

Speciális mágnesek tervezése, szimulációja részecskegyorsítókhoz

Barna Dániel

`daniel.barna@cern.ch`

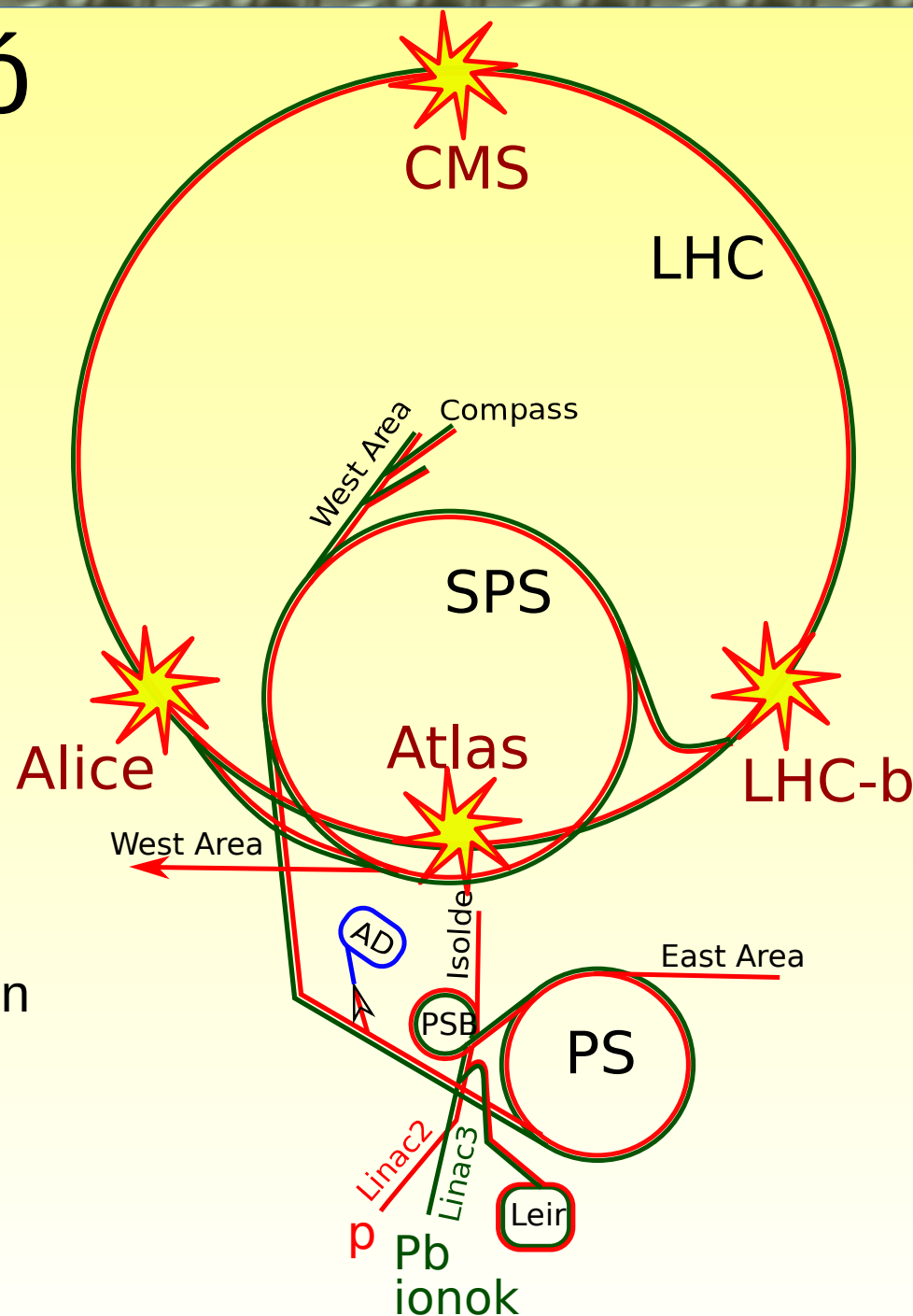
Wigner Fizikai Kutatóközpont

Tokyo Egyetem, CERN

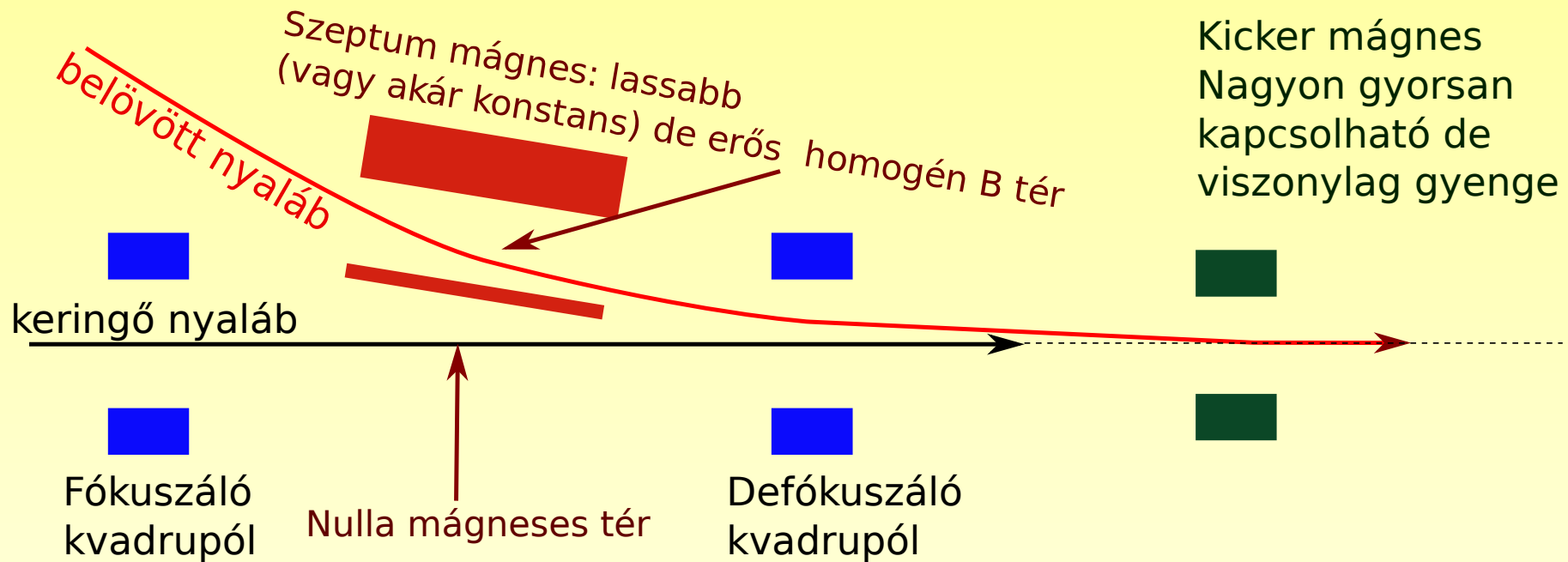
(Varga Dezső tolmácsolásában)

Részecskegyorsító hierarchia

- Egy gyűrű dinamikai tartománya véges, kb. 1 nagyságrendet tud növelni az energián
- Tipikus gyorsítórendszer több fokozatból áll
- Az egyes gyűrűk közötti nyaláb-átvitelhez be (injection) és ki (ejection) kell lőni a nyalábot a gyűrűbe/ből
- Álló céltárgyas kísérletekhez szintén ki kell lőni a nyalábot a gyűrűből
- Tipikus megoldás: kicker + szeptum mágnesek kombinációja



