

*Yarının ilmi nedir, halbuki? Gayet müthiş!
“Maddenin kudret-i zerriyesi” uğraştığı iş,*

Mehmet Akif ERSOY (1919)

Enerji ön-cephesi lepton-hadron çarpıştırıcıları: ışınlık ve fizik

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

TOBB ETÜ, Ankara

AMEA Fizika İnstitutu, Bakı

ATLAS, LHeC & FCC Collaborations, CERN

ssultansoy@etu.edu.tr

Sen geçenlerde demiştin ki:

“Yazık hâlâ biz,

Dünkü ilmin bile bîgânesiyiz, câhiliyiz.

İşte fıkdânı bu ihmâl edilen ma’rifetin,

Nesli bir acze düşürmüş ki, bugün, memleketin,

Bir yığın kuvveti var, hem ne tabîî de, henüz,

Biz o kuvvetlere eller gibi hâkim değiliz.

Yarının ilmi nedir, halbuki? Gâyet müdhiş:

“**Maddenin kudre-i zerriyesi**” uğraştığı iş.

O yaman kudrete hâkim olabilsem diyerek,

Sarf edip durmada birçok kafa binlerce emek.

Onu bir buldu mu, artık bu zemin; Başka zemin.

Çünkü bir damla kömürden edecekler te’min;

Öyle milyonla değil, nâ-mütenâhî kudret!..”

İbret al kendi sözünden, aman oğlum, gayret!



Nükleer

CERN, TAC
ve ötesi

Aldık mı?

Maddenin kudret-i zerriyesi:

En ileri düzeyde CERN’de inceleniyor – Türkiye asil üye olmalıdır!

Bizim coğrafyada irdelenmesi için TAC Super-Charm Fabrikası kurulmalıdır!

“Asla şüphem yoktur ki, Türklüğün unutulmuş medeni vasfı ve büyük medeni kabiliyeti, bundan sonraki inkişafı ile âtinin yüksek medeniyet ufkunda yeni bir güneş gibi doğacaktır.”

“Yurdumuzu dünyanın en mamur ve en medeni memleketleri seviyesine çıkaracağız. Milletimizi en geniş refah, vasıta ve kaynaklarına sahip kılacağız. **Millî kültürümüzü, muasır medeniyet seviyesinin üstüne çıkaracağız.**”



Hızlandırıcı Teknolojilerinde:

- Muasır medeniyet seviyesi **GeV enerjili lepton ve hadron** hızlandırıcılarına,
- Muasır medeniyet seviyesinin üstü ise **parçacık çarpıştırıcılarına sahip olmaktadır!!!**

Türk Hızlandırıcı Kompleksi projesi hepsini içeriyordu!!!

Parçacık çarpıştırıcılarının önemi vurgulanarak sınıflandırılması yapılacaktır.

Lepton-hadron etkileşmelerinin Yüksek Enerji Fiziğinin gelişimine katkıları özetlenecektir.

Lepton-hadron çarpıştırıcılarının ($e p$, μp , $e A$, μA) ana parametreleri ve fizik araştırma potansiyelleri irdelenecektir.

Bu çarpıştırıcılar kuvvetli etkileşmelerin anlaşılması (quark \rightarrow hadron \rightarrow çekirdekgeçiş) ve QCD'nin temellerinin aydınlatılması (özellikle confinement) açısından istisnai öneme sahiptir.

Buna ilaveten, hadron çarpıştırıcılardan alınan sonuçların doğru yorumlanması için gereken parton dağılım fonksiyonlarını temin edecektir.

SM ötesi fiziğe gelince, lepton-hadron çarpıştırıcılarının potansiyeli lepton çarpıştırıcıların üzerindedir ve birçok konuda hadron çarpıştırıcıları ile aynı düzeydedir (bazı konularda ise üzerindedir).

Maddenin kudret-i zerriyesi

=

Yüksek Enerji Fiziği

Nükleer Fizik

Nano-fizik ve teknoloji

Moleküler Biyoloji ve Genetik

...

Yüksek Enerji Fiziği

=

Parçacık Fiziği

Hızlandırıcılar

Algıçlar

Astrofizik

Kozmoloji

...

Neden Çarpıştırıcılara İhtiyaç Duyarız? (Kütle Merkezi Enerjisi)

Kütle Merkezi Enerjisi çarpışan parçacıkların kütleleri ihmal edilirse aşağıdaki şekilde ifade edilir ($\hbar=c=1$ sisteminde):

$$\sqrt{S} = 2\sqrt{E_1 E_2}$$

Simetrik çarpıştırıcılarda (çarpışan parçacıkların enerjileri aynı olduğunda):

$$\sqrt{S} = 2E$$

Durgun hedef deneylerinde (ikinci parçacık durgun olduğunda):

$$\sqrt{S} = 2\sqrt{E_1 m_2}$$

Yeni parçacıkların oluşabilmesi için $\sqrt{S} > \sum m_i$ olmalıdır. Burada m_i oluşan parçacıkların kütlelerini ifade eder. Yani **daha ağır parçacıkları keşfetmek için daha yüksek kütle merkezi enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.**

Kütle merkezi enerjisi arttıkça daha küçük mesafeleri inceleyebiliriz. (Heisenberg Belirsizliği)

Yaklaşık 1 eV enerjiye (görülebilir ışık) karşılık gelen mesafe yaklaşık 1 μm iken, 100 MeV enerjiye 1 fm mesafe karşılık gelir.

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Planck Sabiti

Momentum Transferi

Gözlemlenebilir Mesafe

Neden Çarpıştırıcılara İhtiyaç Duyarız? (Örnekler)

Simetrik Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısında (SLC, LEP) Z bozonu elde edebilmek için:

$$E_{e^+} = E_{e^-} = 45 \text{ GeV}$$

Sabit hedef kullanılırsa:

$$E'_{e^+} = \frac{2E_e^2}{m_e} = 7.9 \times 10^6 \text{ GeV}$$

Büyük hadron çarpıştırıcısında ulaşılan enerji:

$$E_p = 6.5 \text{ TeV}$$

Sabit hedef kullanılırsa:

$$E'_p = \frac{2E_p^2}{m_p} = 1.8 \times 10^5 \text{ TeV} = 1.8 \times 10^8 \text{ GeV}$$

Günümüz hızlandırıcı teknolojisi ile imkansızdır.

Temel parçacıkların standart modeli

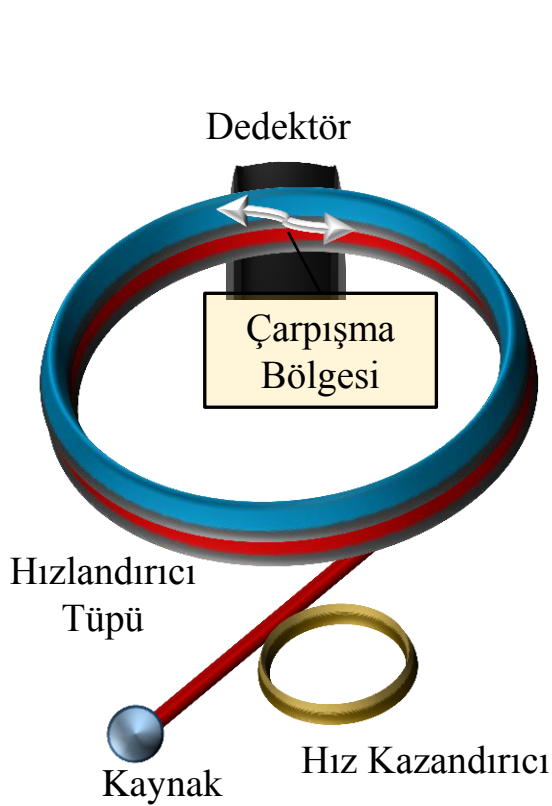
		maddenin üç nesli (fermionlar)				
		I	II	III		
kütle		$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
yük		2/3	2/3	2/3	0	0
spin		1/2	1/2	1/2	1	0
KUARKLAR		u yukarı	c tılsım	t üst	g gluon	H Higgs
		$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
		-1/3	-1/3	-1/3	0	
		1/2	1/2	1/2	1	
		d aşağı	s garip	b alt	γ foton	
LEPTONLAR		$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
		-1	-1	-1	0	
		1/2	1/2	1/2	1	
		e elektron	μ müon	τ tau	Z Z Bozonu	
		$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
		0	0	0	±1	
		1/2	1/2	1/2	1	
		ν_e elektron nötrinosu	ν_μ müon nötrinosu	ν_τ tau nötrinosu	W W Bozonu	
						SKALER BOZONLAR
						AYAR BOZONLARI

Çarpıştırıcılarda keşfedilen SM parçacıkları

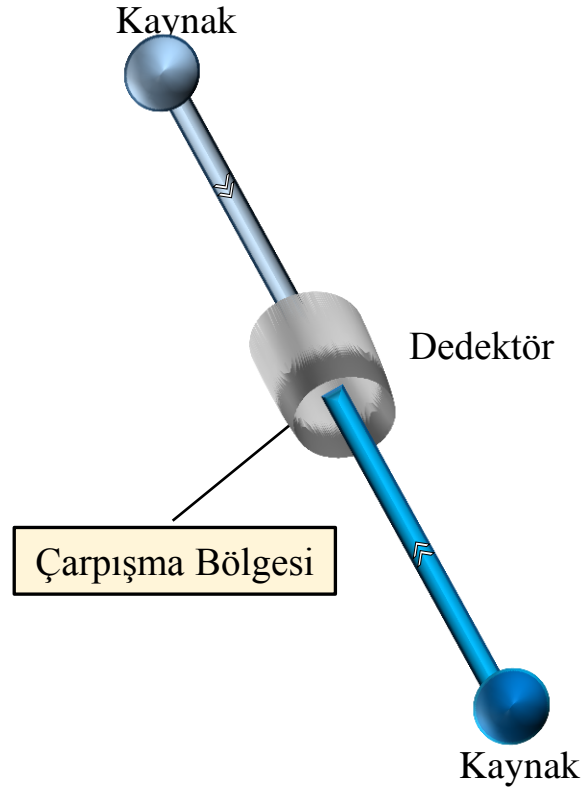
- **Tılsım (charm) kuark ve tau-lepton** 1974 yılında SLAC (ABD) ulusal laboratuvarındaki SPEAR elektron-pozitron çarpıştırıcısında bulundu.
- **Gluon** 1979 yılında DESY (Almanya) ulusal laboratuvarındaki PETRA elektron-pozitron çarpıştırıcısında bulundu.
- **W ve Z bozonları** 1983 yılında CERN'deki SPS (Super Proton Synchrotron) proton-antiproton çarpıştırıcısında bulundu.
- **Üst (top) kuark** 1995 yılında FNAL (ABD) ulusal laboratuvarındaki Tevatron proton-antiproton çarpıştırıcısında bulundu.
- **Higgs Bozonu** 2012 yılında Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) ile keşfedilmiştir.

Çarpıştırıcı Tipleri

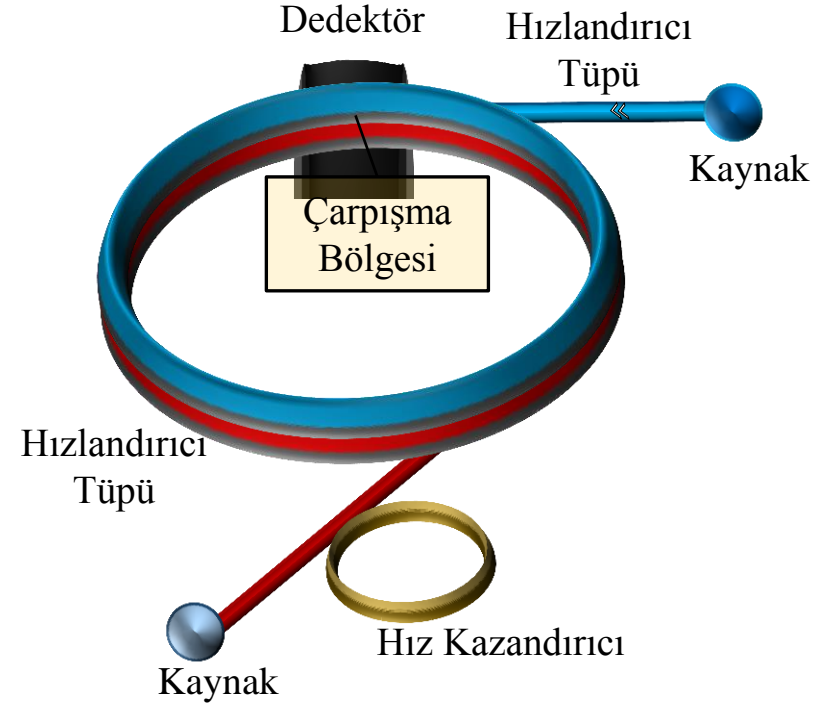
HALKA ÇARPIŞTIRICILAR



DOĞRUSAL ÇARPIŞTIRICILAR



LİNAK-HALKA TİPİ ÇARPIŞTIRICILAR



Çarpıştırıcılarda kullanılan Parçacıklar

Parçacıklar yüksek sayıda üretilebilmeli ve ömürleri yeterince yüksek olmalıdır

Leptonlar: e^- , e^+ , μ^- , μ^+

Elektronlar kararlıdır. Termionik gun ve foto-katod. 50 keV'lik termionik gun TOBB ETÜ YEF laboratuvarında (Gökhan, Görkem, Ümit) ve BOUN KahveLab'da (Gökhan, ...) üretildi ve çeşitli metallerin kaynağı yapıldı, 250 keV'lik termionik gun TARLA çerçevesinde üretildi gibi (kararlı elektron demeti elde edilebildi mi?)

Pozitron demetleri MeV enerjili elektron veya foton demeti kullanılarak üretiliyor.

Muon demetleri enerjisi 500 MeV üzerinde olan proton demeti kullanılarak üretiliyor.

Hadronlar: p , \bar{p} , A

Protonlar ve çekirdekler kararlıdır. Plazma oluşturularak elde ediliyor. MeV enerjili proton demeti SANAEM'de üretildi (Gökhan, Ali, Görkem, ...)

Anti-proton demetleri enerjisi 6 GeV üzerinde olan proton demeti kullanılarak üretiliyor.

