

Çarpışma Bölgesinde Demet-Demet Etkileşmeleri ve Benzetimleri

"C:/gp/b1.46" using 1:3

"C:/gp/b2.46" using 1:3

E. RECEPOĞLU

TAEK-Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

erdal.recepoglu@taek.gov.tr

HPFBU-2012-Kars, Kafkas Üniversitesi

Özet

Bu sunumda, demet demet etkileşmelerinden ortaya çıkan

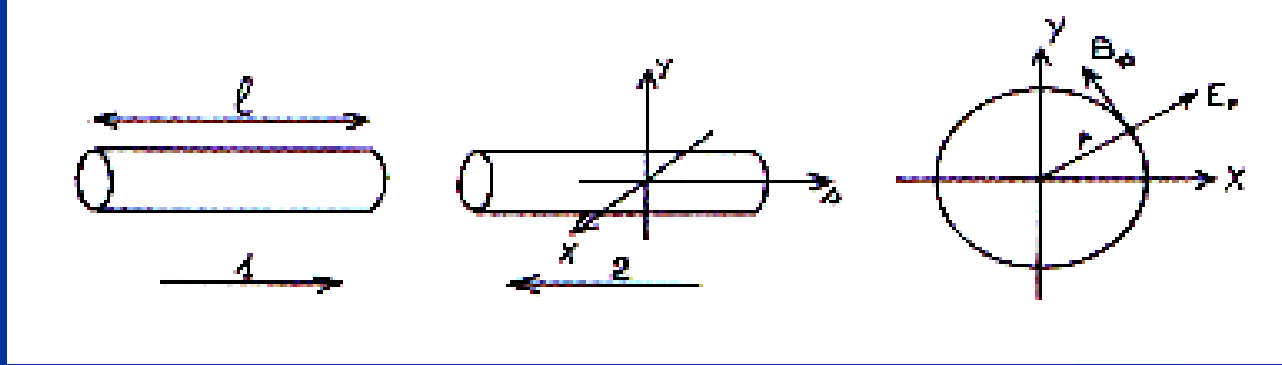
- Demet-demet ayar kayması,
- Bozma (disruption) parametresi,
- Kumsaati (hourglass) etkisi
- Işınlık artırma faktörü gibi en önemli belirleyici sınırlamalar açıklanmış ve nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır.

Bir kaç farklı çarpıştırıcı için konu ile ilgili örnekler açıklanmış ve CLIC 0.5 TeV ve 1 TeV elektron-pozitron çarpışma durumları için çarpışma bölgesinin bezetimi GUINEA ve CAIN bilgisayar programları vasıtası ile örneklenerek elde edilen sonuçlar verilmiştir.

- Bir çarpıştırıcının tasarımındaki en önemli meselelerden bir tanesi olan demet-demet etkileşmeleri, ilk parçacık hızlandırıcılarından beri çoğu çalışmanın konusunu oluşturmuştur.
- Performansa en önemli sınırlamalardan bir tanesini koyan demet demet etkileri, yeni çarpıştırıcı tesislerinin tasarımı aşamasında çözülmesi gereken ilk sorunların başında yer alır.
- Yüksek ışınlık için mümkün olduğunca yoğun parçacık paketçiklerinin (bohçalarının) kullanılması gerektiğinden, demet çok sayıda parçacıktan oluşur ve yoğun parçacık paketçikleri oldukça yüksek elektromanyetik alanlar oluştururlar.
- Sonuçta diğer yüklü parçacıklar için elektromagnetik bir potansiyele neden olurlar ve paketçikler birbirlerinin elektromanyetik alanından kuvvetli bir şekilde etkilenirler. Bu nedenle kendi içerisine ve diğer demette kuvvet uygulanır.
- Parçacık çarpıştırıcıları durumunda bu kuvvetler iki demet birbirleri içerisinden geçerken yerel tekrar eden bozulmalar olarak ortaya çıkar.
- Bu kuvvetler yüksek ışınlık için anahtar rol oynayan, çok yoğun parçacıklar topluluğu ve düşük demet boyutları durumunda, yüksek yoğunluklu demetler için önemlidir. Bu nedenle demet demet etkileşmesi ışınlık için sınırlayıcı bir faktördür.

Demet-demet ayar kayması

- Doğrusal hızlandırıcıdaki demet paketçigi başına en yüksek parçacık sayısını belirleyen sınırlamalardan birisi demet-demet ayar kaymasından gelir. Demet-demet ayar kaymasını hesaplayabilmek için, hızıyla hareket eden, silindirik geometriye sahip paketçiklerin kafa kafaya çarpışması göz önüne alınabilir (şekil 1).
- N_1 ve N_2 paketçiklerdeki parçacık sayılarıdır.