Kicker + szeptum

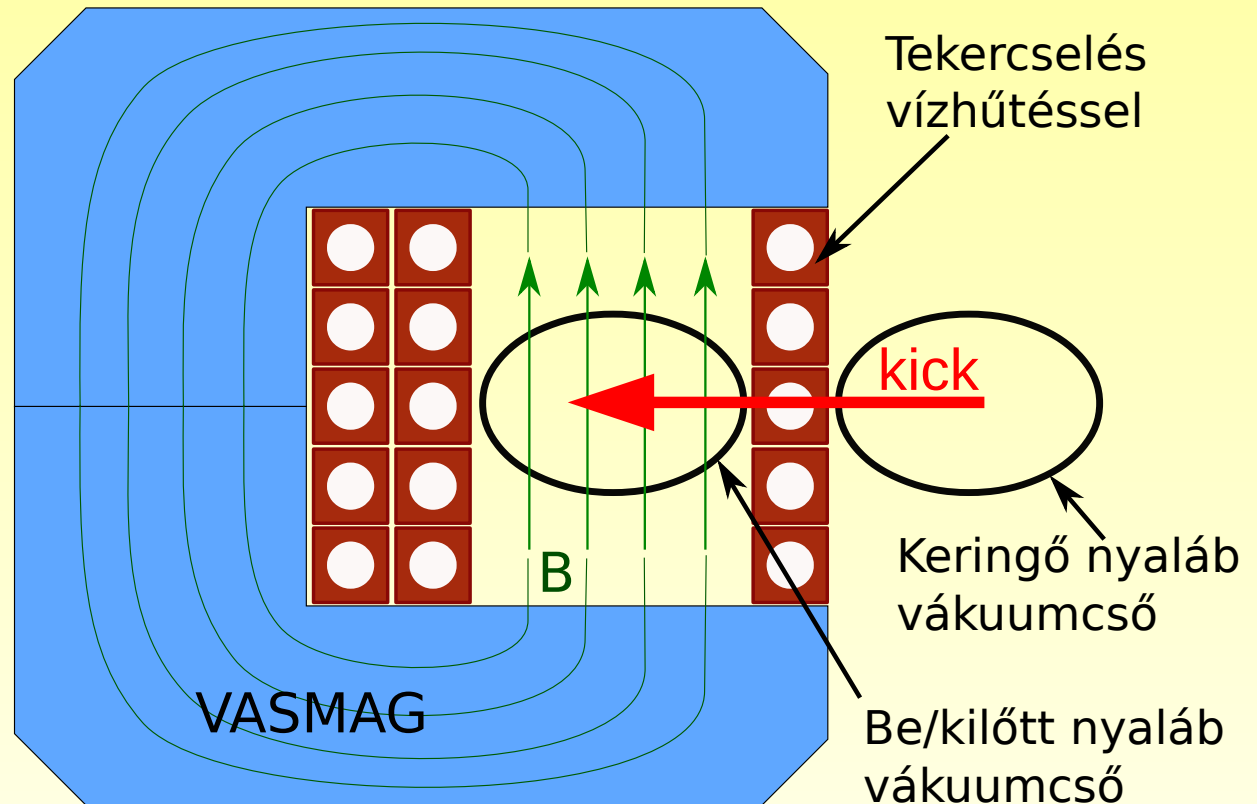


- Ugyanez működik kilövéskor is (ejection), csak fordított irányú nyilakkal
- **Szeptum** mágnes feladata: erős homogén + nulla mágneses teret létrehozni nagyon közel egymáshoz.
- A két területet határoló fal (=szeptum latinul) minél vékonyabb legyen (6-20 mm) - nyalábvesztések + kicker mágnes erejét csökkentendő...

Hagyományos szeptum mágnes

Üzem mód:

- Konstans tér (a gyűrű kilövési/belövési energiájára állítva)
→ energiafogyasztás
- Pulzált (csak a belövés/kilövés pillanatában)
→ anyag elfáradása a hatalmas mágneses erők hatására