Foton: γ

yüksek enerjili foton demetleri lazer fotonlarının yüksek enerjili elektron demetlerinden Compton geri saçılması ile elde ediliyor

Enerji ön-cephesi: çarpışan demetlere karşılık gelen çarpıştırıcı tipleri

Colliders	Ring-Ring	Linac-Linac	Linac-Ring
Hadron	+		
Lepton ($e^- e^+$)		+	
Lepton ($\mu^- \mu^+$)	+		
Lepton-hadron (eh)			+
Lepton-hadron (μh)	+		
Photon-hadron			+

Çarpıştırıcıların Temel Parametreleri

Kütle Merkezi Enerjisi

$$\sqrt{S} = 2\sqrt{E_1 E_2}$$

Işınlık

$$L = \frac{N_1 N_2}{4\pi \max[\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}] \max[\sigma_{y_1}, \sigma_{y_2}]} \min[f_1, f_2]$$

E karşılıklı gelen demetlerin sahip oldukları enerjilere; N, çarpışan demetlerin içerisinde parçacık sayılarına; σ , çarpışma anında demetlerin sahip olduğu enine boyutlarına; f saniyede gerçekleşen demet çarpışma sayısına karşılık gelmektedir.

Işınlık değeri gözlenecek olay sayısını belirler. $\mathcal{N} = L \times \sigma$ (burada σ incelenen sürecin tesir kesitini ifade eder).

Çarpıştırıcıların Temel Parametreleri

Halka çarpıştırıcılarda demet-demet ayar kayması (tune-shift):

$$\xi_{x_1} = \frac{Z_2 N_2 r_1 \beta_1^*}{2\pi\gamma_1 \sigma_{x_2} (\sigma_{x_2} + \sigma_{y_2})}$$

$$\xi_{y_1} = \frac{Z_2 N_2 r_1 \beta_1^*}{2\pi\gamma_1 \sigma_{y_2} (\sigma_{x_2} + \sigma_{y_2})}$$

Doğrusal çarpıştırıcılarda saçılma (disruption):

$$D_{x_1} = \frac{2Z_2 N_2 r_1 \sigma_{z_2}}{\gamma_1 \sigma_{x_2} (\sigma_{x_2} + \sigma_{y_2})}$$

$$D_{y_1} = \frac{2Z_2 N_2 r_1 \sigma_{z_2}}{\gamma_1 \sigma_{y_2} (\sigma_{x_2} + \sigma_{y_2})}$$

DeneySEL sınırlar: $\xi_p \leq 0.01$, $D_e \leq 25$

Enerji Ön Cephesi Çarpıştırıcıları ve Parçacık Fabrikaları

Enerji Ön Cephesi:

Yeni parçacıkların ve etkileşmelerin doğrudan aranması

Kütle merkezi enerjisi daha önemli

Parçacık Fabrikaları:

Bilinen parçacıkları çok sayıda üreterek özelliklerinin belirlenmesi üzerinden (nadir bozunumlar vb) yeni parçacıkların ve etkileşmelerin dolaylı aranması

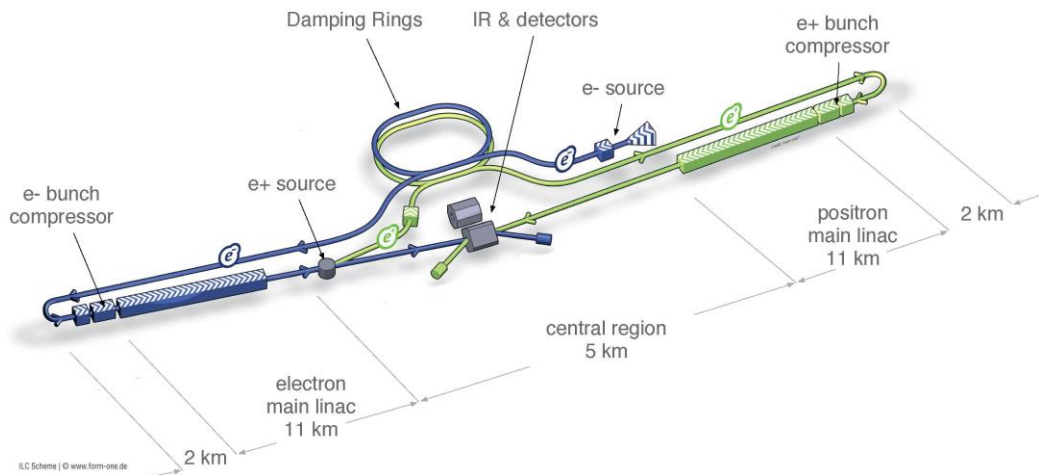
Işınlık daha önemli

Elektron-pozitron çarpıştırıcıları

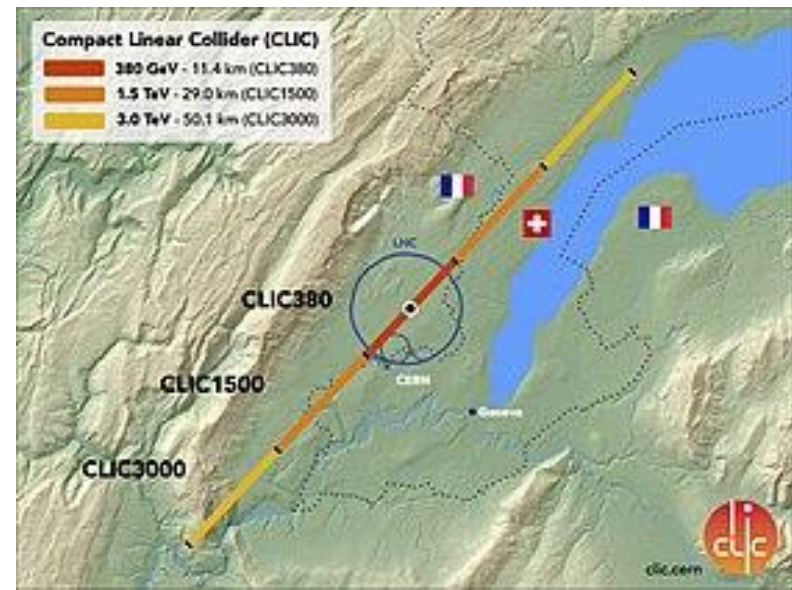
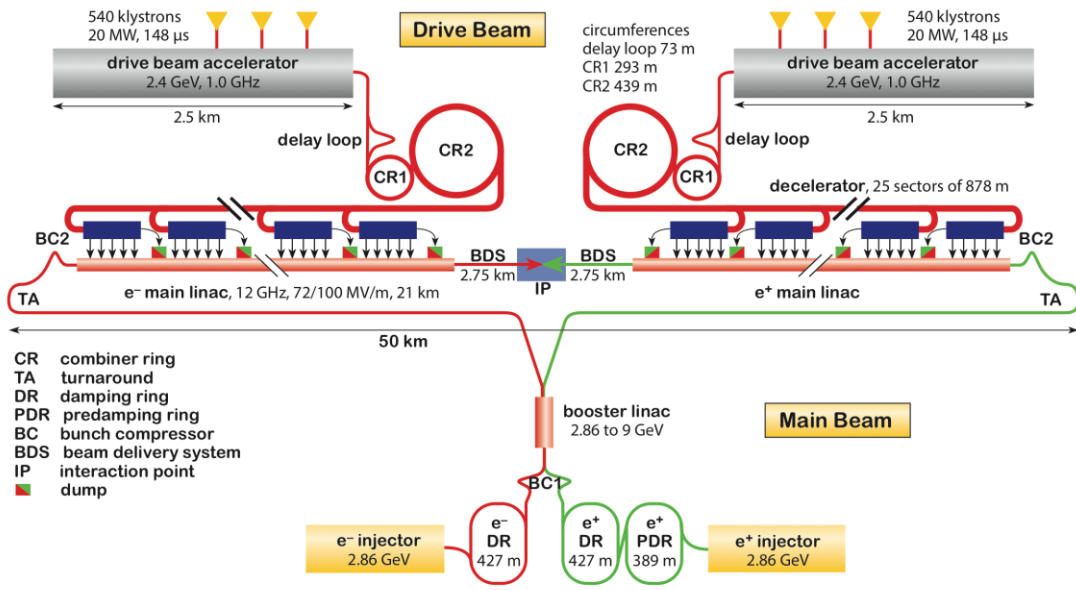
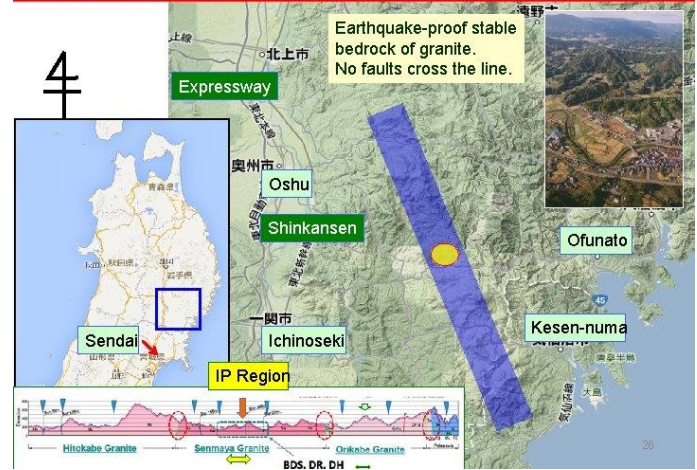
Lineer: **ILC (1 TeV)** , **CLIC (3 TeV)** , PWFA-LC (10 TeV)

Dairesel: FCC-ee (90 – 360 GeV), CEPC (90 – 360 GeV)

Muon arpıştırıcıları: 1.5, 3, 6, 14 TeV



ILC Site Candidate Location in Japan: Kitakami



Çok önemli gelişme

Jinst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: June 3, 2021

REVISED: October 20, 2021

ACCEPTED: November 29, 2021

PUBLISHED: December 16, 2021

A high-luminosity superconducting twin e^+e^- linear collider with energy recovery

V.I. Telnov

*Budker Institute of Nuclear Physics,
Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russia*

ABSTRACT: Superconducting technology makes it possible to build a high energy e^+e^- linear collider with energy recovery (ERLC) and reusable beams. To avoid parasitic collisions inside the linacs, a twin (dual) LC is proposed. In this article, I consider the principle scheme of the collider and estimate the achievable luminosity, which is limited by collision effects and available power. Such a collider can operate in a duty cycle (DC) and in a continuous (CW) modes, if sufficient power. With current SC Nb technology ($T = 1.8$ K, $f_{RF} = 1.3$ GHz, used for ILC) and with power $P = 100$ MW, a luminosity $L \sim 0.33 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ is possible at the Higgs factory with $2E_0 = 250$ GeV. Using superconductors operating at 4.5 K with high Q_0 values, such as Nb_3Sn , and $f_{RF} = 0.65$ GHz, the luminosity can reach $L \sim 1.4 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at $2E_0 = 250$ GeV (with $P = 100$ MW) and $L \sim 0.8 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at $2E_0 = 500$ GeV (with $P = 150$ MW), which is almost two orders of magnitude greater than at the ILC, where the beams are used only once. This technology requires additional efforts to obtain the required parameters and reliably operation. Such a collider would be the best machine for precision Higgs studies, including the measurement of Higgs self-coupling.

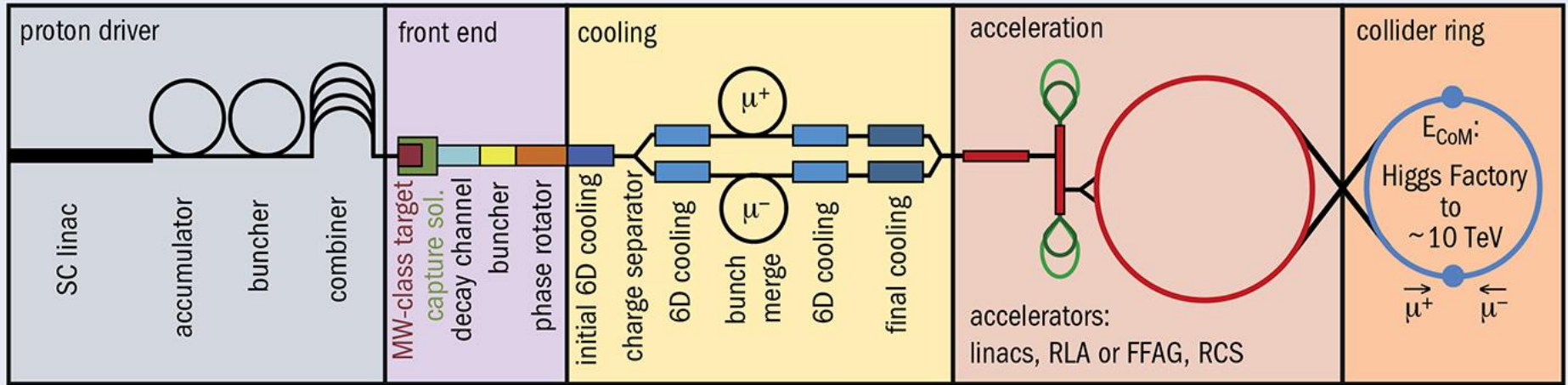
ILC'nin ışınık değeri iki merteye artırılabilir ve FCC-ee ve CEPC ile aynı merteye ulaşıyor

Maliyet %30 artıyor

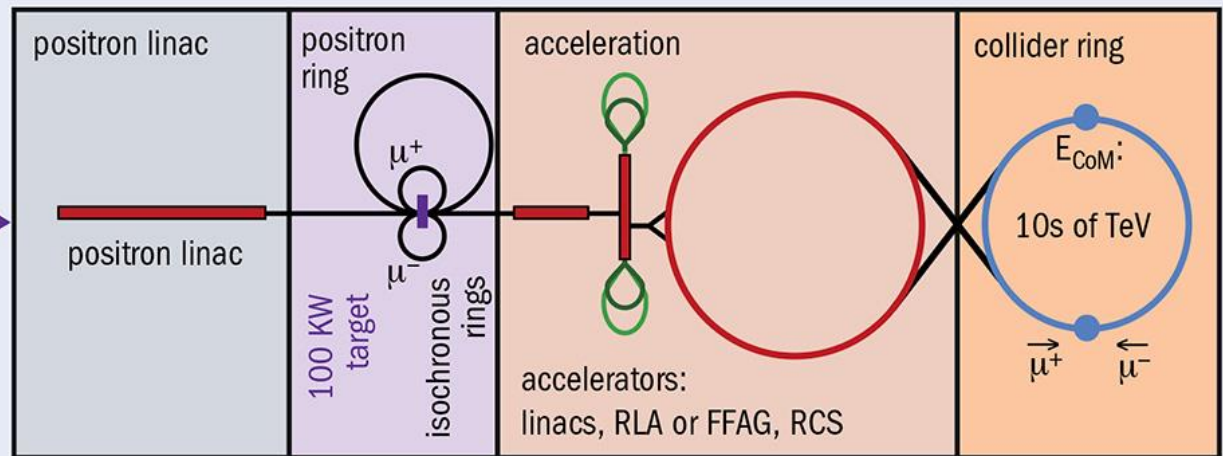
ILC'nin ERLC versiyonu Japonya'da kurulur ise FCC-ee ve CEPC'e gerek kalmıyor !!