Şekil 1. Çarpışan paketçikler

- Enlemesine emitans (yayılm) $\epsilon^N = \sigma^2 \gamma / \beta$ olmak üzere demet demet ayar kayması için

$$\Delta Q = \frac{Nr_0}{4\pi\epsilon^N}$$

- ifadesi ile verilir. Dairesel kesitli olmayan demetler için bu parametre her iki düzlem içinde vardır ve genellikle de düşey düzlemde en büyüktür. Bu değer aşağıda verilen eşitlikteki gibidir.

$$\Delta Q_{x,y} = \frac{N_1 r_0 \beta_2^*}{2\pi\gamma_2 \sigma_{x1,y1} (\sigma_{x1,y1} + \sigma_{y1,x1})}$$

Halka-halka çarpıştırıcıları durumunda elektronlar için genel olarak kabul edilen demet-demet ayar kayması değeri , protonlar içinse olması gerektiği deneysel çalışmaların sonucudur.

$$\Delta Q \leq 0.06$$

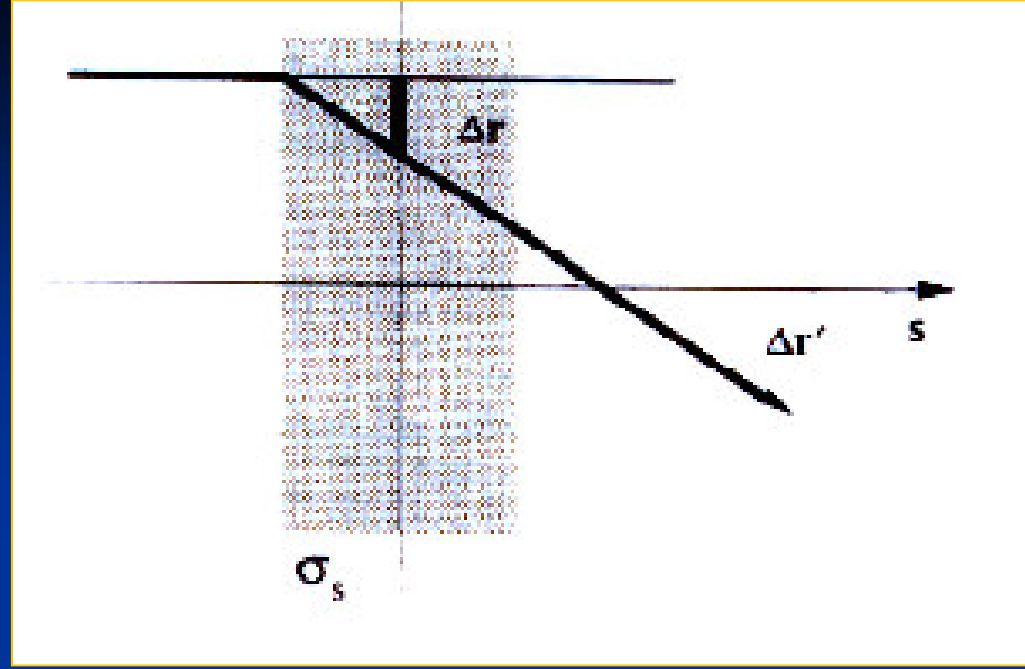
$$\Delta Q \leq 0.003$$

Elektron ve proton halka demetleri için bu sınırlayıcı değerler doğrusal-halka tipli çarpıştırıcılar için bir miktar daha büyük olabilir.

Bozma Parametresi (Disruption)

Bozma parametresi (disruption) lineer hızlandırıcılar için sınırlayıcı bir parametredir. Birinci paketçikteki bir deneme parçacığı ele alınırsa parçacığa karşı paketçikteki yüklü parçacıklar topluluğu bir mercek gibi davranır (şekil 2).

Bu olay bozma olarak bilinir. Karşı demetin elektromanyetik alanına maruz kalan demet için bozma değeri karşı demetin paketçik uzunluğunun odak uzaklığına oranı σ_s / f olarak tanımlanır ve buna da bozma parametresi denir.



Şekil 2 Halka paketçigi içerisinde, karşı paketçikteki deneme parçacığının geçmesi sırasında yörüngesinin değişimi.

Enine demet boyutlarının farklı olduğu durumda bozma parametresi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$D_{x,y} = \frac{2N_2 r_0}{\gamma_1} \frac{\sigma_{z2}}{\sigma_{x2,y2} (\sigma_{x2,y2} + \sigma_{y2,x2})}$$

Hourglass (Kumsaati) Etkisi

- Karşılıklı hareket eden paketçiklerin enine demet boyutları çarpışma bölgesinde kullanılan özel magnetlerle odaklama yapılarak mümkün mertebe küçültülmeye çalışılır. Çarpışan iki paketçiğın uzunlukları, çarpışma noktasındaki β_x^* ve β_y^* betatron fonksiyonlarının değerleriyle karşılaştırıldığında yeterince küçükse, ışınlık değeri aşağıdaki gibi verilir

$$L_0 = \frac{N_1 N_2}{2\pi \sqrt{(\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)(\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2)}} f_c$$

Buna geometrik ışınlık denir.

σ 'lar çarpışma noktasındaki değerleridir. Bu kısımda çarpışma noktası dinamik olarak ele alındığı için çarpışma bölgesi boyunca değeri değişecektir.

Kullanılan boyutlar ulaşılacak en küçük boyutlardır. Ancak, paketçik uzunlukları ve betatron fonksiyonlarının değerleri ile kıyaslanabilir veya daha büyük değerlere sahip olduğunda, ışınlık her bir paketçiğin uzunluğu boyunca enine demet boyutlarında değişim olacağından, daha karışık bir fonksiyonla ifade edilecek duruma gelir.