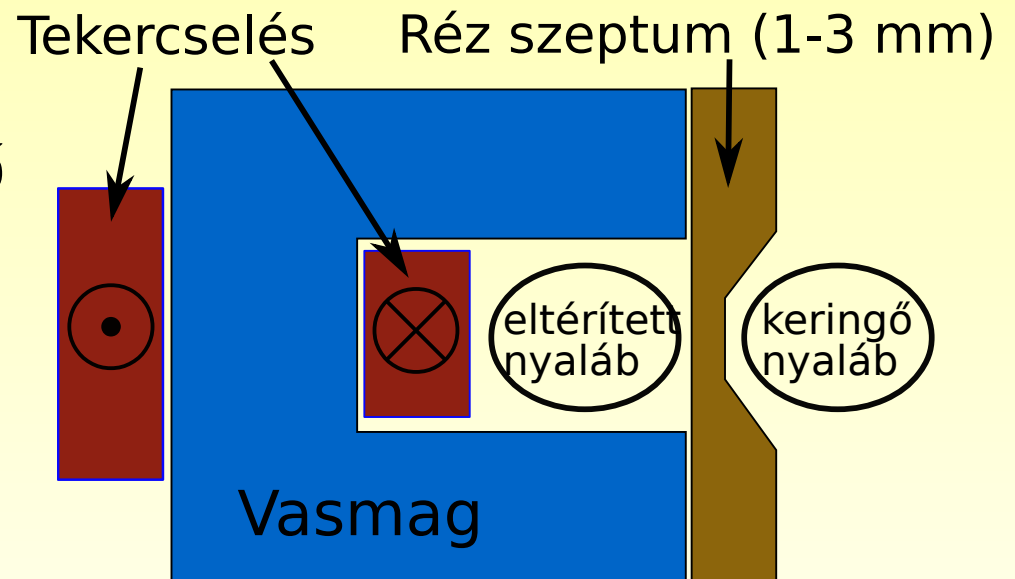


További nehézségek:

- Komoly védelem szükséges – ha a kicker mágnes csak “félig sülné el”, a nyaláb tönkretenné a szeptum tekercselését

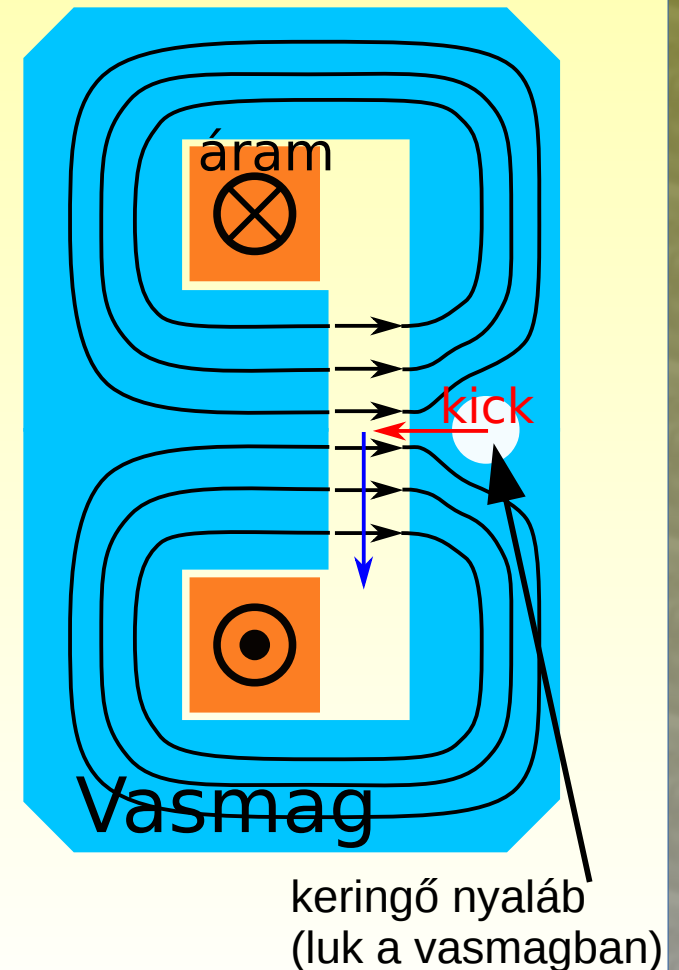
Eddy current septum

- Pulzált működés
- A gyorsan változó mágneses tér örvényáramokat kelt a szeptumban
- Ezek leárnyékolják a mágneses teret a keringő nyaláb helyén (Lenz törvény)
- Csak addig tart az effektus, amíg az örvényáramok le nem csengenek



LHC: meg kell szabadulni a nyalábtól!!!