FCC-hh ve FCC-lh öne çıkıyor !!!

Muon Çarpıştırıcıları



Low EMittance Muon Accelerator (LEMMA):
 10^{11} μ pairs/sec from e^+e^- interactions. The small production emittance allows lower overall charge in the collider rings – hence, lower backgrounds in a collider detector and a higher potential centre-of-mass energy while mitigating neutrino radiation from muon decays.



Bak Christian Carli, UPHUK-8

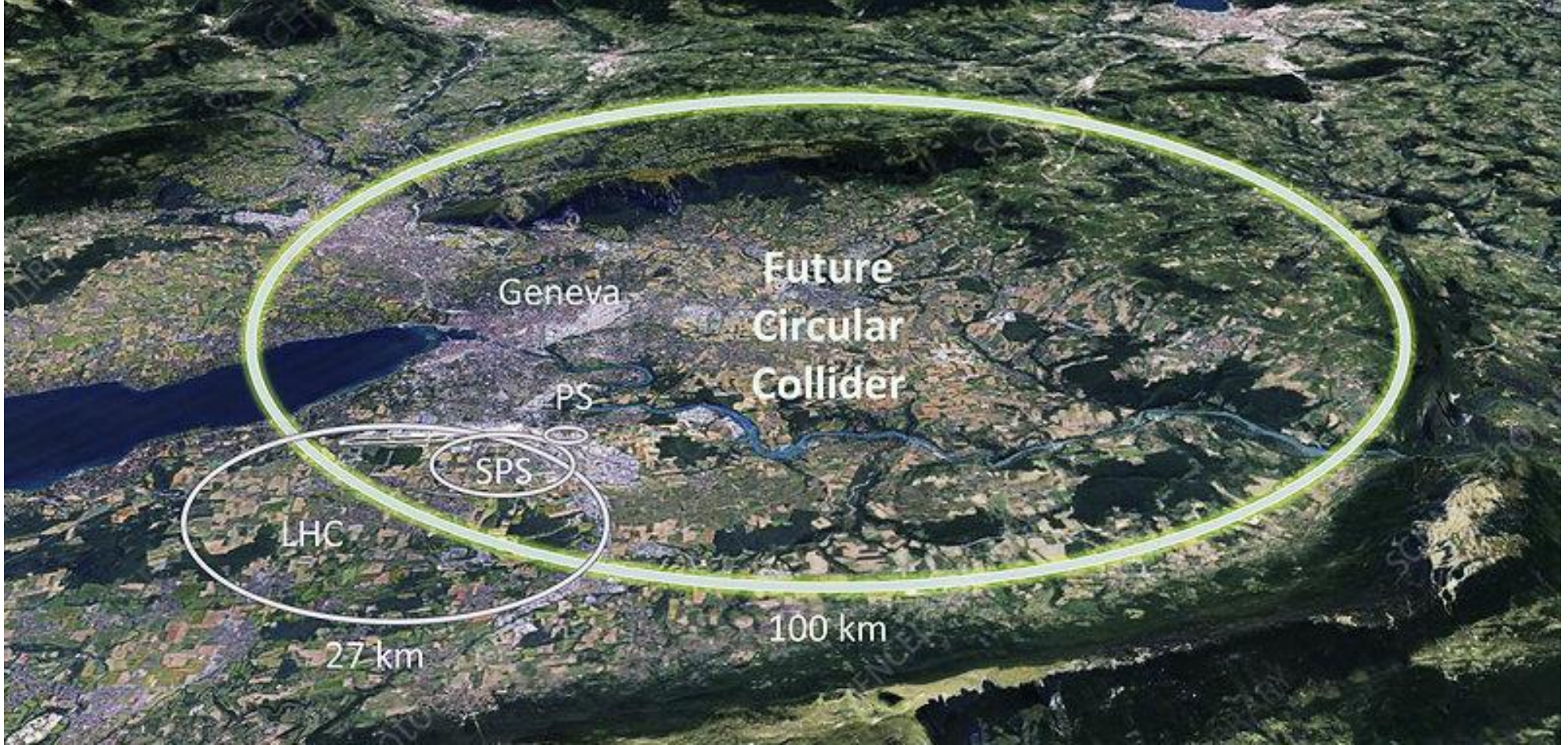
https://indico.cern.ch/event/1149205/contributions/4836421/attachments/2502550/4299173/22_09_05_UPHUK_Muon_Collider.pdf

Hadron çarpıştırıcıları https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accelerators_in_particle_physics#Colliders

Accelerator	Location	Years of operation	Shape and size	Particles collided	Beam energy	Experiments
Intersecting Storage Rings	CERN	1971–1984	Circular rings (948 m around)	Proton/Proton	31.5 GeV	
Super Proton Synchrotron/SppS	CERN	1981–1984	Circular ring (6.9 km around)	Proton/Antiproton	270-315 GeV	UA1, UA2
Tevatron Run I	Fermilab	1992–1995	Circular ring (6.3 km around)	Proton/Antiproton	900 GeV	CDF, D0
Tevatron Run II	Fermilab	2001–2011	Circular ring (6.3 km around)	Proton/Antiproton	980 GeV	CDF, D0
Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) polarized proton mode	Brookhaven National Laboratory, New York	2001–present	Hexagonal rings (3.8 km circumference)	Polarized Proton/Proton	100-255 GeV	PHENIX, STAR
Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) ion mode	Brookhaven National Laboratory, New York	2000–present	Hexagonal rings (3.8 km circumference)	$d-^{197}\text{Au}^{79+}$; $^{63}\text{Cu}^{29+}$, $^{63}\text{Cu}^{29+}$; $^{63}\text{Cu}^{29+}$, $^{197}\text{Au}^{79+}$; $^{197}\text{Au}^{79+}$, $^{197}\text{Au}^{79+}$; $^{238}\text{U}^{92+}$, $^{238}\text{U}^{92+}$	3.85-100 GeV per nucleon	STAR, PHENIX, BRAHMS, PHOBOS
Large Hadron Collider (LHC) proton mode	CERN	2008–present	Circular rings (27 km circumference)	Proton/Proton	6.5 TeV (design: 7 TeV)	ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, TOTEM
Large Hadron Collider (LHC) ion mode	CERN	2010–present	Circular rings (27 km circumference)	$^{208}\text{Pb}^{82+}$, $^{208}\text{Pb}^{82+}$; Proton- $^{208}\text{Pb}^{82+}$	2.76 TeV per nucleon	ALICE, ATLAS, CMS, LHCb

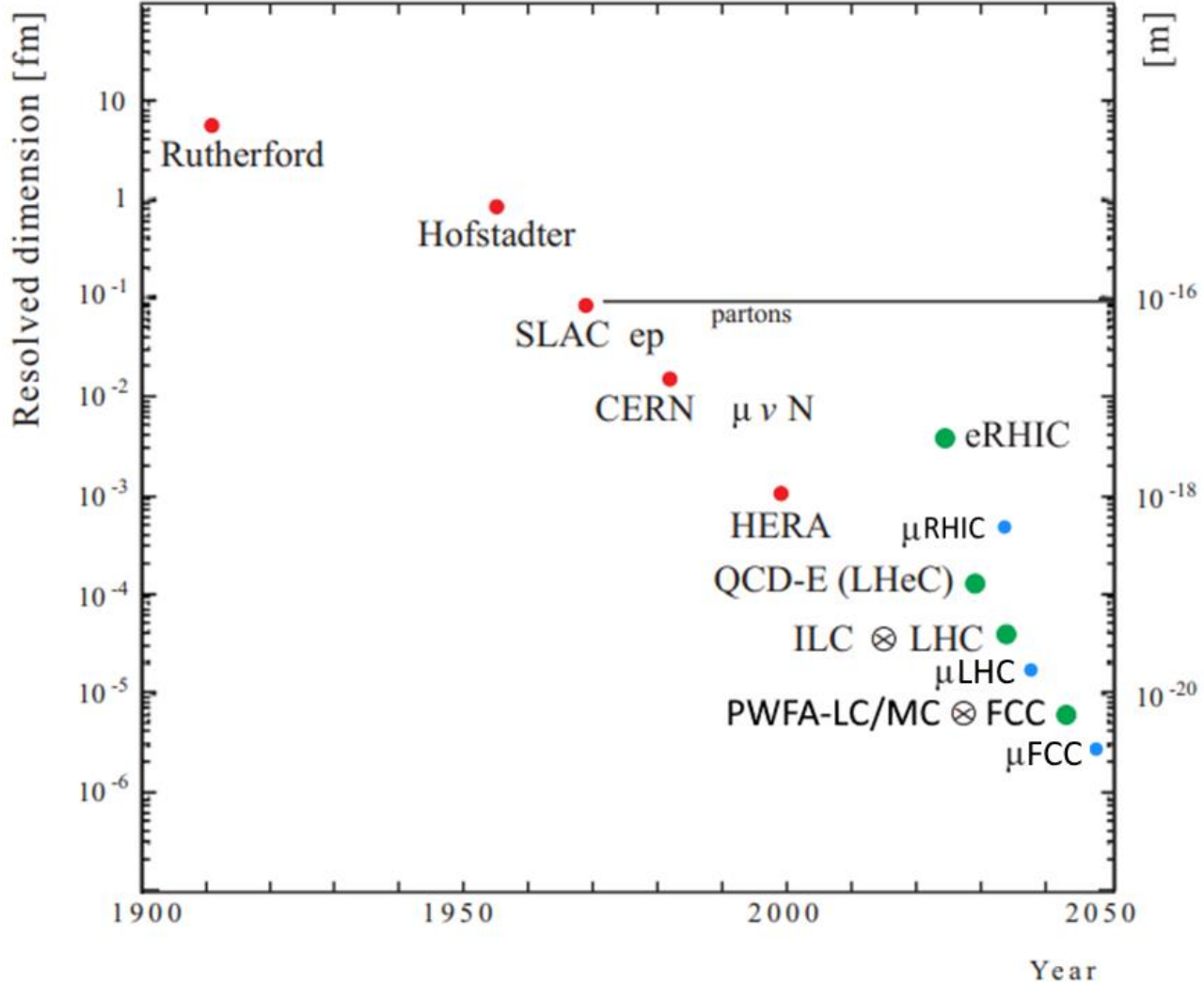
FCC (100 TeV), SppC (70 ? TeV)

Gelecek Dairesel arpıştırıcı



Bak Frank Zimmermann'ın UPHUK-8 sunumu

<https://indico.cern.ch/event/1149205/contributions/4836420/attachments/2502211/4298537/FCC-UPHUK2022.pdf>



Rutherford deneyi: son yüzyılın bilim ve yüksek teknolojinin temeli

Hofstadter deneyi: formfactorlar (nükleonların iç yapısı)

SLAC: partonları (kuarklar) buldu

CERN EMC: çekirdekler proton ve nötronların toplamından daha zengindir

HERA: Tevatron ve LHC verilerinin doğru yorumu için pdf'leri temin etti

Elektron-proton çarpıştırıcıları

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accelerators_in_particle_physics#Colliders

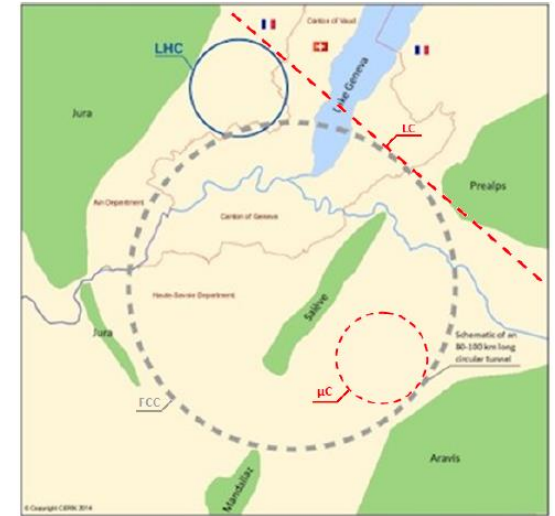
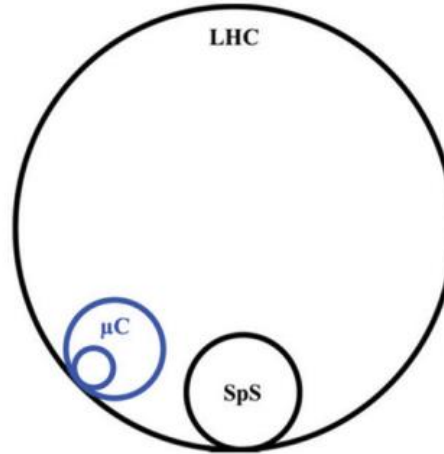
Accelerator	Location	Years of operation	Shape and size	Electron energy	Proton energy	Experiments
HERA	DESY	1992–2007	Circular ring (6336 meters around)	27.5 GeV	920 GeV	H1, ZEUS, HERMES experiment, HERA-B

HL-LHC based: LHeC (ep, eA), μ -LHC

HE-LHC based: ep, eA, μ p, μ A, γ p, γ A

FCC based: ep, eA, μ p, μ A, γ p, γ A

SppC based: ep, eA, μ p, μ A, γ p, γ A



Enerji ön-cephesi lepton-hadron çarpıştırıcıları konusunda Türk Fizikçileri belirleyici konumdadır.

