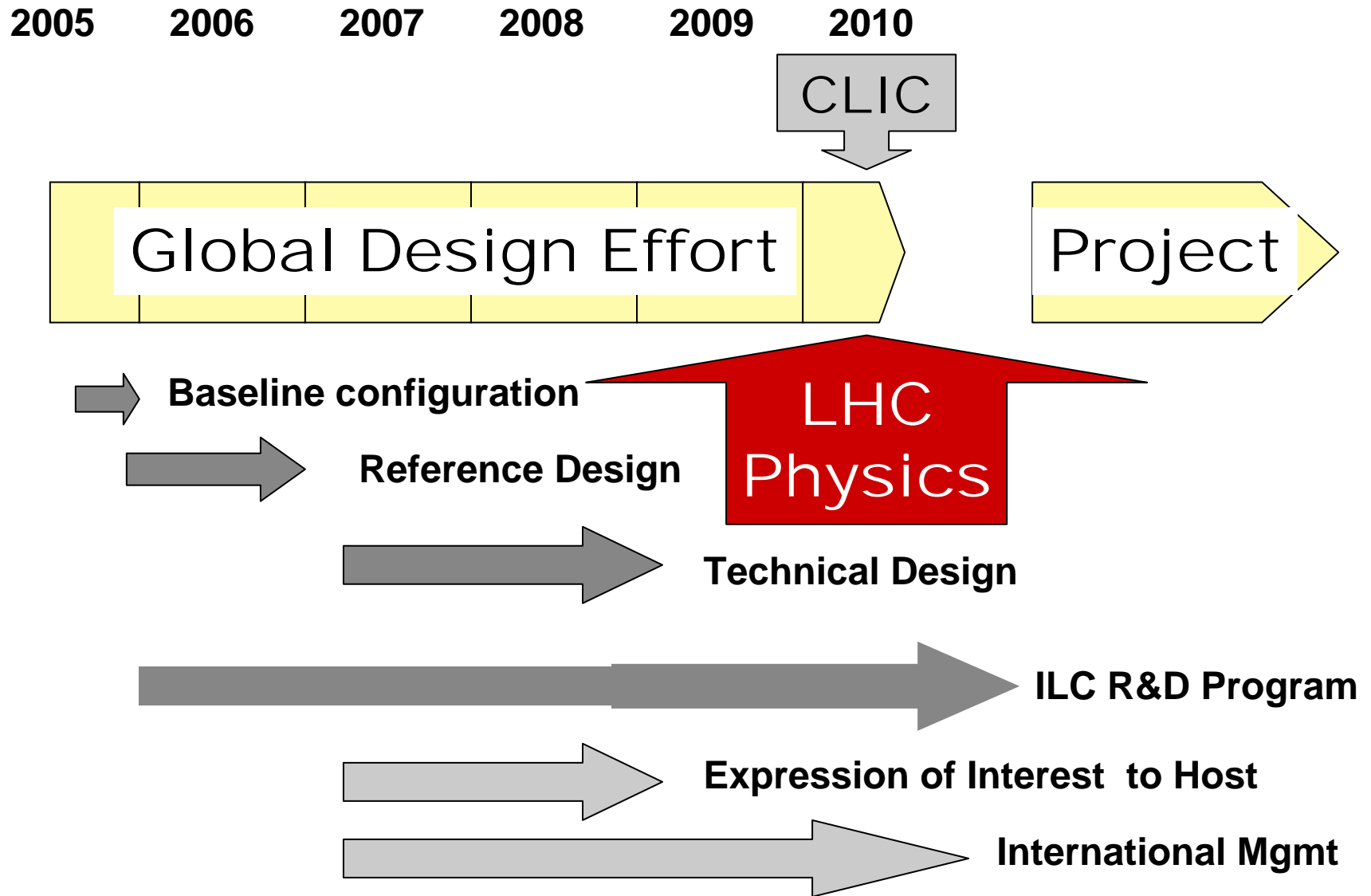
LHC ⇔ **ILC** ⇔ **CLIC**

- ⇒ Czy decyzja o budowie **ILC** powinna zależeć od wyników **LHC**?
- ⇒ Czy decyzja o budowie **ILC** powinna zależeć od wyników **CFT3**?