- Egy LHC nyaláb teljes energiája: 362 MJ !!!
- = 200 m hosszú, 150 km/h sebességű TGV mozgási energiája
- Ez tönkre tudja tenni magát a gyűrűt !!!
- ~10 óráig kering ez a nyaláb (ütközések), ez után már csökken az intenzitása, meg kell tőle szabadulni (beam dump)
- De akkor is, ha a legkisebb hibát észlelik bárhol a gyűrűben
- A kicker+szeptum mágnesek alapvető fontosságú eszközök!!
- Állandóan “követniük” kell a nyaláb energiáját (vészhelyzetre...), nem lehet pulzált
- LHC: Lambertson szeptum (**kicker** és **szeptum** eltérítése merőlegesen)



LHC: meg kell szabadulni a nyalábtól!!!

- Egy LHC nyaláb teljes energiája: 362 MJ !!!
- = 200 m hosszú, 150 km/h sebességű TGV mozgási energiája
- Ez tönkre tudja tenni magát a gyűrűt !!!
- ~10 óráig kering ez a nyaláb (ütközések), ez után már csökken az intenzitása, meg kell tőle szabadulni (beam dump)
- De akkor is, ha a legkisebb hibát észlelik bárhol a gyűrűben
- A kicker+szeptum mágnesek alapvető fontosságú eszközök!!
- Állandóan “követniük” kell a nyaláb energiáját (vészhelyzetre...), nem lehet pulzált
- LHC: Lambertson szeptum (**kicker** és **szeptum** eltérítése merőlegesen)

A gyűrű másik nyalábja



FCC – Future Circular Collider - Study

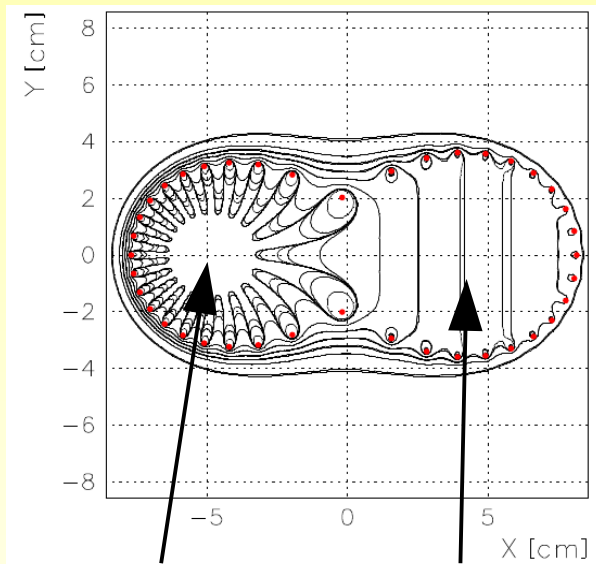
- Elfogadott 5 éves projekt
- Cél:
 - kidolgozni egy 100 km hosszú, 50+50 GeV-es proton-proton ütköztető megvalósíthatósági tanulmányát
 - Új hardware koncepciók kidolgozása
 - Prototípusok építése
- A munkacsoportok az “engedd szabadjára a fantáziádat” elv alapján látnak neki
- CERN TE-ABT-SE szekció: új szeptum mágnes koncepciók kidolgozása (1-2 év), prototípus építés (2 év után)
- Korai fázisban van lehetőség bekapcsolódni

FCC szeptum mágnesek

- Tervezett injection (belövés) 3.3 TeV-en (LHC-nál kisebb energia) – megvalósítható jelenlegi technológiával is
- Ejection (kilövés) a beam dump felé:
 - 400 m hosszú 1 Tesla erősségű mágneses tér kellene 2.4 mrad (0.14°) eltérítéshez
 - Szivattyúk, diagnosztika stb-vel együtt: 540 m
- Problémák:
 - Jó lenne erősebb tér, de vasmag szaturálódik (→ szupravezető?)
 - Mágnesek energiafogyasztása (→ szupravezető?)
 - Szeptum védelme a nyalábtól (→ "massless septum"?)
- A következő néhány fólián bemutatok néhány ígéretes irányt...