REVIEW OF LINAC-RING-TYPE COLLIDER PROPOSALS

A. N. AKAY,* H. KARADENIZ† and S. SULTANSOY*,‡,§

*TOBB University of Economics and Technology, Physics Section, Ankara, Turkey

†Turkish Atomic Energy Authority, SANAEM, Ankara, Turkey

and

‡Azerbaijan Academy of Science, Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

§ssultansoy@etu.edu.tr

Received 11 February 2010

There are three possible types of particle colliders schemes: familiar (well-known) ring-ring colliders, less familiar but sufficiently advanced linear colliders, and less familiar and less advanced linac-ring-type colliders. The aim of this paper is twofold: to present a possibly complete list of papers on linac-ring-type collider proposals and to emphasize the role of linac-ring-type machines for future HEP research.



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Future circular collider based lepton-hadron and photon-hadron colliders: Luminosity and physics



Y.C. Acar^a, A.N. Akay^a, S. Beser^a, A.C. Canbay^{a,b}, H. Karadeniz^c, U. Kaya^{a,b}, B.B. Oner^{a,*}, S. Sultansoy^{a,d}

^aTOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey

^bAnkara University, Ankara, Turkey

^cGiresun University, Giresun, Turkey

^dANAS Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

Construction of future electron-positron colliders (or dedicated electron linac) and muon colliders (or dedicated muon ring) tangential to Future Circular Collider (FCC) will give opportunity to utilize highest energy proton and nucleus beams for lepton-hadron and photon-hadron collisions. Luminosity values of FCC based ep , μp , eA , μA , γp and γA colliders are estimated. Multi-TeV center of mass energy ep colliders based on the FCC and linear colliders (LC) are considered in detail. Parameters of upgraded versions of the FCC proton beam are determined to optimize luminosity of electron-proton collisions keeping beam-beam effects in mind. Numerical calculations are performed using a currently being developed collision point simulator. It is shown that $L_{ep} \sim 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ can be achieved with LHeC-like upgrade of the FCC parameters. Moreover, “dynamic focusing” scheme could provide opportunity to handle $L_{ep} \gtrsim 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

During last decades colliders have provided most of our knowledge on fundamental constituents of matter and their interactions. Particle

this type of colliding particles (for example; linac-ring type colliders will give opportunity to achieve highest center of mass energy for ep collisions). Concerning the center-of-mass energy: hadron colliders provide highest values (for this reason they are considered as “dis-

Research Article

SppC Based Energy Frontier Lepton-Proton Colliders: Luminosity and Physics

Ali Can Canbay,^{1,2} Umit Kaya,^{1,2} Bora Ketenoglu,³
Bilgehan Baris Oner,¹ and Saleh Sultansoy^{1,4}

¹TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey

²Department of Physics, Ankara University, Ankara, Turkey

³Department of Engineering Physics, Ankara University, Ankara, Turkey

⁴ANAS Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

Correspondence should be addressed to Umit Kaya; umit.kaya@cern.ch

Received 14 April 2017; Accepted 15 June 2017; Published 1 August 2017

Academic Editor: Juan José Sanz-Cillero

Copyright © 2017 Ali Can Canbay et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The publication of this article was funded by SCOAP³.

Main parameters of Super proton-proton Collider (SppC) based lepton-proton colliders are estimated. For electron beam parameters, highest energy International Linear Collider (ILC) and Plasma Wake Field Accelerator-Linear Collider (PWFA-LC) options are taken into account. For muon beams, 1.5 TeV and 3 TeV center of mass energy muon collider parameters are used. In addition, ultimate μp collider which assumes construction of additional 50 TeV muon ring in the SppC tunnel is considered. It is shown that luminosity values exceeding $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ can be achieved with moderate upgrade of the SppC proton beam parameters. Physics search potential of proposed lepton-proton colliders is illustrated by considering small Björken x region as an example of SM physics and resonant production of color octet leptons as an example of BSM physics.

Luminosity and physics considerations on HL-LHC– and HE-LHC–based μp colliders

UMIT KAYA¹, BORA KETENOGLU^{2(a)}, SALEH SULTANSOY³ and FRANK ZIMMERMANN⁴

¹ Institute of Science, Istinye University - Istanbul, Turkey

² Department of Engineering Physics, Ankara University - Ankara, Turkey

³ Department of Materials Science and Nanotechnology Engineering, TOBB University of Economics and Technology Ankara, Turkey

⁴ CERN - Geneva, Switzerland

received 22 December 2021; accepted in final form 27 January 2022
published online 19 May 2022

Abstract – Construction of the future muon collider tangential to the Large Hadron Collider will give opportunity to realize μp collisions at multi-TeV center-of-mass energies. Using the nominal parameters of high-luminosity and high-energy upgrades of the LHC, as well as the design parameters of muon colliders, it is shown that $L_{\mu p}$ of the order of $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ is achievable for different options with $\sqrt{s_{\mu p}}$ from 4.58 TeV to 12.7 TeV. Certainly, the proposed μp colliders have a huge potential for clarifying QCD basics and searches for new physics.

Copyright © 2022 EPLA

Introduction. – It is known that lepton-hadron collisions play a crucial role in our understanding of mat- TeV energy muon-proton colliders [7,8] were proposed two decades ago as alternatives to linac-HERA– and linac-

LHeC Projesi (CERN)

A Large Hadron electron Collider at CERN. Webpage:

<http://lhec.web.cern.ch/>

Mirror site:

<http://www.ep.ph.bham.ac.uk/exp/LHeC/>

CDR is published in Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics
Volume 39, Number 7, July 2012.



LHeC CDR

Abstract

The physics programme and the design are described of a new electron-hadron collider, the LHeC, in which electrons of 60 to possibly 140 GeV collide with LHC protons of 7000 GeV. With an ep design luminosity of about $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, the Large Hadron Electron Collider exceeds the integrated luminosity collected at HERA by two orders of magnitude and the kinematic range by a factor of twenty in the four-momentum squared, Q^2 , and in the inverse Bjorken x . The physics programme is devoted to an exploration of the energy frontier, complementing the LHC and its discovery potential for physics beyond the Standard Model with high precision deep inelastic scattering (DIS) measurements. These are projected to solve a variety of fundamental questions in strong and electroweak interactions. The LHeC thus becomes the world's cleanest high resolution microscope, designed to continue the path of deep inelastic lepton-hadron scattering into unknown areas of physics and kinematics. The physics programme also includes electron-ion (eA) scattering into a $(Q^2, 1/x)$ range extended by four orders of magnitude as compared to previous lepton-nucleus DIS experiments. The LHeC may be realised either as a ring-ring or as a linac-ring collider. Optics and beam dynamics studies are presented for both versions, along with technical design considerations on the interaction region, magnets, cryogenics, RF, civil engineering and further components. A design study is also presented of a detector suitable to perform high precision DIS measurements in a wide range of acceptance using state-of-the-art detector technology, which is modular and of limited size enabling its fast installation. The detector includes tagging devices for electron, photon, proton and neutron detection near to the beam pipe. The LHeC is designed to be built and operated while the LHC runs. It is a major opportunity for progress in particle physics and further exploits the investment made in the LHC.

LHeC Study Group

C. Adolphsen³⁹, S. Alekhin^{40, 11}, A.N. Akai⁰¹, H. Aksakal³⁹, P. Allport¹⁷, J.L. Albacete³⁷, V. Andreev²⁵, R.B. Appleby²³, N. Armesto³⁸, G. Azuelos²⁶, M. Bai¹⁷, D. Barber¹¹, J. Bartels¹², J. Behr¹¹, O. Behnke¹¹, S. Belyaev¹⁰, I. Ben Zvi⁴⁷, N. Bernard¹⁶, S. Bertolucci¹⁰, S. Bettoni¹⁰, S. Biswal³², J. Bluemlein¹¹, H. Boettcher¹¹, H. Braun⁴⁸, S. Brodsky³⁹, A. Bogacz²⁸, C. Bracco¹⁰, O. Bruening¹⁰, E. Bulyak⁰⁸, A. Bunyatian¹¹, H. Burkhardt¹⁰, I.T. Cakir⁵³, O. Cakir⁵³, R. Calaga⁴⁷, E. Ciapala¹⁰, R. Ciftci⁰¹, A.K. Ciftci⁰⁹, B.A. Cole²⁹, J.C. Collins⁴⁶, J. Dainton¹⁷, A. De Roeck¹⁰, D. d'Enterria¹⁰, A. Dudarev¹⁰, A. Eide⁴³, E. Eroglu⁴⁵, K.J. Eskola¹⁴, L. Favart⁰⁶, M. Fitterer¹⁰, S. Forte²⁴, P. Gambino⁴², T. Gehrmann⁵⁰, C. Glasman²², R. Godbole²⁷, B. Goddard¹⁰, T. Greenshaw¹⁷, A. Guffanti⁰⁹, V. Guzey²⁸, C. Gwenlan³⁴, T. Han³⁶, Y. Hao⁴⁷, F. Haug¹⁰, W. Herr¹⁰, B. Holzer¹⁰, M. Ishitsuka⁴¹, M. Jaquet³³, B. Jeanneret¹⁰, J.M. Jimenez¹⁰, H. Jung¹¹, J.M. Jowett¹⁰, I. Karadeniz³⁴, D. Kayran⁴⁷, F. Kocac⁴⁶, A. Kilic⁴⁵, K. Kimura⁴¹, M. Klein¹⁷, U. Klein¹⁷, T. Kluge¹⁷, G. Kramer¹², M. Korostelev²³, A. Kosmicki¹⁰, P. Kostka¹¹, H. Kowalski¹¹, D. Kuchler¹⁰, M. Kuze⁴¹, T. Lappi¹⁴, P. Laycock¹⁷, E. Levichev³¹, S. Levonian¹¹, V.N. Litvinenko⁴⁷, A. Lombardi¹⁰, C. Marquet¹⁰, B. Mellado⁰⁷, K.H. Mess¹⁰, S. Moch¹¹, I.I. Morozov³¹, Y. Muttoni¹⁰, S. Myers¹⁰, S. Nandi²⁶, P.R. Newman⁰³, T. Omori⁴⁴, J. Osborne¹⁰, Y. Papaphilippou¹⁰, E. Paoloni³⁵, C. Pascaud³³, H. Paukkunen³⁸, E. Perez¹⁰, T. Pieloni¹⁵, E. Pilicer⁴⁵, A. Polini⁰⁴, V. Ptitsyn⁴⁷, Y. Pupkov³¹, V. Radescu¹³, S. Raychaudhuri²⁷, L. Rinaldi¹⁰, R. Rohini²⁷, J. Rojo²⁴, S. Russenschuck¹⁰, C.A. Salgado³⁸, K. Sampei⁴¹, E. Sauvan¹⁵, M. Sahin⁰¹, U. Schneekloth¹¹, A.N. Skrinsky³¹, T. Schoerner Sadenius¹¹, D. Schulte¹⁰, H. Spiesberger²¹, A.M. Stasto⁴⁶, M. Strikman⁴⁶, M. Sullivan³⁹, B. Surrow⁰⁵, S. Sultansoy⁰¹, Y.P. Sun³⁹, W. Smith²⁰, I. Tapan⁴⁵, P. Taelis⁰², E. Tassi⁵², H. Ten Kate¹⁰, J. Terron²², H. Thiesen¹⁰, L. Thompson²³, K. Tokushuku⁴⁴, R. Tomas Garcia¹⁰, D. Tommasini¹⁰, D. Trbojevic⁴⁷, N. Tsoupas⁴⁷, J. Tuckmantel¹⁰, S. Turkoc⁵³, K. Tywoniuk¹⁸, G. Unel¹⁰, J. Urakawa⁴⁴, P. Van Mechelen⁰², A. Variola³⁷, R. Veness¹⁰, A. Vivoli¹⁰, P. Vobly³¹, R. Wallny⁵¹, G. Watt¹⁰, G. Weiglein¹², C. Weiss²⁸, U.A. Wiedemann¹⁰, U. Wienands³⁹, F. Willeke⁴⁷, V. Yakimenko⁴⁷, A.F. Zarnecki⁴⁹, F. Zimmermann¹⁰, F. Zomer³³

⁰¹ TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey

⁰² University of Antwerpen, Belgium

⁰³ University of Birmingham, UK

⁰⁴ University of Bologna, Italy

²⁹ Columbia University, New York, USA

³⁰ Nigde University, Turkey

³¹ Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, 630090 Russia

³² Orissa University, India

⁴³ NTNU, Trondheim, Norway

⁴⁴ KEK, Tsukuba, Japan

⁴⁵ Uludag University, Turkey

⁴⁶ Pennsylvania State University, USA

⁵¹ ETH Zurich, Switzerland

⁵² INFN Gruppo Collegato di Cosenza and Università della Calabria, Italy

⁵³ University of Ankara, Turkey

⁵⁴ SANAEM Ankara, Turkey

Why QCD Explorer stage of the LHeC should have high(est) priority

S. A. Çetin^a, S. Sultansoy^b, G. Ünel^c

^aDoğuş University, Istanbul, Turkey

^bTOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey
and ANAS Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