Bunun nedeni, çarpışma noktasından uzaklaştıkça betatron fonksiyonlarında meydana gelen artmadır.

Bu, gerçek ışınlığın geometrik ışınlıktan daha küçük olacağı anlamına gelir. Bu olay literatürde “Hourglass” etkisi olarak bilinir.

İki paketçiğin eşit ve zıt yönlerde c ışık hızıyla, sapma olmadan, merkezleri $s = 0$ çarpışma noktasında çarpışacak şekilde birbirlerine doğru hareket ettikleri ele alındığında, enlemesine demet boyutları çarpışma bölgesinde s 'ye aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi bağlı olur.

$$\sigma_{x,y}^2 = \sigma_{x,y}^{*2} \times (1 + s^2 / \beta^{*2})$$

Işınlık için Hourglass azaltma faktörü aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$R(t_x, t_y) \equiv \frac{L}{L_0} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dt}{\sqrt{\pi}} \frac{\exp(-t^2)}{\sqrt{(1 + t^2 / t_x^2)(1 + t^2 / t_y^2)}}$$

L gerçek ışınlık Lo ise geometrik ışınlıktır.

Son denklemdaki t_x ve t_y aşağıdaki gibi tanımlıdır.

$$t_x^2 = \frac{2(\sigma_{x2}^{*2} + \sigma_{x1}^{*2})}{(\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s1}^2)(\sigma_{x2}^{*2} / \beta_{x2}^{*2} + \sigma_{x1}^{*2} / \beta_{x1}^{*2})}$$

$$t_y^2 = \frac{2(\sigma_{y2}^{*2} + \sigma_{y1}^{*2})}{(\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s1}^2)(\sigma_{y2}^{*2} / \beta_{y2}^{*2} + \sigma_{y1}^{*2} / \beta_{y1}^{*2})}$$

Hourglass azaltma faktörü R, her zaman birden küçüktür.

Işınlık Artırma Faktörü:

- Çarpışan demetlerden birinin oluşturacağı elektromagnetik alan diğer demeti çarpışma sırasında etkiler ve sonuçta enine demet boyutları için mevcut boyutlarından farklı olarak yeni etkin demet boyutlarına sahip olmasına sebep olur.
- Bu olayda sonuçta zıt yüklü demetlerin çarpışmasında ışınlığın artmasına neden olacağından geometrik ışınlıktan farklı olarak yeni bir etkin ışınlığın ortaya çıkmasına neden olur.
- Çarpışma noktası civarında karşılıklı gelen iki paketçiğin birbirini etkilemesi sonucu parçacıkların yörüngelerindeki eğilme, tutam (pinch) etkisi olarak da bilinir.
- Işınlık artırma faktörü, etkin ışınlığın geometrik ışınlığa oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$H_D = \frac{L}{L_0}$$

L etkin ışınlık, L_0 ise geometrik ışınlıktır. Işınlık artırma faktörü analitik olarak bozma parametresi değeri $D \ll 1$, olduğu zaman aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir.

$$H_D = 1 + D^{1/4} \left(\frac{D^3}{1 + D^3} \right) \left\{ \ln(\sqrt{D} + 1) + 2 \ln\left(\frac{0.8}{\sigma_s / \beta^*}\right) \right\}$$

Yassı demet durumunda yaklaşık hesaplama aşağıdaki gibidir.

$$H_D = H_{Dx}^{1/2} H_{Dy}^{f(R)}$$

Burada $R = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$, $f(R) = \frac{1 + 2R^3}{6R^3}$ 'dir

Diğer durumlarda ise demet-demet etkileşmesi için simülasyon gerekecektir. Bu tür simülasyon yapabilen programlara GUINEA-PIG ve CAIN örnek olarak verilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Wiedemann, H. 1993. Particle Accelerator Physics: Basic Principles and Linear Dynamics. Springer Verlag, Vol I.
- [2] Chao, A.W. and Tigner, M. 2001. Handbook of accelerator physics and engineering, World Scientific, Singapore.
- [3] Hollebeck, R. 1980. Disruption limits for linear colliders. SLAC-PUB-2535 AATF/80/23.
- [4] Rivkin, L.Z. 1995. Beamstrahlung and Disruption. Fifth Advanced Accelerator Physics Course, CAS Proceedings, Ed. S.Turner, Vol II.
- [5] Furman, M.A. 1991. Hourglass Effect For asymmetric Colliders. Proc-PAC91, San Francisco, CA May 6-9, p.422.
- [6] Schulte, D. 1997. Study of Electromagnetic and Hadronic Background in the Interaction Region of the TESLA Collider. TESLA 97-08, DESY, Hamburg.
- [7] Yokoya, K. 1985. A Computer Simulation Code for the Beam-Beam Interaction in Linear Colliders. KEK Report 85-9

UYGULAMALAR

GEREKLİ PROGRAMLAR

- Gnuplot
- Ghostview
- Guinea-pig programı
- Cain programı

GUINE-PIG

Program C dilinde yazılmıştır ve çalıştırmak için **acc.dat** isimli bir girdi dosyasının hazırlanması gerekir. Bu girdi dosyasında elektron ve pozitron demetinin gerekli tüm özellikleri verilmelidir. Çizelge 1'de verilen CLIC için parametreler ve kullanılan girdi dosyası verilmiştir.

