Stefanovi dnevi 2012

Razvoj fizike osnovnih delcev

G. Kernel

Vsebina

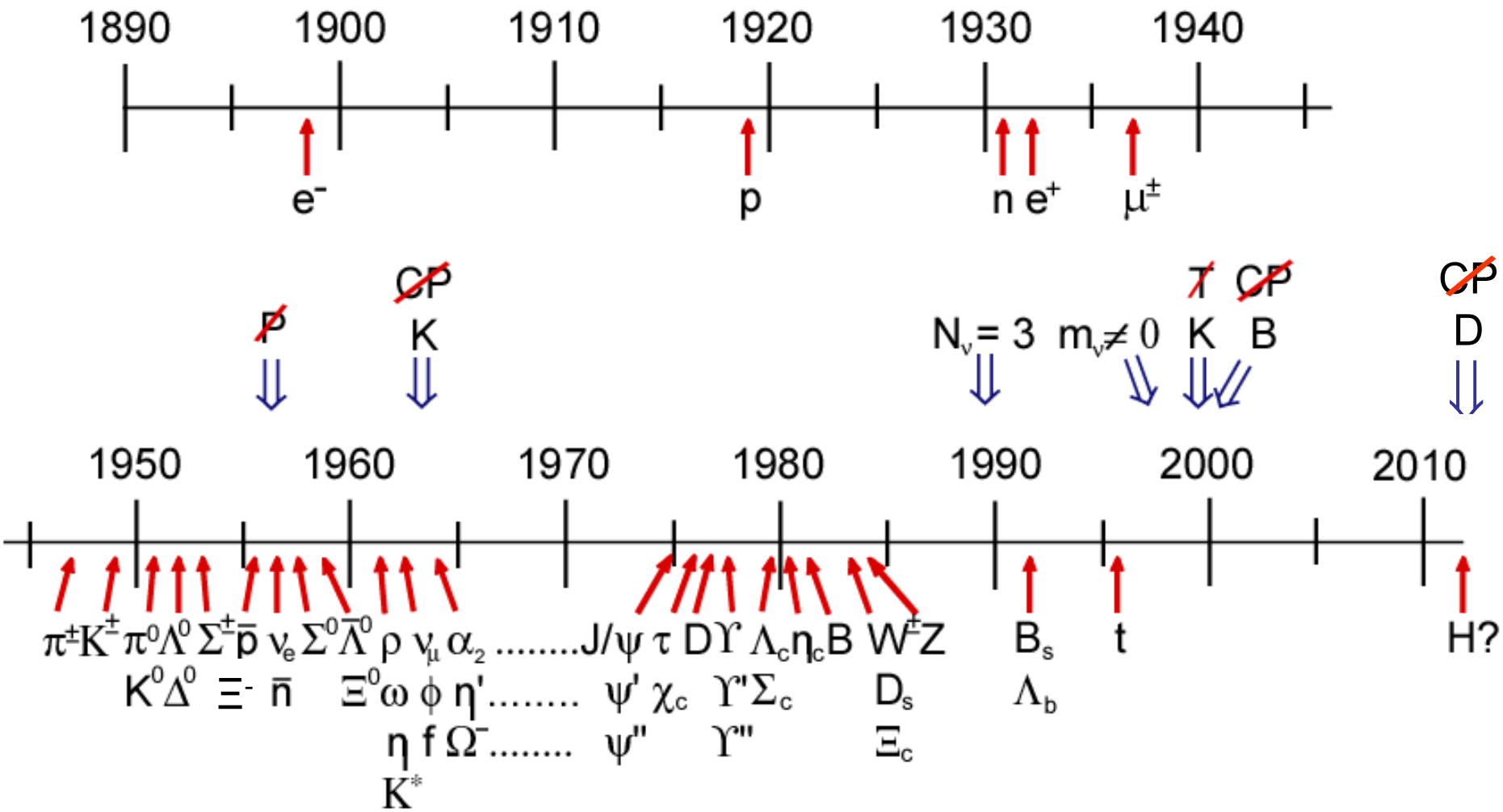
1. Uvod
2. Pregled razvoja fizike delcev
3. Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas
4. Zaključek

Ni vključeno:
- razvoj teorije,
- eksperimenti posvečeni izključno študiju lastnosti nevtrinov,
- povezava s kozmologijo.