W dyskusji odwoływano się do

- argumentów **fizycznych**
- uwarunkowań politycznych, **finansowych** i społecznych
- oczekiwanego wpływu na **środowisko** HEP i przyszłość **CERN**

The GDE Plan and Schedule



Czy decyzja o budowie ILC powinna poczekać na wyniki LHC?

TAK

- Nie warto budować ILC jeśli nie ma “nowej fizyki” poniżej 1 TeV. Może nie być nawet higgosa...
- Wyniki LHC mogą wskazać, że inny kierunek badań jest bardziej potrzebny niż e^+e^-
- Bez wyników LHC bardzo trudno będzie zdobyć środki na ILC
- potrzebujemy wszystkich dostępnych środków przy uruchamianiu LHC
- modernizacja LHC musi mieć najwyższy priorytet

Czy decyzja o budowie ILC powinna poczekać na wyniki LHC?

NIE

- ILC jest jedynym projektem łączącym wysoką energię i precyzję pomiaru
- ILC potrzebny niezależnie od wyników LHC
 - brak sygnału “nowej fizyki” w LHC szczególnie wymaga pomiarów precyzyjnych - e^+e^- najlepsze
 - pomiary precyzyjne pozwolą określić naturę “nowej fizyki” (np. sprzężenia) nawet jeśli powyżej 1 TeV
 - badania kwarku t
- dla pełnego zrozumienia danych LHC potrzebne precyzyjne dane z ILC
 - ⇒ istotne jest nałożenie okresów działania LHC i ILC (brak selekcji)
 - ⇒ patrz LEP \Leftrightarrow Tevatron

Czy decyzja o budowie ILC powinna poczekać na wyniki LHC?

NIE

- nie wiadomo kiedy będą rozstrzygające wyniki z LHC
- nie wiadomo jak zdefiniować “rozstrzygające wyniki”
jak dużą świetlność trzeba będzie zebrać...
- brak ustalonej perspektywy czasowej utrudnia planowanie i starania o finansowanie
- jeśli mamy w ręku argumenty to powinniśmy starać się zdobyć środki
 (“walczyć o swoje”, a nie czekać)
- jedna działająca maszyna (na cały świat) to za mało
- brak ustalonej perspektywy czasowej naturalnie spowalnia projekt
- czekanie zniechęca zwłaszcza pokolenie młodych fizyków

Czy decyzja o technologii ILC powinna poczekać na wyniki CFT3?

TAK

- Cały program fizyczny ILC może być zrealizowany w CLIC
- Kilkukrotnie krótsza maszyna będzie z pewnością tańsza
- Budowa ILC poza CERN utrudni, a może nawet uniemożliwić finansowanie (poprzez CERN ?) zarówno ILC jak i CLIC

Czy decyzja o technologii ILC powinna poczekać na wyniki CFT3?

NIE

- Brak obecnie argumentów fizycznych za budową kolajdera e^+e^- powyżej 1 TeV
- Technologia nadprzewodząca została dopracowana pod kątem niezawodności, stabilności i kosztów w wyniku 15 lat badań.
- Technologia nadprzewodząca wybrana została ze względu na niższą częstotliwość
 - ⇒ większą stabilność, szanse na osiągnięcie zakładanej świetlności
 - ⇒ “CLIC dużo trudniejszy, ale musimy wierzyć...”
- Projekt CLIC gotowy będzie najwcześniej za 10 lat zakładając pozytywne wyniki z CFT3 w 2010

Dyskusja

Inne wątki dyskusji

LHC upgrade

Czy należy decydować już teraz o modernizacji LHC (i innych akceleratorów w CERN) ?

TAK

- Jest to priorytet niezależnie od wyników I fazy LHC.
- Koszt to tylko ułamek kosztu LHC/ILC.
- Stworzy możliwości także dla innych badań.

NIE

- Nie należy wyrzucać pieniędzy, nawet jeśli nie są duże.
- Należy poczekać na wyniki LHC (nie tylko fizyka).
- Potrzebne jest jeszcze dużo R&D, szczególnie dla detektorów.

Dyskusja

Inne wątki dyskusji

Czy CERN reprezentuje całą Europę?