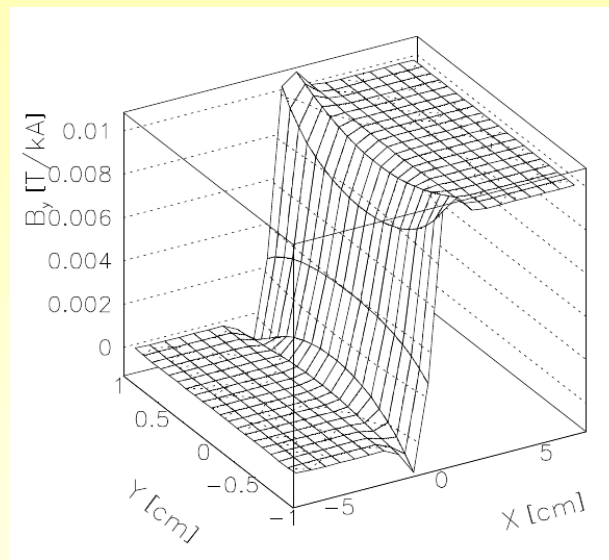
FCC szeptum ötletek

- Létezik olyan 2D áram konfiguráció, ami a szükséges teret hozza létre
- Vasmag használata nélkül (→ szupravezető, hogy erős teret hozzon létre!)
- Minden áram azonos polaritású (“máshol jön vissza”)
- Emiatt kevésbé hatékony (mágneses tér vs. áram)
- Viszont: a két nyaláb között nincs “szeptum” (azaz elválasztó fal): “**massless septum**” - biztonságos!