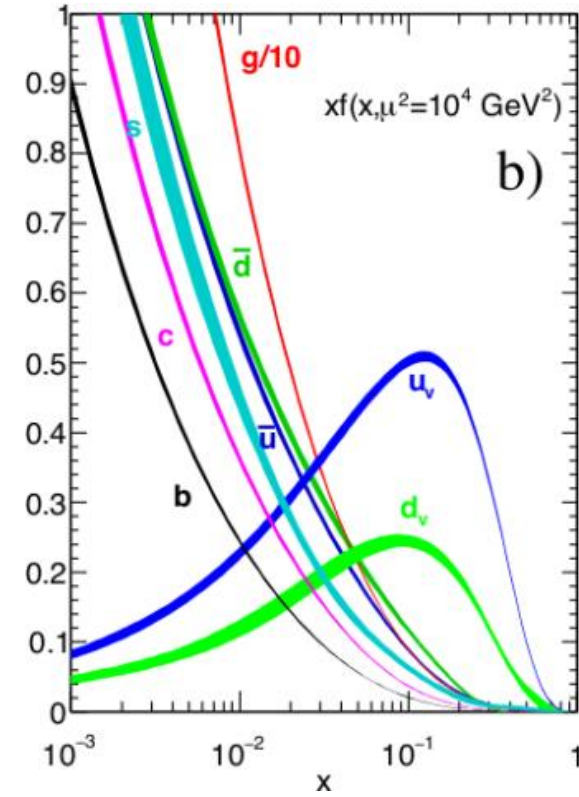
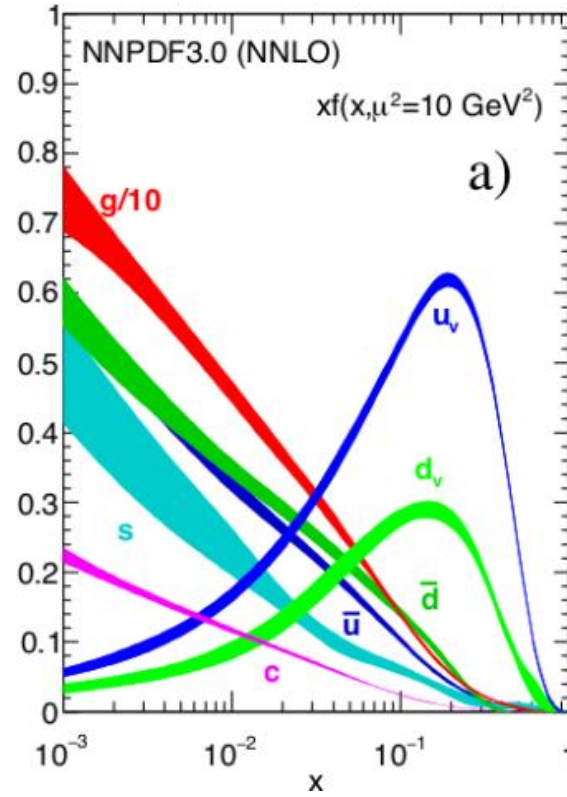
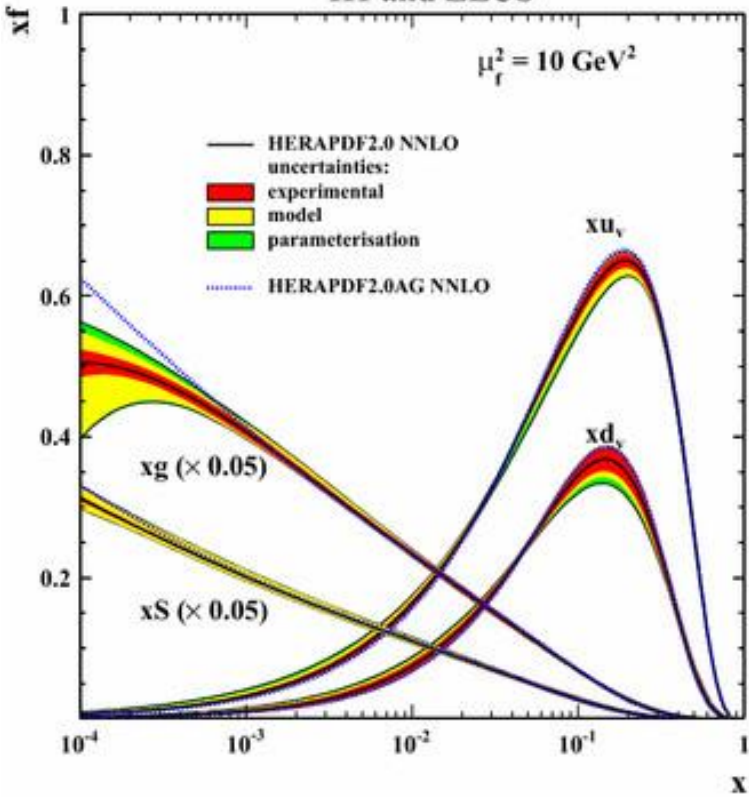
^cUniversity of California, Irvine, USA

Abstract: The QCD Explorer will give opportunity to enlighten the origin of the 98.5% portion of the visible universe's mass, clarify the nature of the strong interactions from parton to nuclear level and provide precision pdf's for the LHC. Especially the γ -nucleus option seems to be very promising for QCD studies.

In light of the discussions presented above we propose the following phases for QCD Explorer based on single-pass linac option. First phase: ep collider with luminosity of $10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and eA collider with luminosity of $AxL_{eA}=10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ which seems sufficient for QCD studies. Second Phase: γ p and γ A collider with similar luminosities. Third Phase: construction of a second single-pass linac for energy recovery [4] to achieve much higher luminosities. Fourth Phase: lengthening the single-pass linac to switch to Energy Frontier stage.

<https://arxiv.org/abs/1305.5572>

H1 and ZEUS



Parton düzeyinde Kütle Merkezi Enerjisi: $\sqrt{S_{p_1 p_2}} = 2\sqrt{x_1 E_1 x_2 E_2}$

Lepton çarpıştırıcıları (simetrik): $\sqrt{S} = 2E$

temiz

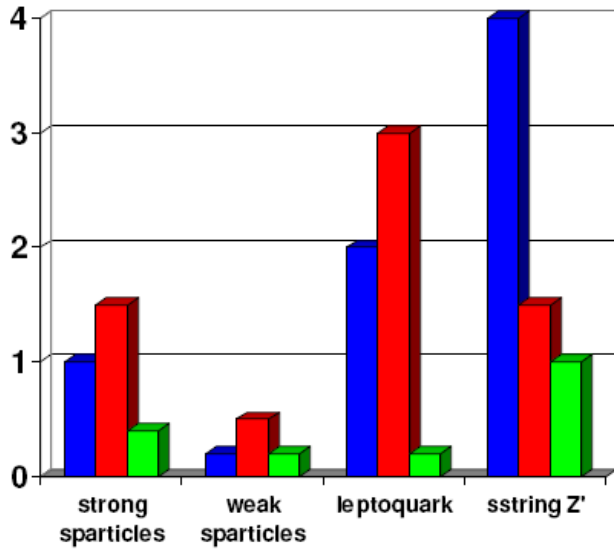
Lepton-proton çarpıştırıcıları: $\sqrt{S_{lp_2}} = 2\sqrt{E_l x_2 E_p} = 2\sqrt{x_2} \sqrt{S_{lp}}$

kirli

Proton çarpıştırıcısı (simetrik): $\sqrt{S_{p_1 p_2}} = 2\sqrt{x_1 E_1 x_2 E_2} = 2\sqrt{x_1 x_2} \sqrt{S_{pp}}$

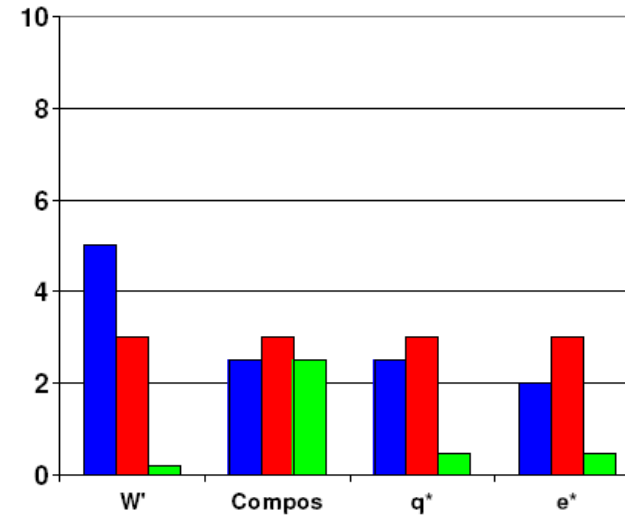
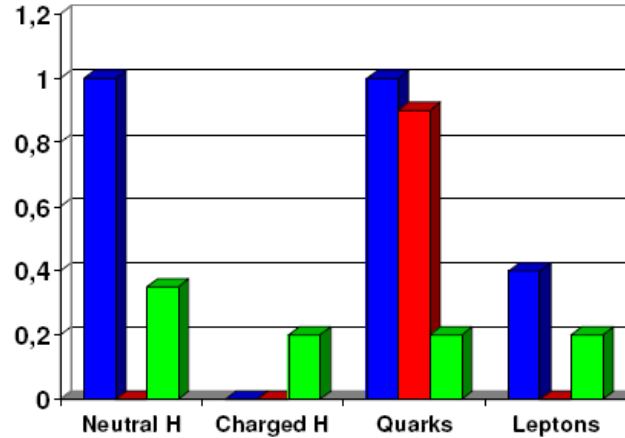
çok kirli

Discovery limits in TeV
(rescaled from U. Amaldi 87)



S. Sultansoy

01.09.2009, Divonne



Bu resim HERA sonrası ep çarpıştırıcılarının gelişmesinde önemli rol oynadı.

LHeC (ilk adı QCD-Explorer) projesinin ön aşamasında (2003-2004) hazırlanmıştır.

Benzer resmi enerji ön-cepheci (FCC vd) için hazırlanmalıdır.

9

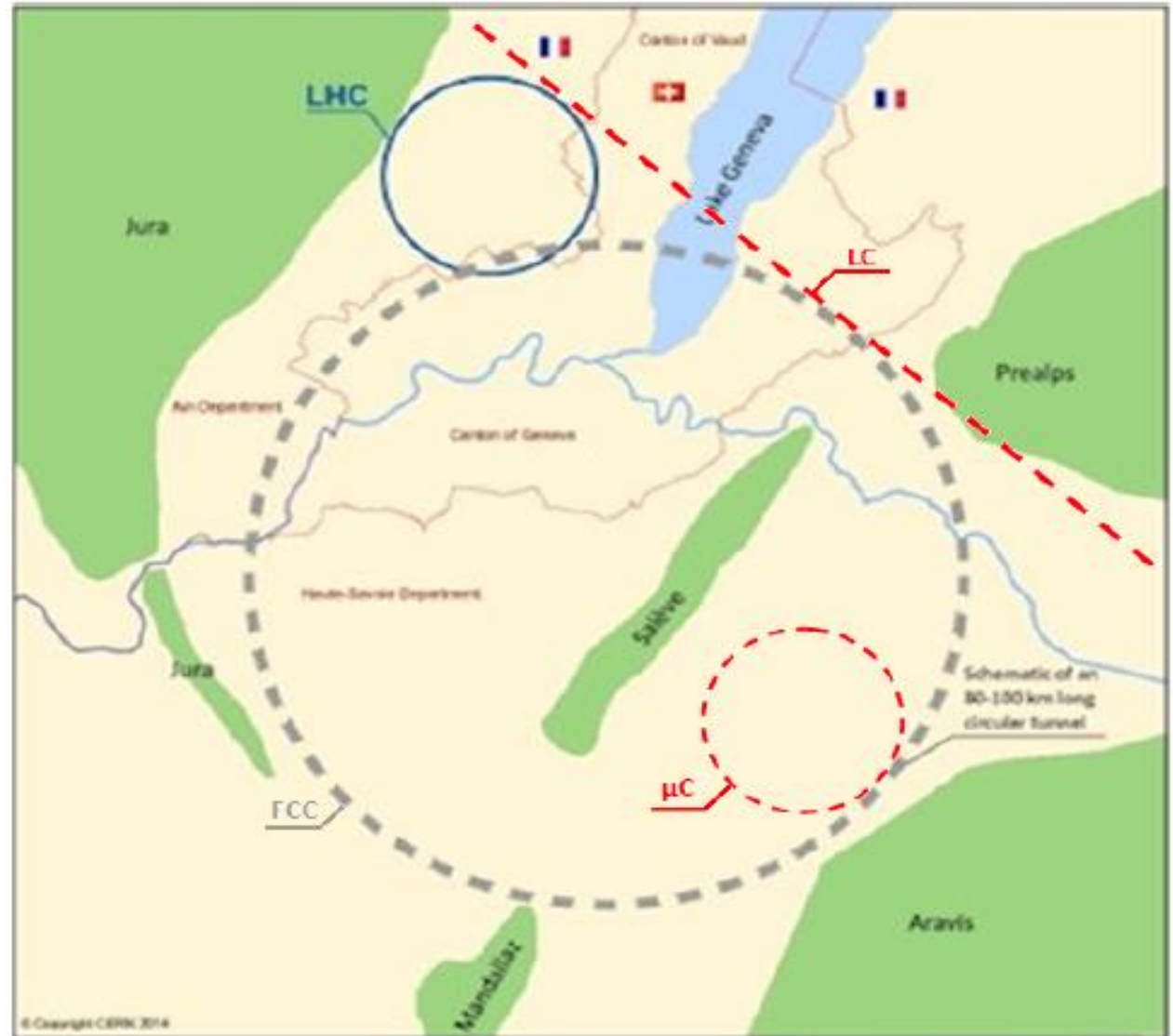
FCC/SppC based lepton-hadron and photon-hadron colliders

NIM A, 2017

Construction of future electron-positron colliders (or dedicated electron linac) and muon colliders tangential to Future Circular Collider will give opportunity to **utilize highest energy proton and nucleus beams for lepton-hadron and photon-hadron collisions.**

**LC×FCC = LC + FCC
+ ep + eA
+ γ p + γ A + FEL γ A**

**μ C×FCC = μ C + FCC
+ μ p + μ A**



Mike Lamont (UPHUK-8, 5th September 2022) European Roadmaps for Accelerator - R&D