Çizelge 1. CLIC Parametreleri

Parameter	Symbol	Unit	Centre-of-mass energy (TeV)			
			0.5	1	3	5
Beam at IP						
Luminosity (with pinch)	L	$(10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	<u>1.4</u>	2.7	10.0	10.0
Luminosity (in 1% of energy)	$L_{1\%}$	$(10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	1.0	1.5	3.0	2.4
Beamstrahlung mom. spread	δ_B	(%)	4.4	11.2	31	36.6
Beamstrahlung parameter	Y	(-)	0.3	1.0	8.1	18.8
No. of photons/electron	N_γ	(-)	0.7	1.1	2.3	3.2
Linac repetition rate	f_{rep}	(Hz)	<u>200</u>	150	100	50
No. of particles/bunch	N_b	(10^9 e^\pm)	4.0	4.0	4.0	4.0
No. of bunches/pulse	k_b	(-)	<u>154</u>	154	154	154
Bunch spacing	Δ_b	(cm)	20	20	20	20
Transverse emittances	$\gamma \epsilon_{x/y}$	$(10^{-8} \text{ rad}\cdot\text{m})$	200/2	130/2	68/2	78/2
Beta functions	$\beta_{x/y}$	(mm)	10/0.15	10/0.15	8/0.15	6/0.15
r.m.s. beam size (no pinch)	$\sigma_{x/y}$	(nm)	202/2.5	115/1.75	43/1	31/0.78
Bunch length	σ_z	(μm)	30	30	30	25
Enhancement factor	H_D	(-)	<u>1.81</u>	1.86	2.24	2.53
Beam power per beam	P_b	(MW)	4.9	7.4	14.8	12.3
Main linac						
RF frequency of main linac	$\omega/2\pi$	(GHz)	30	30	30	30
Acceleration field (loaded)	G_a	(MV/m)	150	150	150	172
Energy overhead	ovh	(%)	8	8	8	8
Active length per linac	L_A	(km)	1.74	3.54	10.74	15.64
Total length of two linacs	L_{tot}	(km)	5	10	27.5	40
RF power at section input	P_{st}	(MW)	229	229	229	301
No. of drive beams/linac	N_D	(-)	4	8	22	32
No. of structures per linac			3470	7070	21470	31282
AC-to-RF efficiency	$\eta_{\text{RF}}^{\text{AC}}$	(%)	40.3	40.3	40.3	40.3
RF-to-beam efficiency (incl. ovh)	η_b^{RF}	(%)	24.4	24.4	24.4	21.3
AC-to-beam efficiency	η_b^{AC}	(%)	9.8	9.8	9.8	8.5
AC power for RF generation	P_{AC}	(MW)	100	150	300	290

- \$ACCELERATOR:: clic500GeV
- {energy=250.0;
- particles=0.4;
- beta_x=10.0;beta_y=0.15;
- emitt_x=2;emitt_y=0.02;
- sigma_z=30.0;
- espread=0.007;which_espread=3;
- charge_sign=-1.0;}

- \$PARAMETERS:: all
- {n_x=32;n_y=64;n_z=36;n_t=3;n_m=100000;
- cut_x=3.0*sigma_x.1;cut_y=6.0*sigma_y.1;cut_z=3.0*sigma_z.1;
- rndm_load=0;
- force_symmetric=0;
- do_lumi=1;do_photons=1;do_espread=1;
- store_beam=1;store_photons=1;
- electron_ratio=0.1
- ;hist_ee_bins=5000;hist ee max=510; }

- Yukarıdaki girdi dosyasının ACCELERATOR kısmında enerji GeV, parçacık sayısı, beta fonksiyonu değeri milimetre, emitans değeri mikrometre, paketçik uzunluğu değeri ise nanometre cinsinden girilir.
- Demetlerin enerji yayılımı esread komutu ile girilebilir. Which_esread komutu ile de paketçiklerdeki parçacıkların dağılımları 1,2 ve 3 girilerek sırası ile düzgün, rasgele veya Gaussyen olarak seçilebilir. Çalışmada Gaussyen yapı seçilmiştir.
- PARAMETERS kısmında ise çarpışmada kullanılacak makro parçacık sayısı girilebilir ve çalıştırılmak istenen komutlar 1 veya 0 girilerek sırası ile açık veya kapalı yapılabilir. Diğer komutlar için kullanma klavuzunda açıklamalar verilmiştir.
- Programın çalışması bittiğinde sonuçların yazıldığı bir xxx.out dosyasını aynı dizinde oluşturur. Diferansiyel ışınlığın kütle merkezi enerjisine göre değerlerini elde edebilmek için veri dosyası ise gpv.exe programı yardımı ile elde edilir.