Uvod

- Vprašanje, kako je sestavljena snov, ki jo poznamo in do katere mere se da deliti, je od vsega začetka vzbujalo domišljijo ljudi.
- Vse do 17. stoletja je proučevanje narave slonelo na sholastičnih filozofskih idejah. Šele od takrat naprej se je uveljavila doktrina, po kateri naj bi znanstvena spoznanja slonela na opazovanju in meritvah.
- Pravi razcvet je fizika osnovnih delcev doživela po drugi svetovni vojni.
- Za fiziko osnovnih delcev (tudi: fizika delcev, fizika visokih energij) je več definicij, ki se nekoliko razlikujejo druga od druge. Fizika delcev naj bi bila veja fizike, ki proučuje lastnosti *osnovnih sestavnih delov (?)* snovi in interakcije med njimi. Za nekatere je to kar veja fizike, ki se ukvarja z najmanjšim in največjim. Po najbolj strogi definiciji so osnovni delci ireducibilni (nerazcepni) sestavni deli snovi.
- Pri nas smo se začeli z eksperimentalno fiziko delcev ukvarjati šele sredi 70ih let prejšnjega stoletja.

Pregled razvoja fizike osnovnih delcev



Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas

- Ker je pri eksperimentih iz fizike delcev potrebno mednarodno sodelovanje, niso bile pri nas razmere v desetletjih po II. sv. vojni za take raziskave najbolj primerne.
- Na ljubljanski univerzi se je fizika delcev začela predavati kot priključek fiziki jedra šele okrog leta 1980.
- Do odločitve za delo na področju fizike delcev je prišlo leta 1974, ko je postalo jasno, da 15letne uspešne raziskave na betatronu niso bile več konkurenčne. Propadla so tudi prizadevanja za gradnjo novega pospeševalnika, čeprav je bil del opreme zanj že pridobljen.

Nekaj predzgodovine

- Meritve pri betatronu, od koder smo dobivali zavorno sevanje energij do 30 MeV, je bilo namenjeno merjenju jedrske dipolne veleresonance. Gre za pojav, ki je podoben obsevanju $\lambda/2$ antene:

32. digitalni TV kanal: ν = 394 MHz $\rightarrow$ $\lambda/2$ = 0.65m

jedro ogljika: 2r = 3.4 fm $\rightarrow$ E = h ν = 28 MeV

Meritev žarkov gama na jedrih v območju dipolne veleresonance

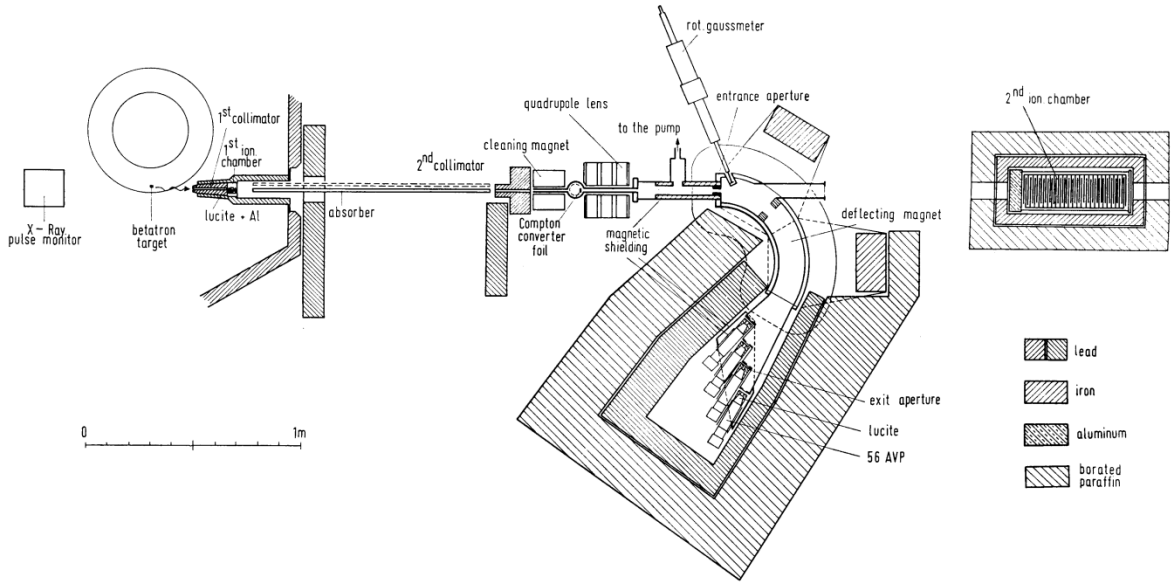
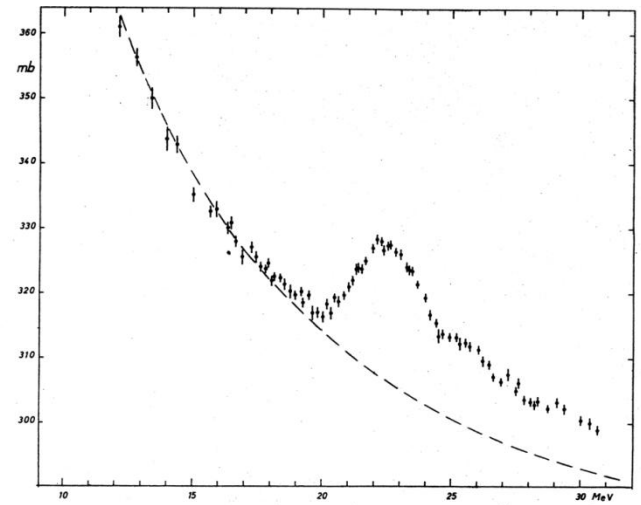
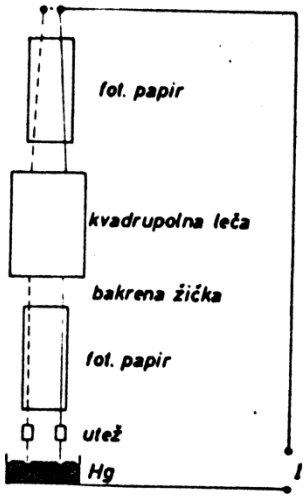


Fig. 1. A schematic view of the experimental arrangement.



Slika 1. Totalni presek za absorpcijo žarkov gama v ogljiku. Črtkana krivulja predstavlja elektronski del preseka za absorpcijo.