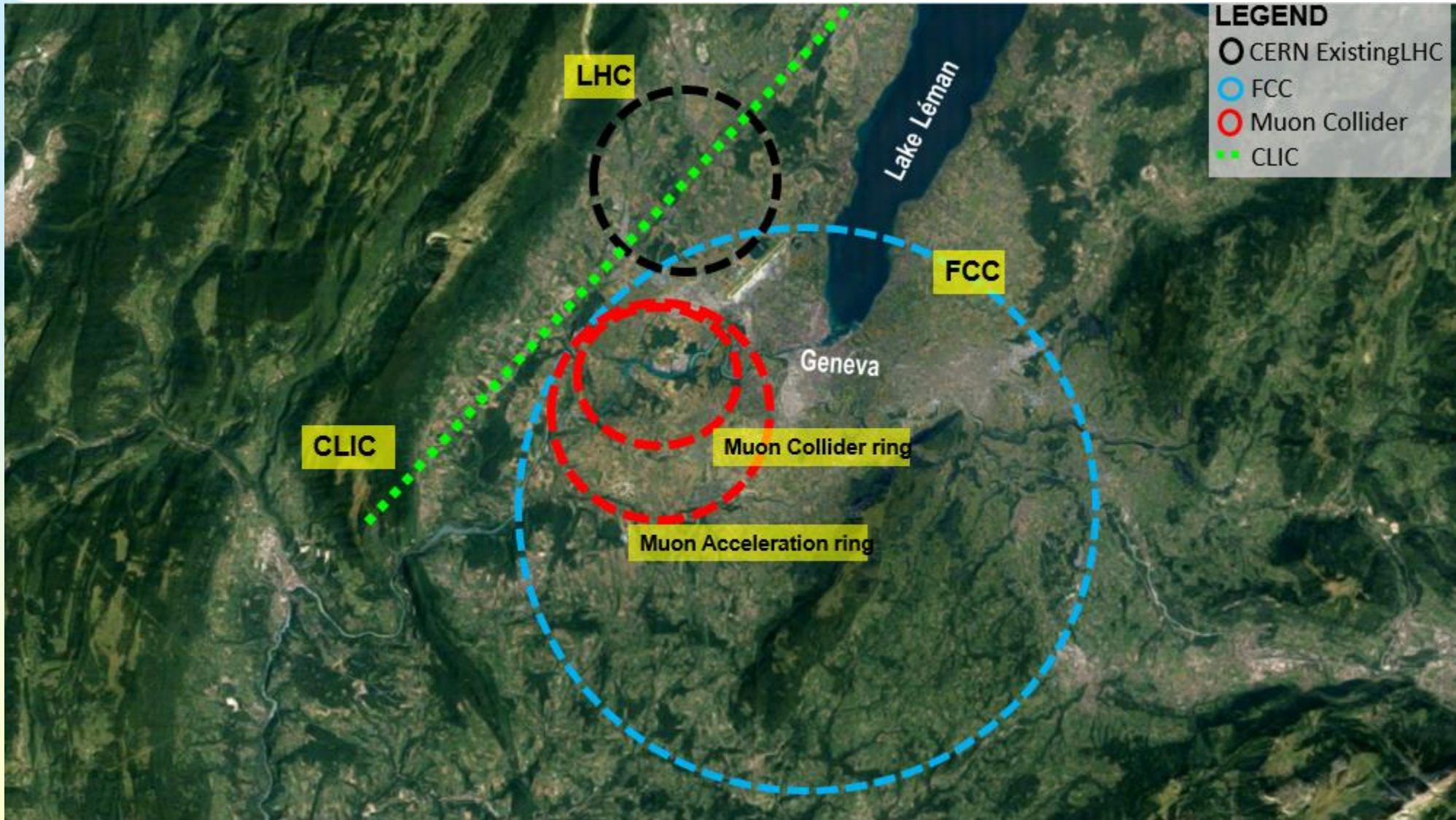


Table 22. Center of mass energies and luminosities of HL-LHC based μp colliders.

E_μ [TeV]	\sqrt{s} [TeV]	L (nominal) [$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	L (upgraded) [$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]
0.75	4.58	0.95	1.4
1.5	6.48	0.84	2.1
3	9.16	0.57	1.5

Table 23. Center of mass energies and luminosities of HE-LHC based μp colliders.

E_μ [TeV]	\sqrt{s} [TeV]	L (nominal) [$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	L (upgraded) [$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]
0.75	6.36	0.59	1.6
1.5	9	0.52	2.8
3	12.7	0.36	1.9

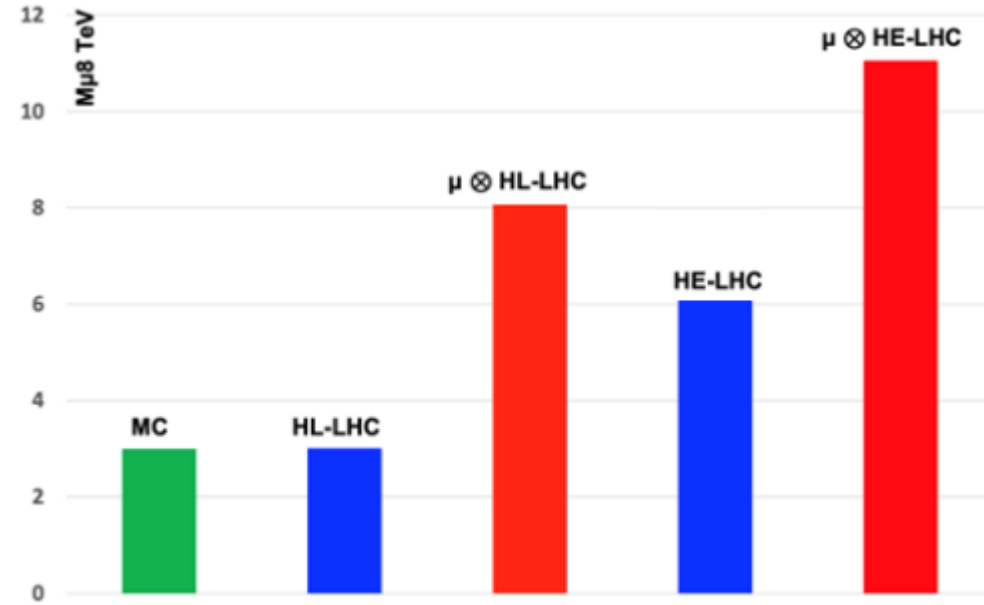


Figure 6. Discovery limits for color octet muon at the MC with $\sqrt{s}=6$ TeV, HL-LHC, HE-LHC and corresponding μp colliders

Table 8. AloHEP results for the FCC based μp colliders

Collider name	$L_{\mu p}$ [$10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	ξ_p	ξ_μ
$\mu 750$ -FCC	62	0.11	0.0043
$\mu 1500$ -FCC	55	0.11	0.0043
$\mu 3000$ -FCC	41	0.11	0.0043

Resonant production of color octet muons at Future Circular Collider-based muon-proton colliders *

Y. C. Acar^{1,1)} U. Kaya^{1,2,2)} B. B. Oner^{1,3)}

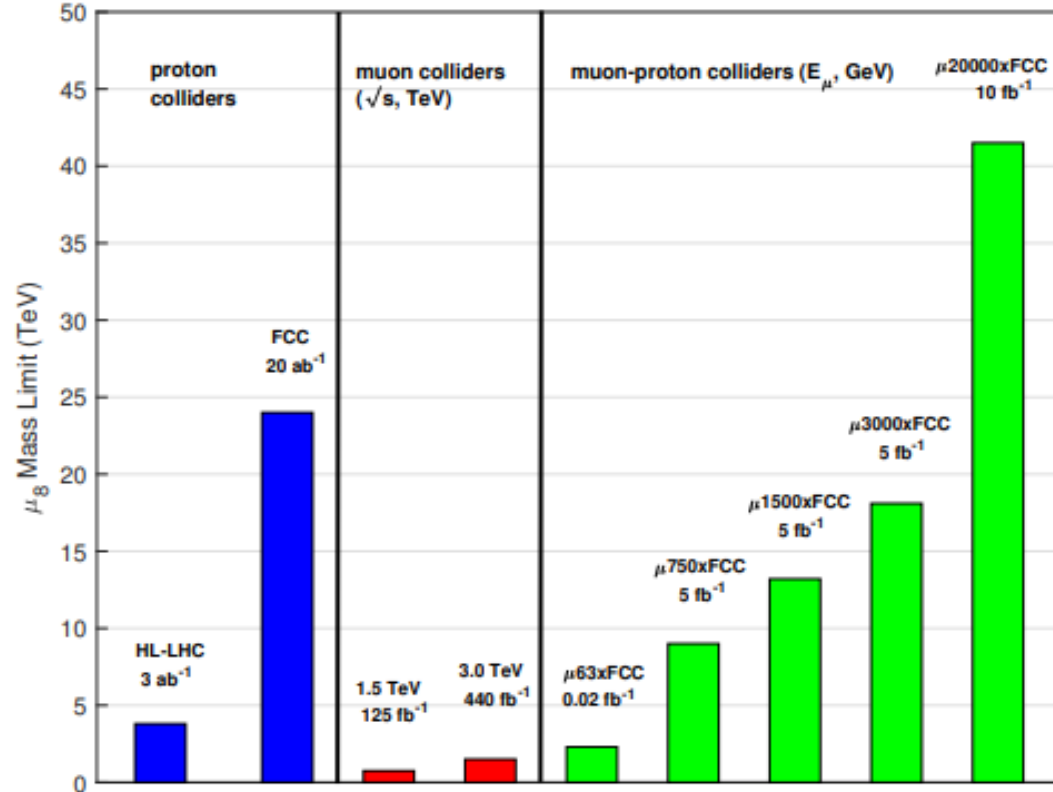


Fig. 10. (color online) Mass discovery limits ($SS = 5$) of the color octet muon for different types of collider, i.e. proton, muon and muon-proton.

Table V. Main parameters of ILC⊗FCC based ep collider corresponding to the disruption limit $D_e = 25$.

$E_e(\text{GeV})$	$\sqrt{s}(\text{TeV})$	$N_p(10^{11})$	$L_{ep}, \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	ξ_p
250	7.08	2.3	57×10^{30}	1.09×10^{-3}
500	10.0	4.6	149×10^{30}	9.40×10^{-4}

Table VIII. Main parameters of PWFA-LC⊗FCC based ep collider corresponding to the disruption limit $D_e = 25$.

$E_e(\text{GeV})$	$\sqrt{s}(\text{TeV})$	$N_p(10^{11})$	$L_{ep}, \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	ξ_p	$\tau_{IBS,x}(\text{h})$
1500	17.3	13.8	258×10^{30}	5.47×10^{-4}	14
5000	31.6	45.8	433×10^{30}	5.47×10^{-4}	4

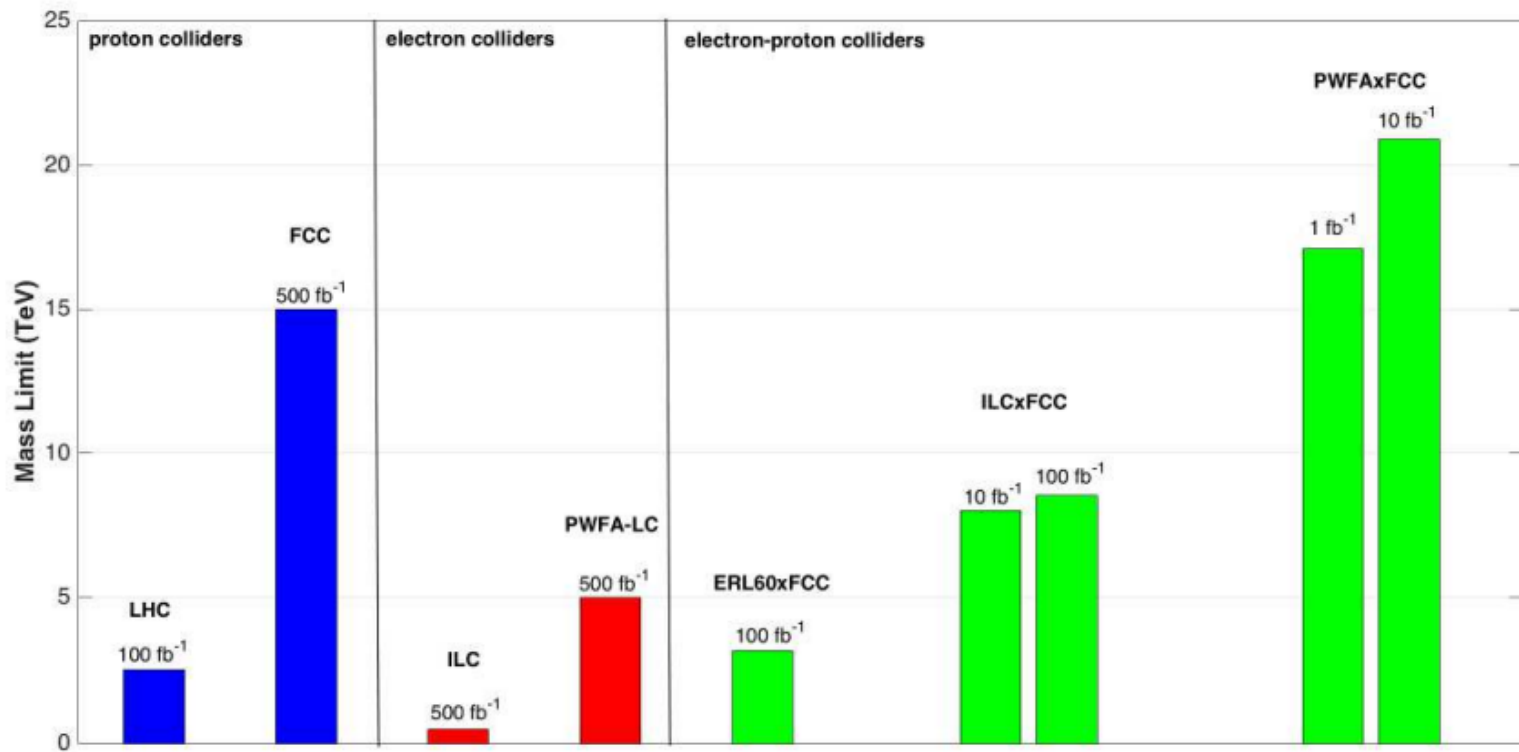


Figure 2. Discovery limits for color octet electron at different pp , e^+e^- and ep colliders.

μ -RHIC önerisi

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1027 (2022) 166334



Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Table 1

The proposed energies of the MuIC at BNL for three possible magnet scenarios.

Parameter	1 (aggressive)	2 (realistic)	3 (conservative)
Muon energy (TeV)	1.39	0.96	0.73
Muon bending magnets (T)	16 (FCC)	11 (HL-LHC)	8.4 (LHC)
Muon bending radius (m)	290		
Proton (Au) energy (TeV)	0.275 (0.11/nucleon)		
CoM energy (TeV)	1.24 (0.78)	1.03 (0.65)	0.9 (0.57)

A muon-ion collider at BNL: The future QCD frontier and path to a new energy frontier of $\mu^+\mu^-$ colliders

Darin Acosta, Wei Li*

Physics and Astronomy Department, Rice University, Houston, Texas 77251, USA

Muon-ion çarpıştırıcı önerileri ile ilgili atıflar

Önemli not: bu makalede verilen ışınlık değerleri yanlışdır (iki mertebe fazla).