UYGULAMA

$\text{lumi_ee}=4.58738\text{e}+33;$

$\text{fc} = \text{frep} * \text{bunch sayısı}$

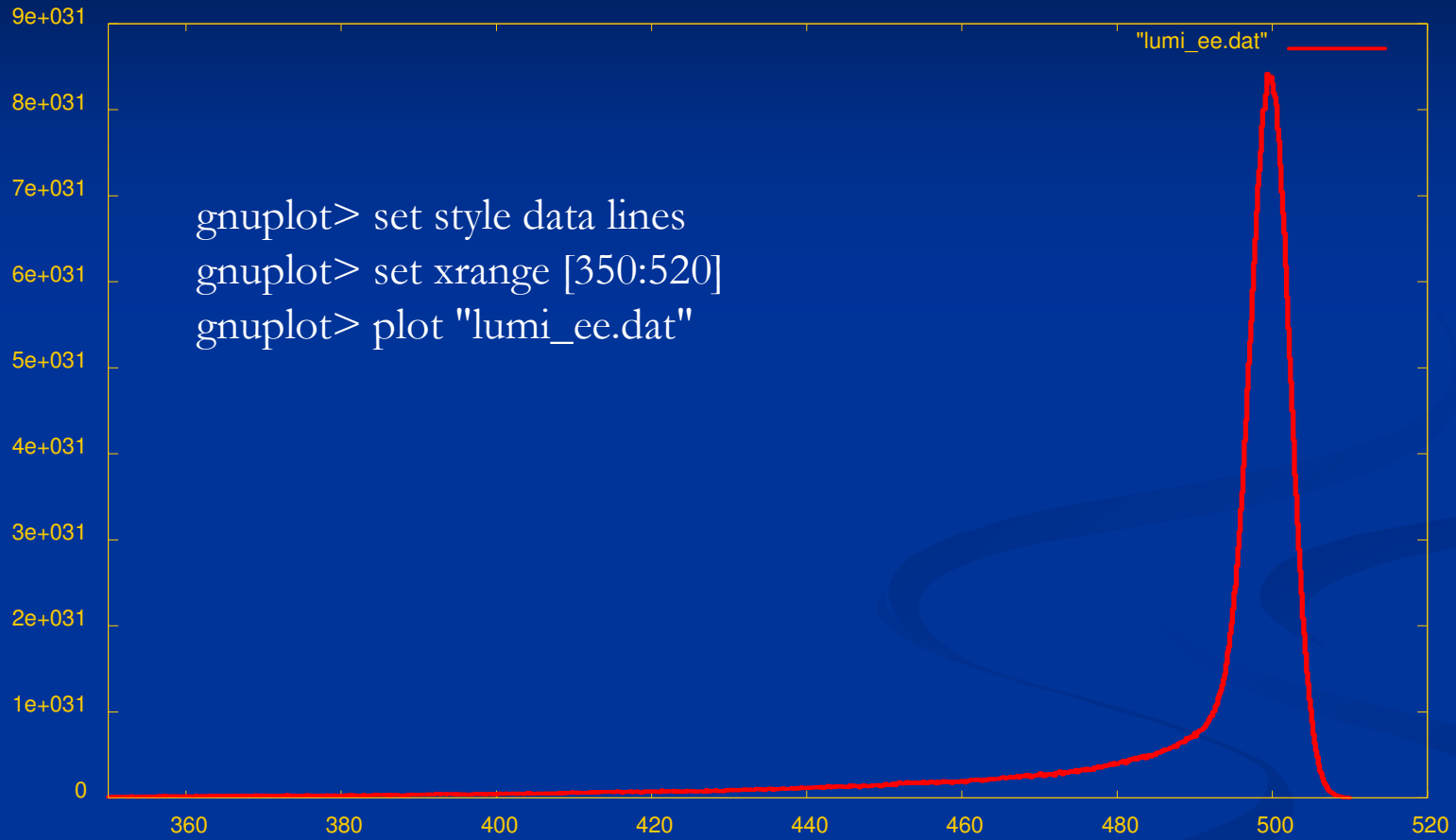
$\text{Lo} = \text{N1 N2 fc} / (4 \pi \text{sigma}^2)$

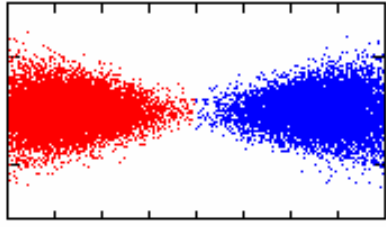
Işınlık artma faktörü HD ise L/Lo olmak üzere

$\text{HD} = 1.41 / 0.78 = \mathbf{1.81}$

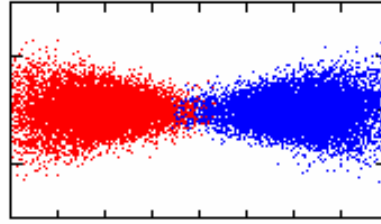
Formulden hesaplanan Hd sonucu ?

Guinea

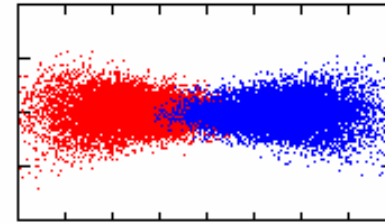




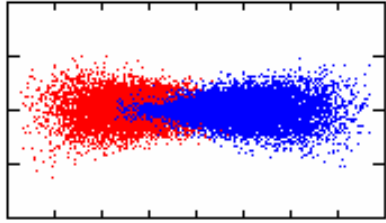
a)



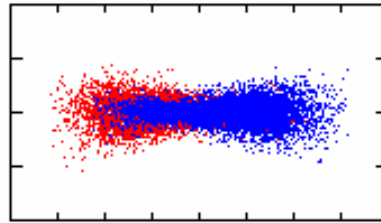
b)