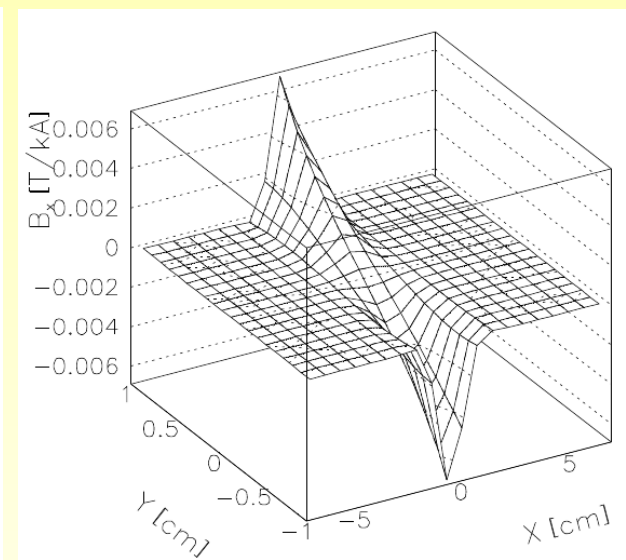


Közel nulla
tér

Homogén
tér



B_y – éles átmenet nulla
és homogén tér között



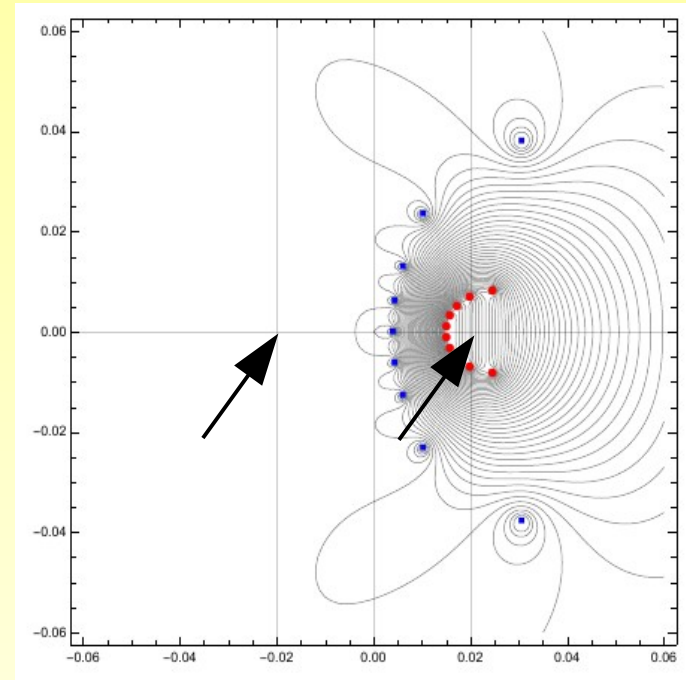
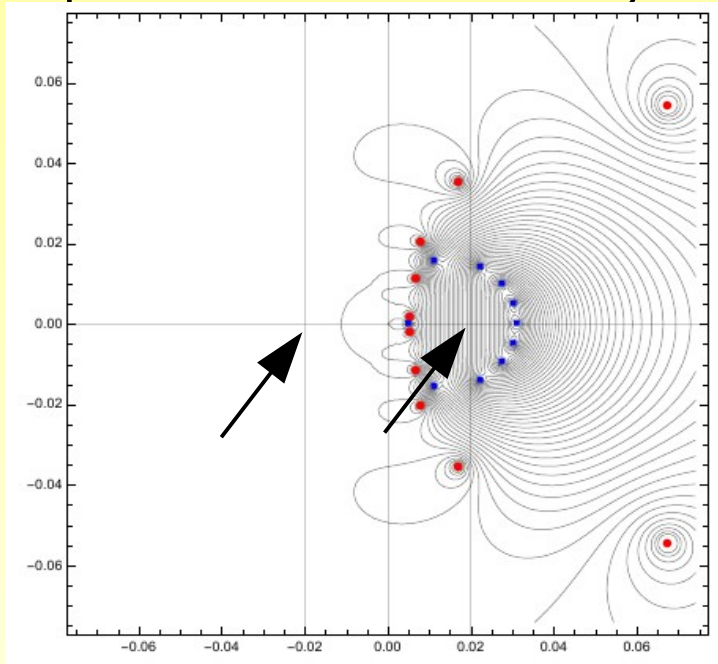
B_x – közel nulla az
átmeneti zónán kívül

Megvalósítható ez bipoláris (“oda-vissza”) áramokkal is, a nagyobb B-I hatékonyság végett? Milyen drót-konfigurációval?

S. Fartoukh: A semi-analytical method to generate an arbitrary 2D magnetic field and determine the associated current distribution, LHC Project Report 1012

FCC szeptum ötletek

- Az előző konfigurációt egy ügyes algebrai algoritmus találta meg. Ugyanez bipoláris áramok esetén ilyesmit ad