TAK

- CERN należy do Europy ⇒ reprezentuje kraje członkowskie

NIE

- Europa to więcej niż kraje członkowskie CERN lub EU.
- Są inne gremia (ECFA, HEPAP) w większym stopniu reprezentatywne.
- Potrzebne jest nowe formalne gremium reprezentujące całą Europę
⇒ CERN Council jest tylko “pierwszym przybliżeniem”

Globalizacja

Nie możemy decydować sami.

Historia uczy, że może się to źle skończyć.

Trzeba włączyć w proces przygotowywania strategii przedstawicieli innych regionów.

(Some) Questions for Discussion from Klaus Desch's talk

(Remember: "Physics First")

1. What is the **physics** case for upgrades or new machines if LHC provides a null result?
2. Clear statements (ECFA, ACFA, HEPAP, ICFA, GSF,...) in 2001-2004 that a Linear Collider of up to at least 500 GeV, upgradeable to 1 TeV, should be the next major project and requires timely realization. Has the **physics** case changed since then?
3. Is there a clear **physics** case for multi-TeV lepton colliders **now**? At which energy?
4. What is the **physics** case for SLHC/DLHC? Which priority?
5. Muon Collider: any **physics** reason to discuss it (already) **now**?

5. Muon Collider: any physics reason to discuss it (already) **now**?

Muon Collider (energy reach upto several TeV):

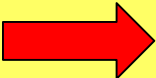
Time scale: beyond neutrino factory


Physics justification needs TeV-scale data

No controversial views raised in the discussion

4. What is the physics case for SLHC/DLHC? Which priority?


- LHC luminosity upgrade (SLHC) increases discovery reach by 20-30%, better precision for statistically limited processes.
- Energy upgrade (DLHC) has larger discovery reach.
- SLHC: natural extension of the LHC but physics case (at present) debated
- DLHC: requires physics justification from future data

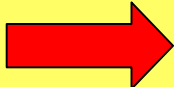
 SLHC: need to prepare with accelerator and detector R&D

 DLHC: magnet R&D required

3. Is there a clear physics case for a multi-TeV lepton collider now? At which energy?

Our current knowledge does not indicate a clear case for multi-TeV collisions

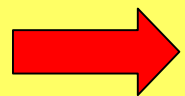
 need input from the LHC (and ILC) to set the scale

 need for continued accelerator R&D (CLIC)

2. Consensus statements in 2001-2004 that a Linear Collider of up to at least 500 GeV, upgradeable to 1 TeV, should be the next major project and requires timely realization. Has the physics case changed since then?

Unanimous view: physics case has not changed since 2001

- Physics case for 400 (500) GeV is solid (see ECFA statement)
- Technology is at hand



we are ready to go for it (GDE timescale)

In how far should the decision about ILC construction be connected to LHC results?

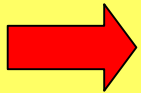
The bulk of the discussion was directed to this question
with differing opinions

YES: discussion of scenarios with limited ILC sensitivity

NO: Clearly outspoken (not only from the young generation):
coupling the ILC to LHC results leads to many drawbacks

- Time line is not well defined (moving target)
- Can lead to discouragement and tensions (what precisely should one demand to see in the LHC data?)

In how far should the decision about ILC construction be connected to LHC results?



Crucial to push ahead with ILC preparations for construction (GDE)

Upgrade / options depend on LHC+ILC(phase 1) findings (need flexibility)

Added value from concurrent running of LHC and ILC

1. What is the physics case for upgrades or new machines if LHC provides a null result?

Null result = no Higgs, no new physics

“Catastrophic” scenario (would be very interesting), does not invalidate the physics case for the ILC

Precision measurements at the ILC (and possible discoveries) will be crucial in this case

ILC input important for future road map

Podsumowanie

Moje podsumowanie dyskusji dotyczącej ILC

Z punktu widzenia

- oczekiwanych wyników fizycznych
powinniśmy zbudować ILC jak najszybciej
precyzyjne pomiary e^+e^- zawsze będą potrzebne
- uwarunkowań politycznych, finansowych i społecznych
bez wyników LHC trudniej zdobyć finansowanie (ale trzeba próbować)
budowa ILC utrudni realizację innych projektów
- oczekiwanego wpływu na środowisko HEP i przyszłość CERN
czekanie wpływa destrukcyjnie na środowisko
szybka budowa ILC (\Rightarrow poza CERN) nie leży w interesie CERN