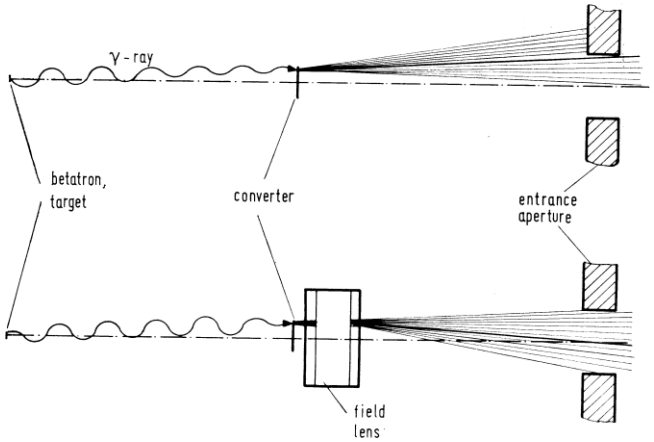
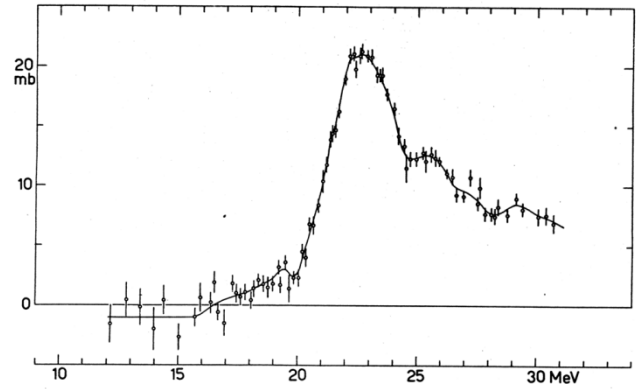
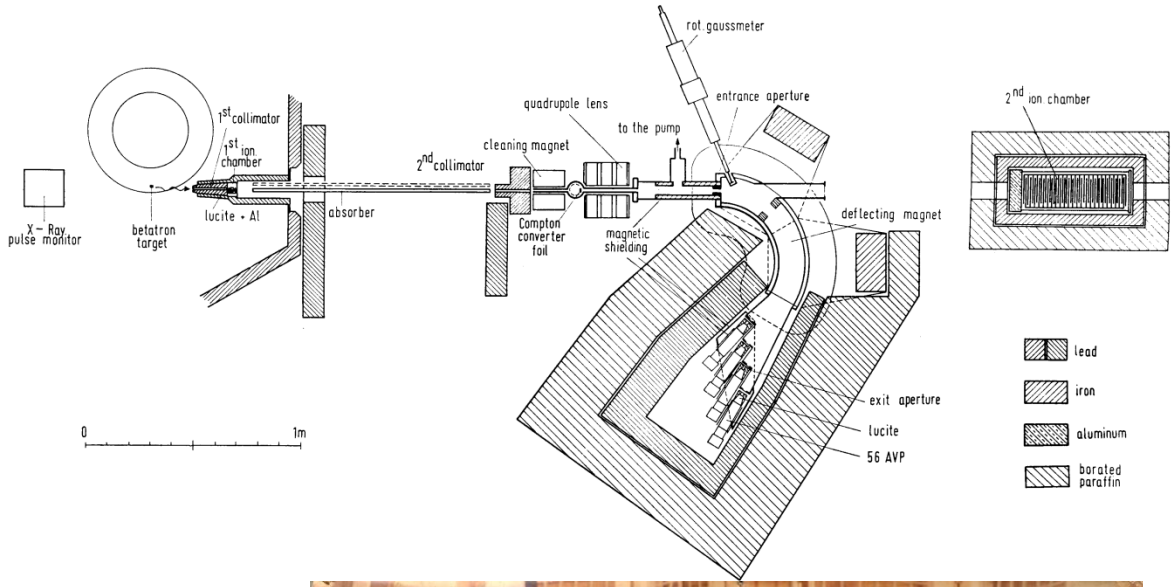


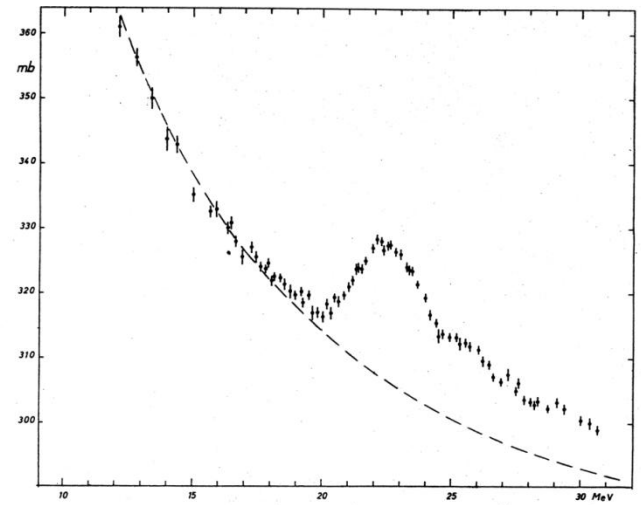
Fig. 2. The effect of field lens on the forward beam of electrons.