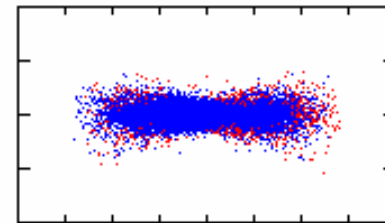
c)



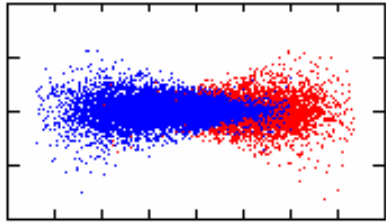
d)



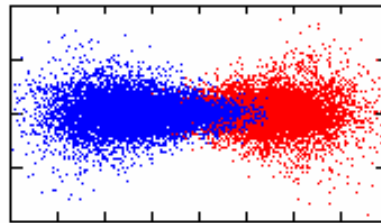
e)



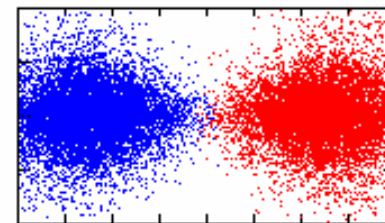
f)



g)



h)

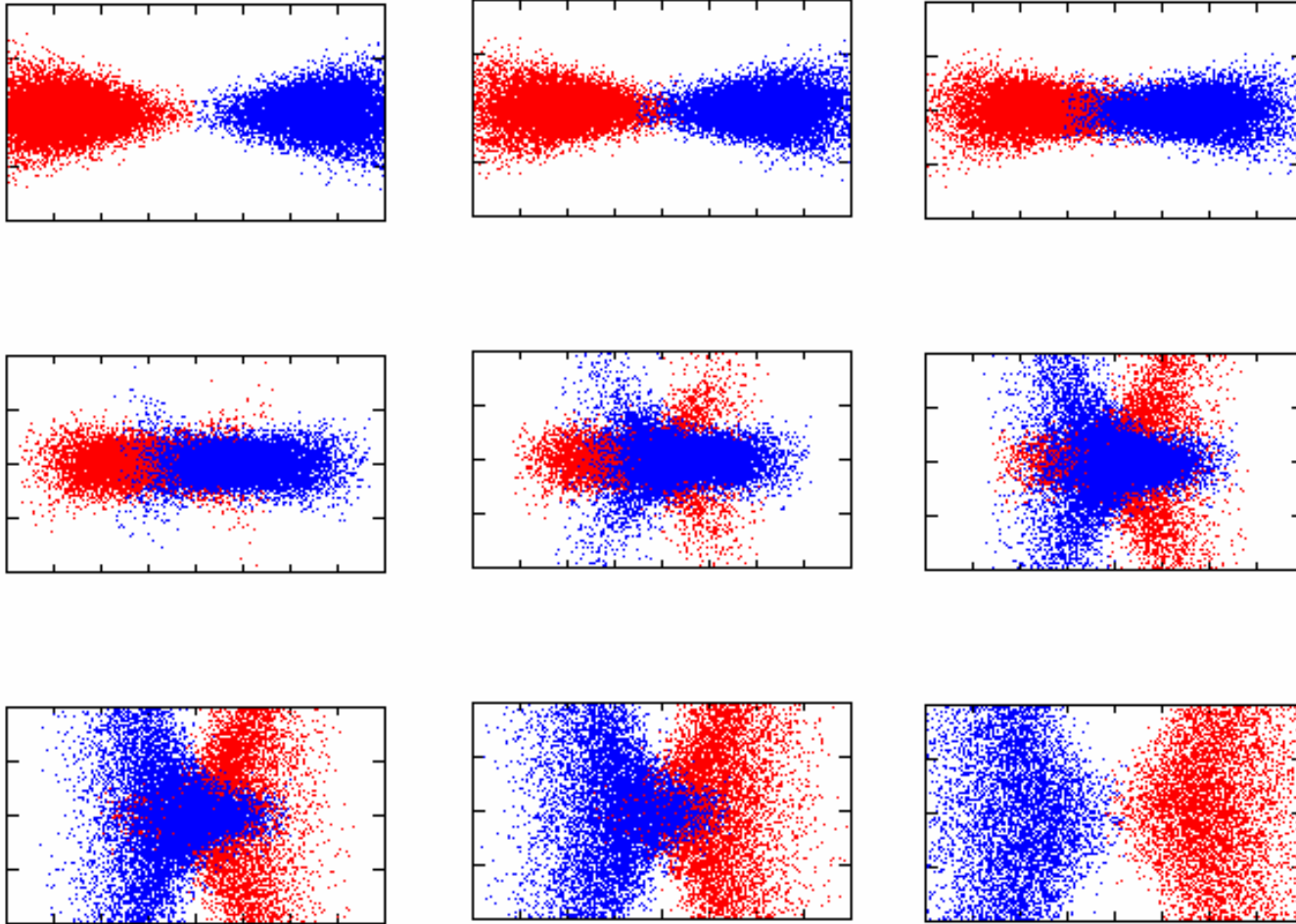


i)

CLIC parametreleri için çarpışma bölgesinin simülasyonu (elektron-pozitron)