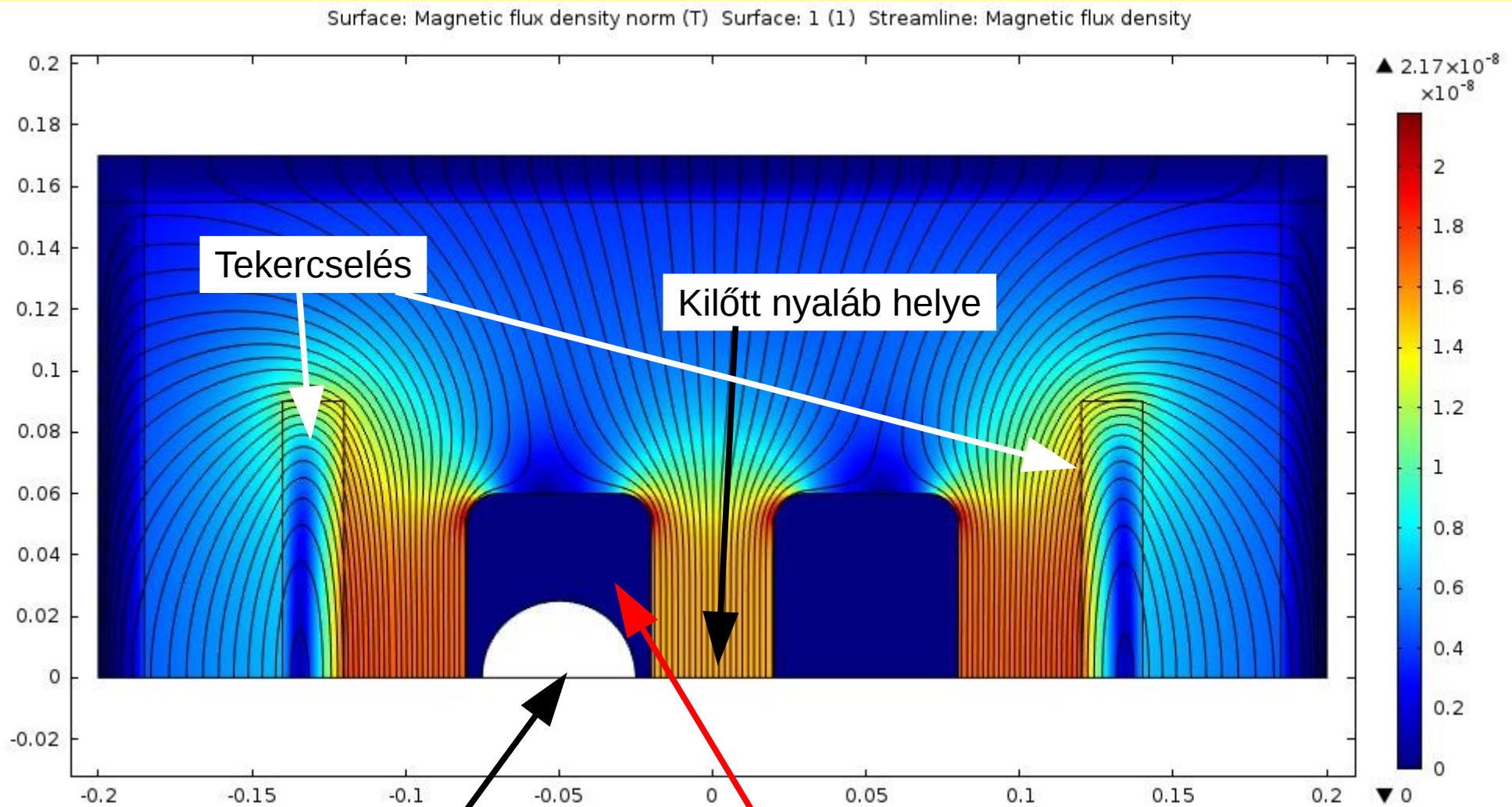


- A megoldások nem egyértelműen meghatározottak. Van-e ennél jobb konfiguráció?
- PI “massless”, ahol nincs áramvezető a két nyaláb között. Ez a 'cél' nem adható meg az algoritmusnak.
- További numerikus optimalizáció irányítottan, ilyen konfigurációk megtalálására...?

FCC szeptum ötletek – szupravezető árnyékolás

- Meissner effektus: szupravezető kiszorítja a mágneses teret (ha $B < B_c$), a belsejében nincs mágneses tér
- Baj: kritikus tér B_c túl kicsi gyakorlati szempontból. Nem használható.
- 2-es típusú szupravezető: nulla ellenállás, ha $B < B_c$ (=15 Tesla pl. Nb-Ti ötvözetre)
- Ahogy növeljük a külső mágneses teret, az indukált örvényáramok leárnyékolják a mágneses teret (Lenz törvény) = eddy current septum
- De: mivel nulla az ellenállás, ez “végtelen” sokáig így is marad. Nem kell pulzált üzemmódot használni. LHC-ban, FCC-ben is használható lenne (?)

FCC szeptum ötletek – szupravezető árnyékolás



Keringő nyaláb

Réz blokk szupravezető páncéllal (néhány mm szupravezető le tud árnyékolni néhány Tesla teret !!)
Stabilitás (hőmérséklet, pl ha nyaláb felfűti...)

Erre számíthatsz, erre számítok

- Hardware-fejlesztéshez szükséges szemlélet, mérnöki beütés
- “Engedd szabadon a fantáziádat”
- ... de tudj megoldani nagyon konkrét földhözragadt problémákat is
- Mathematica és/vagy 3D szimulációs programok megtanulása
- Hasznos: C++, numerikus módszerek ismerete

- És ha minden jól megy, egy hosszabb távú munkakapcsolat esetén prototípus fejlesztés, tesztelés...

Kapcsolat: Barna Dániel (daniel.barna@cern.ch)