Nedeni: demet-demet ayar kayması ihmal edilmiştir.

AloHEP sonuçlarını bu yakında yayınlayacağız.

- [5] V.D. Shiltsev, An asymmetric muon - proton collider: Luminosity consideration, Conf. Proc. C 970512 (1997) 420.
- [6] I.F. Ginzburg, Physics at future e p, gamma p (linac-ring) and mu p colliders, in: S. Atag, A.U. Yilmazer, S. Turkoz (Eds.), Turk. J. Phys. 22 (1998) 607–610.
- [7] S. Sultansoy, The PostHERA era: Brief review of future lepton hadron and photon hadron colliders, 1999, arXiv:hep-ph/9911417.
- [8] Y.C. Acar, A.N. Akay, S. Beser, A.C. Canbay, H. Karadeniz, U. Kaya, B.B. Oner, S. Sultansoy, Future circular collider based lepton-hadron and photon-hadron colliders: Luminosity and physics, Nucl. Instrum. Methods A 871 (2017) 47, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2017.07.041>, arXiv:1608.02190.
- [9] A.C. Canbay, U. Kaya, B. Ketenoglu, B.B. Oner, S. Sultansoy, SppC based energy frontier lepton-proton colliders: luminosity and physics, Adv. High Energy Phys. 2017 (2017) 4021493, <http://dx.doi.org/10.1155/2017/4021493>, arXiv:1704.03534.
- [10] B. Ketenoglu, Main parameters of SppC-based "linac-ring eA" and "ring-ring muA" colliders, 2018, arXiv:1811.05129.
- [11] U. Kaya, B. Ketenoglu, S. Sultansoy, F. Zimmermann, Main parameters of HL-LHC and HE-LHC based mu-p colliders, 2019, arXiv:1905.05564.

Teşekkürler

Ahmet Nuri Akay, Ali Can Canbay, Serkant Ali Çetin, Burak Dağlı, Hande Karadeniz, Ümit Kaya, Bora Ketenoğlu, Bilgehan Barış Öner, Arif Öztürk, Gökhan Ünel ve Frank Zimmermann'a enerji ön-cephesi lepton-hadron çarpıştırıcıları ile ilgili çalışmalarımıza sağladıkları katkılar için

YEFİST düzenleyicilerine davet için

Ek. AloHEP Yazılımı

A luminosity optimizer for High Energy Physics (colliders)

- AloHEP v1.0 Ümit Kaya ve Bilgehan Barış Öner tarafından linak-halka tipli elektron-proton çarpıştırıcıları için 2016 yılında geliştirilmiştir.
- AloHEP v2.0 diğer çarpıştırıcı tiplerini ve çarpışan parçacıkları içerecek şekilde Burak Dağlı ve Bilgehan Barış Öner tarafından 2021 yılında güncellenmiştir.
- AloHEP v3.0 yazılımı ile doğrusal, dairesel ve linak-halka tipi çarpıştırıcılar için elektron, pozitron, muon, antimuon, proton ve çekirdek çarpışmaları gerçekleştiriliyor. Bu versiyonda demet-demet etkileşimleri, kum saati etkisi (hourglass effect) ve kısa ömürlü parçacıkların bozunumundan (decay) kaynaklı ışınlık kaybı simülasyona eklenmiştir.
- İlerideki versiyonlarda demet frenleme ışınması (beamstrahlung), eş merkezli olmayan çarpışmalar vb. etkilerin eklenmesi planlanmaktadır.

AloHEP Yazılımı Arayüzü

AloHEP

Particle Type: **proton**

Number of particle per bunch(N): 1.15E11

Particle beam energy: 7000.0 GeV

Vertical Beta function of particle beam at IP: 0.55 m

Horizontal Beta function of particle beam at IP: 0.55 m

Norm. Vertical Emittance of particle beam: 3.75E-6 m

Norm. Horizontal Emittance of particle beam: 3.75E-6 m

Revolution Frequency of beam: 11245.0 Hz

Bunches in particle beam: 2808.0

Particle Beam Bunch Length: 0.0755 m

Bunch Spacing of Particle Beam: 2.5E-8 m

Circumference: 26.7 km

Custom LHC HL-LHC HE-LHC LHC-Pb FCC

Particle Type: **electron-linac**

Number of particle per bunch(N): 2.0E10

Particle beam energy: 125.0 GeV

Vertical Beta function of particle beam at IP: 4.0E-4 m

Horizontal Beta function of particle beam at IP: 0.013 m

Norm. Vertical Emittance of particle beam: 3.5E-8 m

Norm. Horizontal Emittance of particle beam: 1.0E-5 m

Particle Beam Bunch Length: 3.0E-4 m

Bunch Spacing of Particle Beam: 166.0 m

Collision Frequency of beams: 6560.0 Hz

Custom ILC-125 ILC-250 ILC-500 ERLC(Telnov) ERLC(upgraded) P

Settings

Number of Macroparticles: 10000.0

Resolution of X-axis: 100.0

Resolution of Y-axis: 100.0

Resolution of Z-axis: 100.0

Cloud scale of Macroparticle: 1.0

Matched Beams

Calculate

AloHEP üç ana panelden oluşmaktadır.

The screenshot displays the AloHEP software interface, which is divided into three main panels. The top-left panel is for 'proton' parameters, the top-right for 'electron-linac', and the bottom panel for 'Settings'.

Parameter	Value	Unit
Number of particle per bunch(N):	1.15E11	
Particle beam energy:	7000.0	GeV
Vertical Beta function of particle beam at IP:	0.55	m
Horizontal Beta function of particle beam at IP:	0.55	m
Norm. Vertical Emittance of particle beam:	3.75E-6	m
Norm. Horizontal Emittance of particle beam:	3.75E-6	m
Revolution Frequency of beam:	11245.0	Hz
Bunches in particle beam:	2808.0	
Particle Beam Bunch Length:	0.0755	m
Bunch Spacing of Particle Beam:	2.5E-8	m
Circumference:	26.7	km

Parameter	Value	Unit
Number of particle per bunch(N):	2.0E10	
Particle beam energy:	125.0	GeV
Vertical Beta function of particle beam at IP:	4.0E-4	m
Horizontal Beta function of particle beam at IP:	0.013	m
Norm. Vertical Emittance of particle beam:	3.5E-8	m
Norm. Horizontal Emittance of particle beam:	1.0E-5	m
Particle Beam Bunch Length:	3.0E-4	m
Bunch Spacing of Particle Beam:	166.0	m
Collision Frequency of beams:	6560.0	Hz

Settings

Parameter	Value
Number of Macroparticles:	10000.0
Resolution of X-axis:	100.0
Resolution of Y-axis:	100.0
Resolution of Z-axis:	100.0
Cloud scale of Macroparticle:	1.0

Matched Beams

Calculate

Çarpıştırılacak olan demetlerin türü ve çarpıştırıcılarına ait temel parametreler bu iki panelde seçilir.

Simülasyona ait parametreler bu panel üzerinden düzenlenir.

Kullanım Klavuzu

The screenshot shows the AloHEP software interface. The 'Particle Type' dropdown menu is open, showing options: proton, Pb, Pb-ERL60, electron-linac, muon, proton-ERL60, positron-linac, positron-ring, and proton. The 'Custom' radio button is selected in the bottom left corner. A blue box highlights the 'Particle Type' dropdown and the 'Custom' radio button. Red arrows point from these elements to the explanatory text on the right.

Particle Type	proton
Number of particle per bunch(N):	
Particle beam energy:	0.0 GeV
Vertical Beta function of particle beam at IP:	m
Horizontal Beta function of particle beam at IP:	m
Norm. Vertical Emittance of particle beam:	1E-6 m
Norm. Horizontal Emittance of particle beam:	3.75E-6 m
Revolution Frequency of beam:	11245.0 Hz
Bunches in particle beam:	2808.0
Particle Beam Bunch Length:	0.0755 m
Bunch Spacing of Particle Beam:	2.5E-8 m
Circumference:	26.7 km
Accelerator Type	<input type="radio"/> Custom <input checked="" type="radio"/> LHC <input type="radio"/> HL-LHC <input type="radio"/> HE-LHC <input type="radio"/> LHC-Pb <input type="radio"/> FCC

1-) Çarpıştırılacak parçacık türü her iki panelde seçilir.

2-) Seçilen parçacık türüne göre hızlandırıcı türleri otomatik olarak güncellenir. Çarpışmada kullanılması istenilen hızlandırıcı buradan seçilir.

3-) Hızlandırıcı türünün "Custom" seçilmesi ile parametreler kullanıcı tarafından düzenlenebilir hale gelir.

Particle Type: proton

Number of particle per bunch(N): 1.15E11

Particle beam energy: 7000.0 GeV

Vertical Beta function of particle beam at IP: 0.55 m

Horizontal Beta function of particle beam at IP: 0.55 m

Norm. Vertical Emittance of particle beam: 3.75E-6 m

Norm. Horizontal Emittance of particle beam: 3.75E-6 m

Revolution Frequency of beam: 11245.0 Hz

Bunches in particle beam: 2808.0

Particle Beam Bunch Length: 0.0755 m

Bunch Spacing of Particle Beam: 2.5E-8 m

Circumference: 26.7 km

Custom LHC HL-LHC HE-LHC LHC-Pb FCC

Particle Type: electron-linac

Number of particle per bunch(N): 2.0E10

Particle beam energy: 125.0 GeV

Vertical Beta function of particle beam at IP: 4.0E-4 m

Horizontal Beta function of particle beam at IP: 0.013 m

Norm. Vertical Emittance of particle beam: 3.5E-8 m

Norm. Horizontal Emittance of particle beam: 1.0E-5 m

Particle Beam Bunch Length: 3.0E-4 m

Bunch Spacing of Particle Beam: 166.0 m

Collision Frequency of beams: 6560.0 Hz

Custom ILC-125 ILC-250 ILC-500 ERLC(Telnov) ERLC(upgraded) F

Settings

Number of Macroparticles: 10000.0

Resolution of X-axis: 100.0

Resolution of Y-axis: 100.0

Resolution of Z-axis: 100.0

Cloud scale of Macroparticle: 1.0

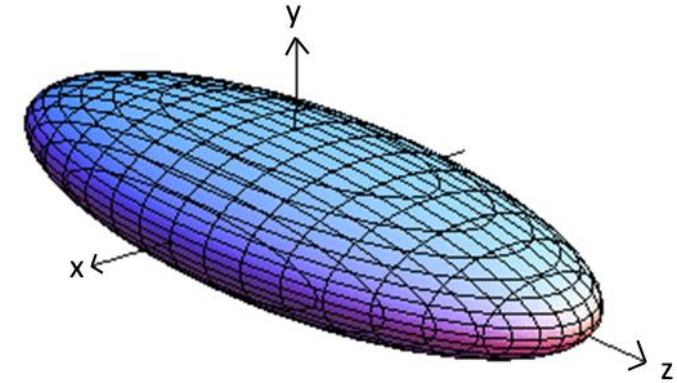
Matched Beams

Calculate

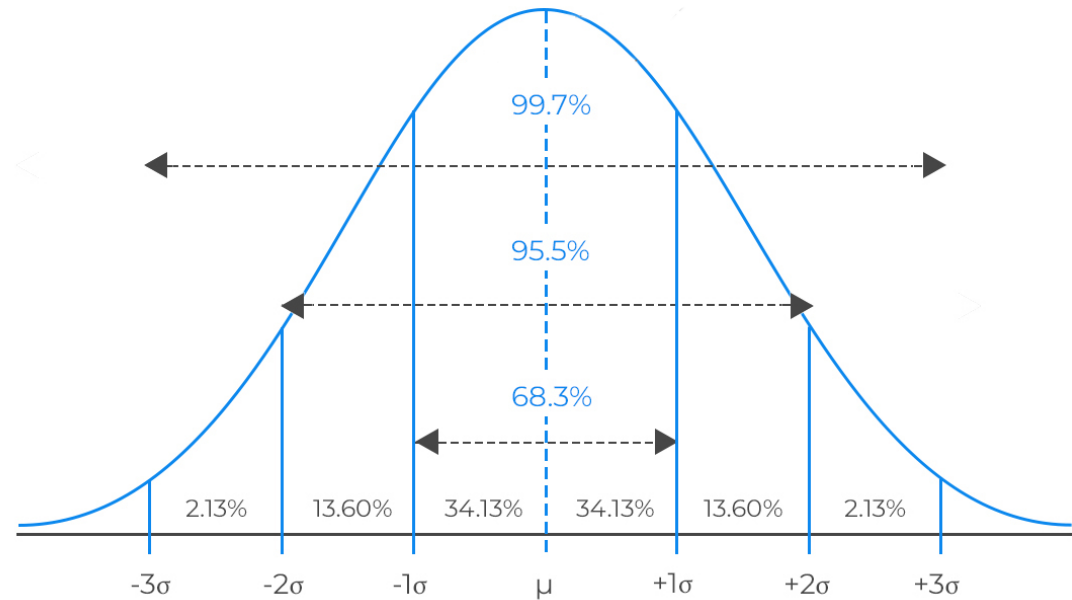
4-) Simülasyonda kullanılacak makroparçacık sayısı, simülasyonun çözünürlüğü gibi parametreler buradan ayarlanır. Ayrıca istenirse enine demet boyutları “matched beams” butonu ile eşitlenir.

5-) Ayarlar kısmındaki simülasyon parametreleri düzenlendikten sonra “Calculate” butonuna basılarak simülasyon işlemi başlatılır.

Parçacık Paketçığı (Particle Bunch)



- Parçacık paketçığı içerisindeki parçacıkların dağılımı elipsoit şekline benzetilebilir.
- Paketçik içerisinde parçacıkların 3 boyutlu Gaussian (normal) dağılımına göre buldukları kabul edilir.