Simülasyon

E. RECEPOGLU
HPFBU-2012 -KARS



CLIC parametreleri için çarpışma bölgesinin simülasyonu (elektron-elektron)

(Elektron-elektron) Zaman akışı sağdan sola

E. RECEPOGLU
HPFBU-2012 -KARS

CAIN Programı

- CAIN programı fortran dilinde yazılmış bir simülasyon programıdır. Guinea-pig programı elektron-pozitron çarpışmasının simülasyonunu yapabilirken CAIN programı ile elektron, pozitron ve foton çarpışmaları için simülasyon yapılabilir. Guinea-pig programına benzer bir yapıda çalışır. Çalıştırmak içinde xxx.i isimli Guinea-Pig programındakine benzer yapıda bir dosya oluşturulmalıdır. Bu programın girdi dosyasını oluşturmak için detaylı bilgi kullanım klavuzunda mevcuttur. Çizelge 1’de verilen değerler ile CAIN programından elde edilen ışınlık spekturmü şekil 3’de verilmiştir.

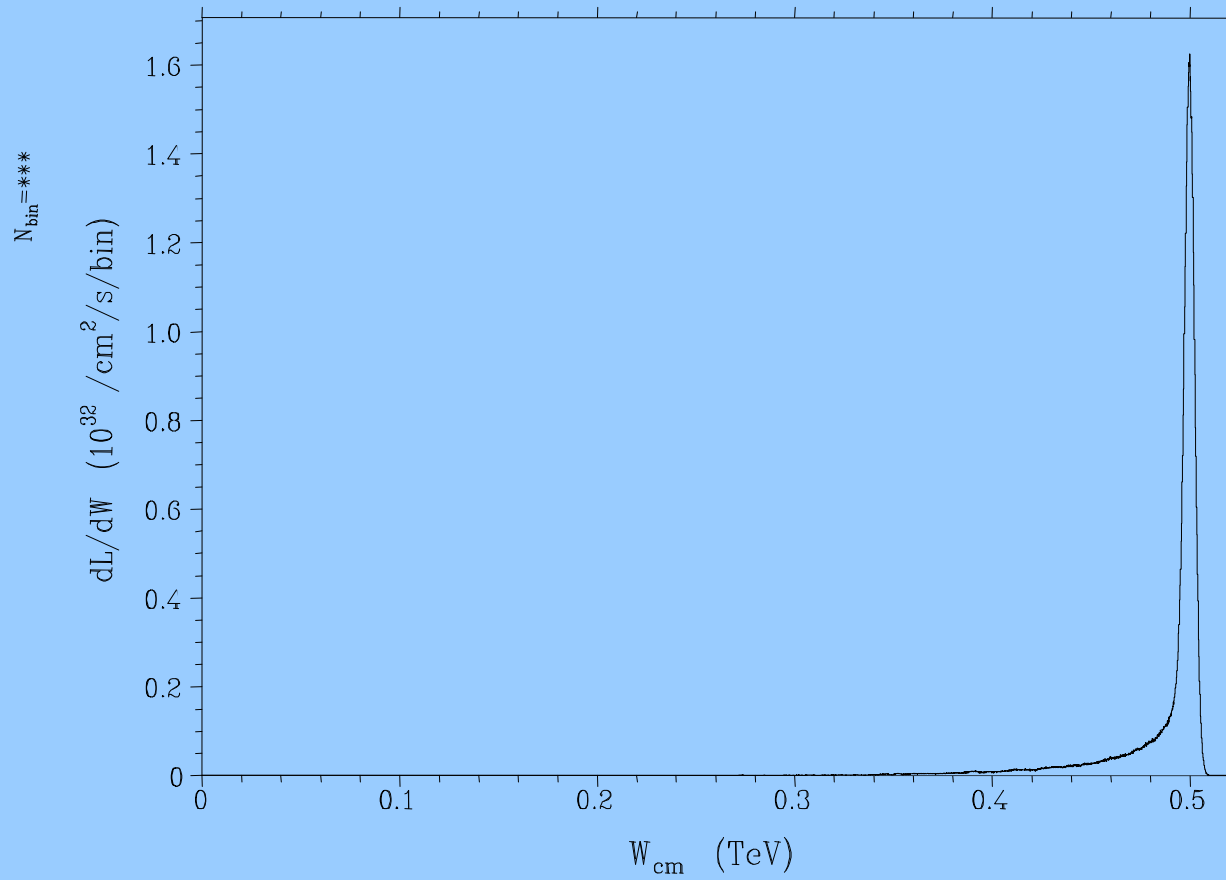
- SET mm=1E-3, micron=1E-6, nm=1E-9,
- ee=250E9, gamma=ee/Emass, an=0.4E10,
- sigz=30*micron, betax=10*mm, betay=0.15*mm,
- emitx=2D-6/gamma, emity=2D-8/gamma,
- sigx=Sqrt(emitx*betax), sigy=Sqrt(emity*betay),
- sigxp=sigx/betax, sigyp=sigy/betay ;
- SET MsgLevel=1;
- ! Define electron/positron beams at IP
- BEAM RIGHT, KIND=2, NP=20000, AN=an, E0=ee,
- BETA=(betax,betay), EMIT=(emitx,emity), SIGT=sigz,SIGE=0.007;
- BEAM LEFT, KIND=3, NP=20000, AN=an, E0=ee,
- BETA=(betax,betay), EMIT=(emitx,emity), SIGT=sigz,SIGE=0.007;
- ! Longitudinal mesh size for luminosity and beam-field calculation.
- SET Smesh=sigz/2;
- ! Define luminosities to be calculated
- LUMINOSITY KIND=(2,3), W=(350E9,520E9,5000),
- ! Define parameters for beam-beam field calculation
- BBFIELD NX=32, NY=32, WX=8*sigx, R=sigx/sigy/2;
- ! Turn on beamstrahlung
- CFQED BEAMSTRAHLUNG;
-