Parçacık Paketçığının Boyutlarının Hesabı

- Demet enerjilerinden γ faktörü elde edilir:

$$E = \gamma mc^2$$

- Gama faktörü kullanılarak emitanslar hesaplanır:

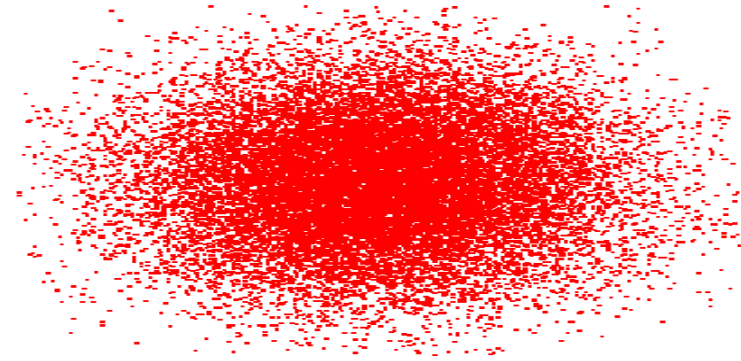
$$\epsilon_{x,y} = \frac{\epsilon_{Norm. x,y}}{\gamma}$$

- Emitans ve beta fonksiyonu kullanılarak demetin boyutları hesaplanır.

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\epsilon_{x,y} \beta_{x,y}}$$

Simülasyonda Parçacık Demeti

- Demetlerin kafa kafaya çarpıştığı (head-on collision) varsayılmıştır.
- İki demetin de ters yönlerde ışık hızında hareket ettiği varsayılmıştır. Dolayısıyla her ikisinin de z ekseninde Δt sürede aldıkları yol eşit uzunlukta ve $c\Delta t$ kadardır.
- Demet içerisindeki parçacıkları temsil eden (N_{mp} tane) özdeş makroparçacık tanımlanır.
- Makroparçacıklar Gaussian dağılımına uygun bir şekilde rastgele noktalara atanmışlardır.
- Her bir makroparçacık, N/N_{mp} tane parçacığı temsil eder.



Demet-demet Etkileşimi (Beam-Beam Effect)

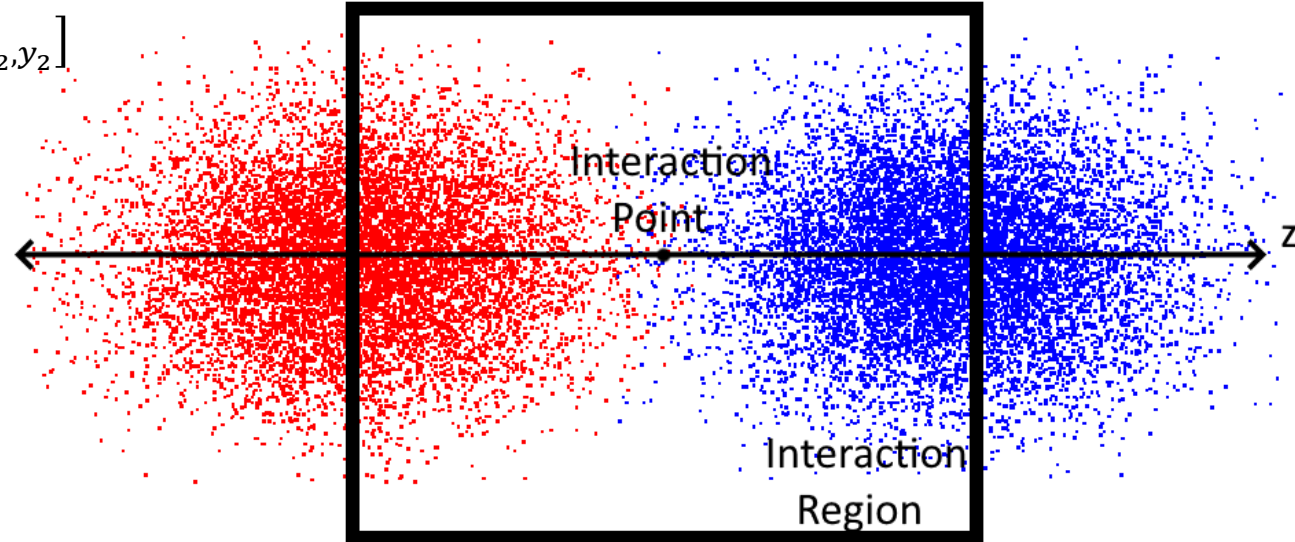
- Aynı demet içerisindeki parçacıklar göreceli (relativistic) hareketlerinden dolayı birbirlerinin manyetik alanından neredeyse etkilenmezler.
- Çarpışma esnasında ise karşılıklı demetlerin hareketleri zıt yönlerde olduğundan birbirlerinin elektromanyetik alanından etkilenirler.
- Çarpışma esnasında aynı yüklü parçacıklar merkezden uzağa doğru saçılırken, farklı yüklü parçacıklar merkeze doğru çöker.
- Elektron, pozitron gibi hafif parçacıklarda bu etki büyük bir saçılmaya (disruption) neden olduğundan analitik hesaplama yetersiz kalabilir. Numerik hesaplama yapılması gerekir.

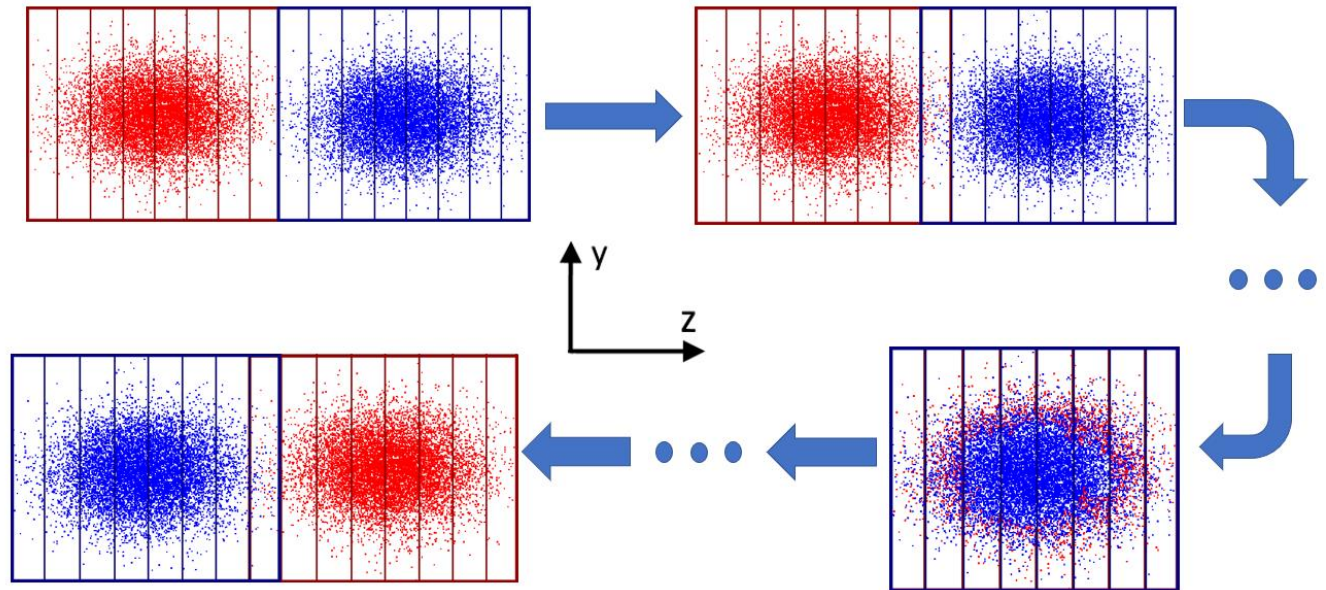
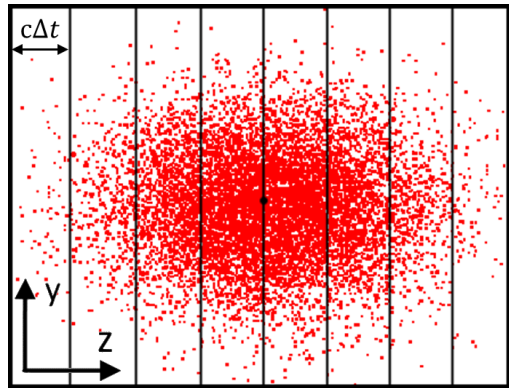
Etkileşim Bölgesinin Oluşturulması

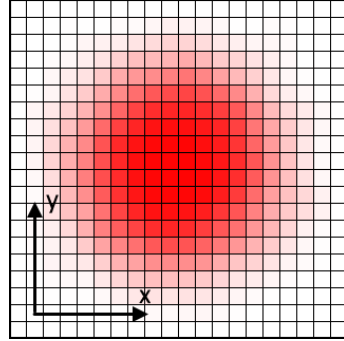
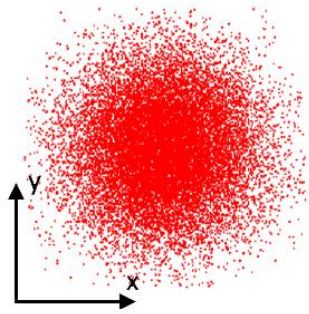
- Etkileşim bölgesi dikdörtgenler prizması şeklinde tanımlanıp merkezi IP (etkileşim noktası) olacak şekilde ayarlanır.
- Etkileşim bölgesinin boyutları;

$$S_{x,y} = k \times \max[\sigma_{x_1,y_1}, \sigma_{x_2,y_2}]$$

Burada k değeri kullanıcı tarafından seçilir ve etkileşim alanının sınırlarını belirler. Örneğin $k = 3$ aldığımızda parçacıkların %99.7'sini işleme katmış oluyoruz.



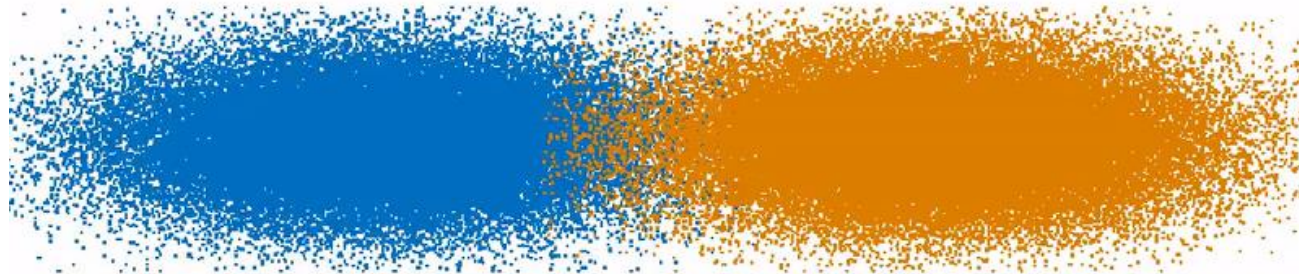




Örnek 1: FCC-pp

FINAL RESULTS			
Center-of-mass, \sqrt{S} :	1.000E+5	GeV	
Nominal Luminosity:	5.464E+34	$cm^{-1}s^{-1}$	
Effective Luminosity:	5.446E+34	$cm^{-1}s^{-1}$	
Enhancement/Reduction Factor:	0.997		
	proton		proton
SigmaX (σ_x):	6.739E-6	SigmaX (σ_x):	6.739E-6
SigmaY (σ_y):	6.739E-6	SigmaY (σ_y):	6.739E-6
BB Tuneshift (ξ_x):	5.550E-3	BB Tuneshift (ξ_x):	5.550E-3
BB Tuneshift (ξ_y):	5.550E-3	BB Tuneshift (ξ_y):	5.550E-3

CDR'da verilen ışınlık değeri $5.0E+34 cm^{-2}s^{-1}$ 'dir. Çarpışma açısının eklenmesi ile sonuç CDR değerine daha da yaklaşacaktır.



Örnek 2: ILC

FINAL RESULTS

Center-of-mass, \sqrt{s} :	5.000E+2	GeV
Nominal Luminosity:	7.515E+33	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Effective Luminosity:	1.683E+34	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Enhancement/Reduction Factor:	2.24	

positron-linac

electron-linac

SigmaX (σ_x):	4.742E-7	SigmaX (σ_x):	4.742E-7
SigmaY (σ_y):	5.860E-9	SigmaY (σ_y):	5.860E-9
Disruption (D_x):	3.036E-1	Disruption (D_x):	3.036E-1
Disruption (D_y):	2.457E+1	Disruption (D_y):	2.457E+1

Demet-demet etkileşimleri ILC’de ışınık değeri üzerinde önemli bir role sahiptir. Referansta verilen makaleye göre; $\sqrt{s} = 500$ GeV ILC e^-e^+ çarpışması için nominal ışınık $7.5E+33$ verilirken, simülasyon sonucu elde edilen ışınık değeri $1.8E+34$ olarak elde edilmiş. AloHEP’in sonuçları ile tutarlıdır.

D. Schulte, “Beam-Beam effects in Linear Colliders”, Proceedings of the CAS-CERN Accelerator School: Intensity Limitations in Particle Beams, Geneva, Switzerland, 2–11 Nov. 2015, edited by W. Herr, CERN Yellow Reports: school proceedings, Vol. 3/2017, CERN-2017-006-SP (CERN, Geneva, 2017)



Örnek 3: MC (3 TeV) \otimes FCC (upgraded)

FINAL RESULTS	
Center-of-mass, \sqrt{S} :	2.449E+4 GeV
Nominal Luminosity:	2.397E+33 $\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}$
Effective Luminosity:	2.818E+33 $\text{cm}^{-1}\text{s}^{-1}$
Enhancement/Reduction Factor:	1.176
proton-ERL60	
SigmaX (σ_x):	2.489E-6
SigmaY (σ_y):	2.489E-6
BB Tuneshift (ξ_x):	1.110E-1
BB Tuneshift (ξ_y):	1.110E-1
muon	
SigmaX (σ_x):	2.488E-6
SigmaY (σ_y):	2.488E-6
BB Tuneshift (ξ_x):	4.337E-3
BB Tuneshift (ξ_y):	4.337E-3

FCC'nin ERL60 için düzenlenmiş hali ve 3 TeV MC ile gerçekleşen $\mu\mu$ çarpışmasında, demet-demet etkileşimleri sayesinde ışınlık artarken, müon bozunumu yüzünden ışınlık azalmış.