UYGULAMA

CAIN

Luminosity Spectrum (e^-e^+)

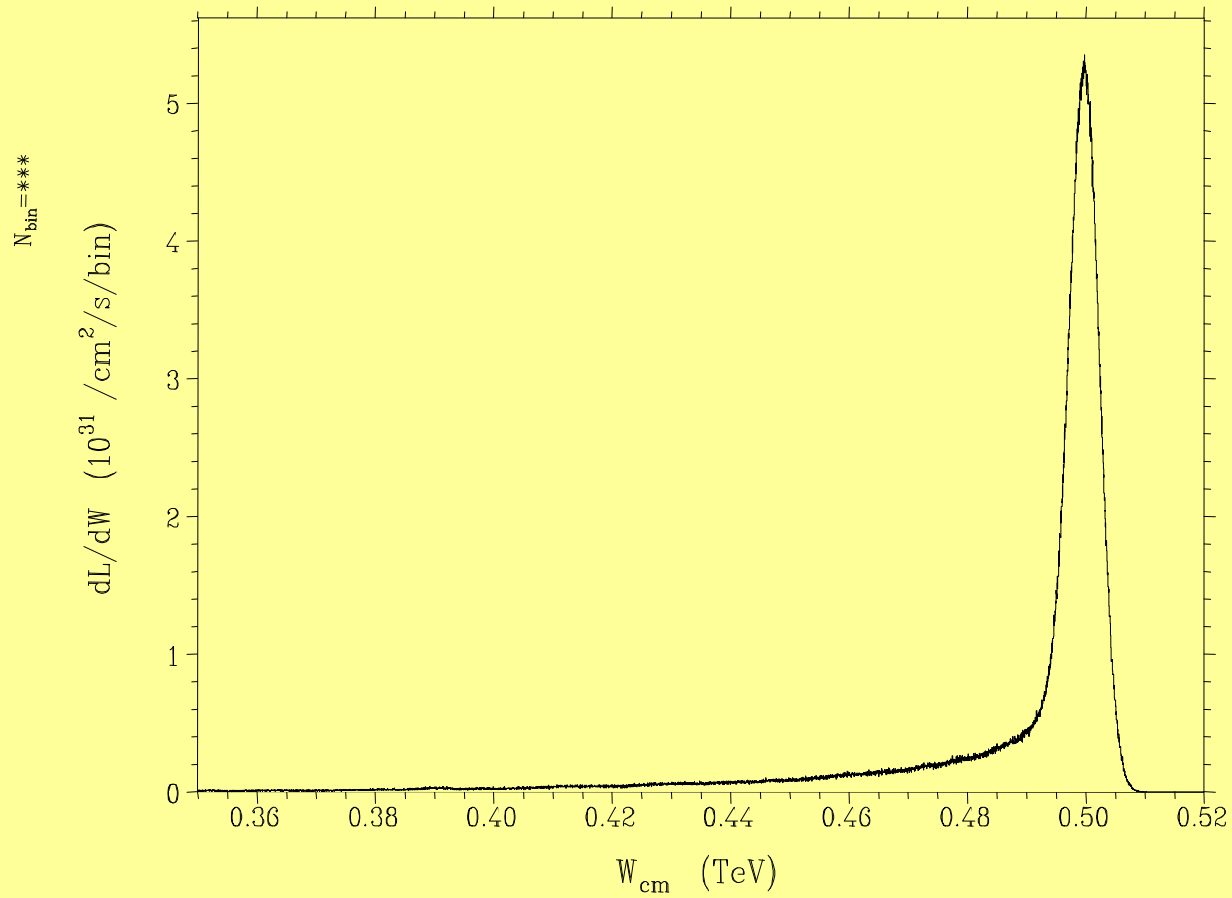
12:25:04(24-AUG-09) CAIN2.3a



Total luminosity $1.428 \pm 0.003(\text{stat.}1\sigma)$ plotted range $1.428 \times 10^{34} / \text{cm}^2 / \text{s}$

Luminosity Spectrum (e^-, e^+)

12:31:47(24-AUG-09) CAIN2.3a



Total luminosity $1.428 \pm 0.003(\text{stat.}1\sigma)$ plotted range $1.418 \times 10^{34} / \text{cm}^2 / \text{s}$

Alıştırma

Çizelge 1’de verilen CLIC parametre setlerinden 1 TeV olanı dikkate alınız ve

- geometrik ışınlık değerini hesaplayınız.
- öğrendiğiniz program vasıtasıyla ışınlık değerini hesaplayınız.
- ışınlık artırma faktörünü hesaplayınız.

Başarılar.