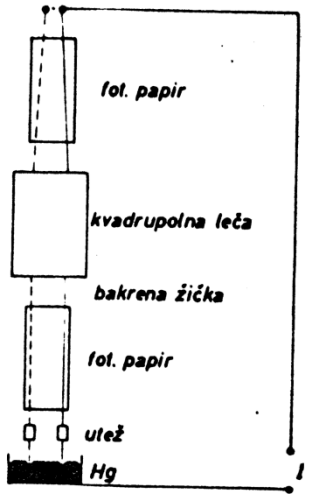
Slika 2. Jedrski del preseka za absorpcijo žarkov gama v ogljiku.

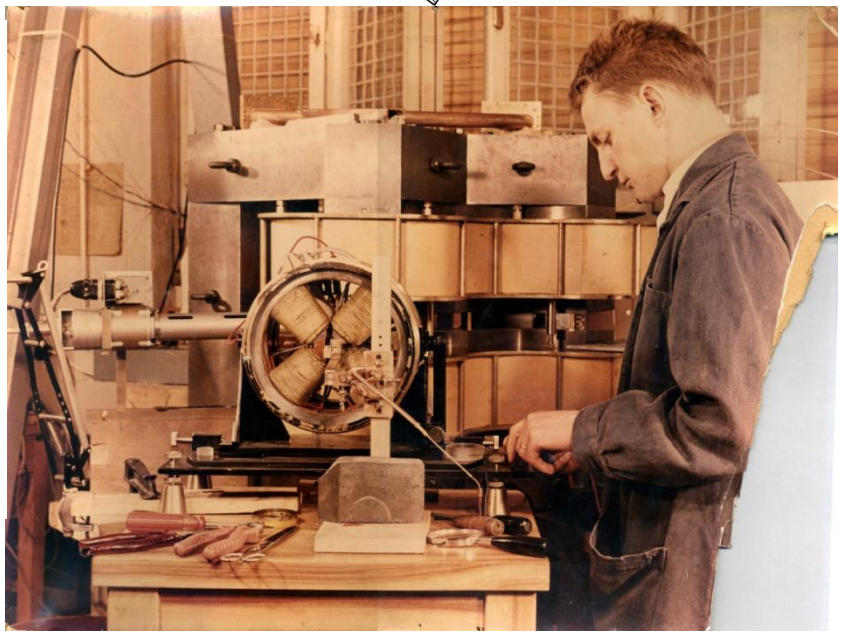
Meritev žarkov gama na jedrih v območju dipolne veleresonance

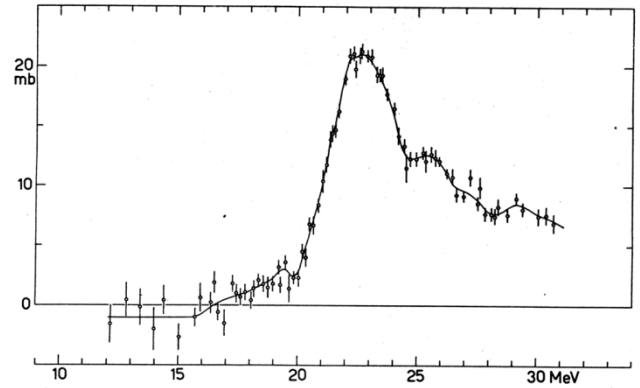




Slika 1. Totalni presek za absorpcijo žarkov gama v ogljiku. Črtkana krivulja predstavlja elektronski del preseka za absorpcijo.







Slika 2. Jedrski del preseka za absorpcijo žarkov gama v ogljiku.

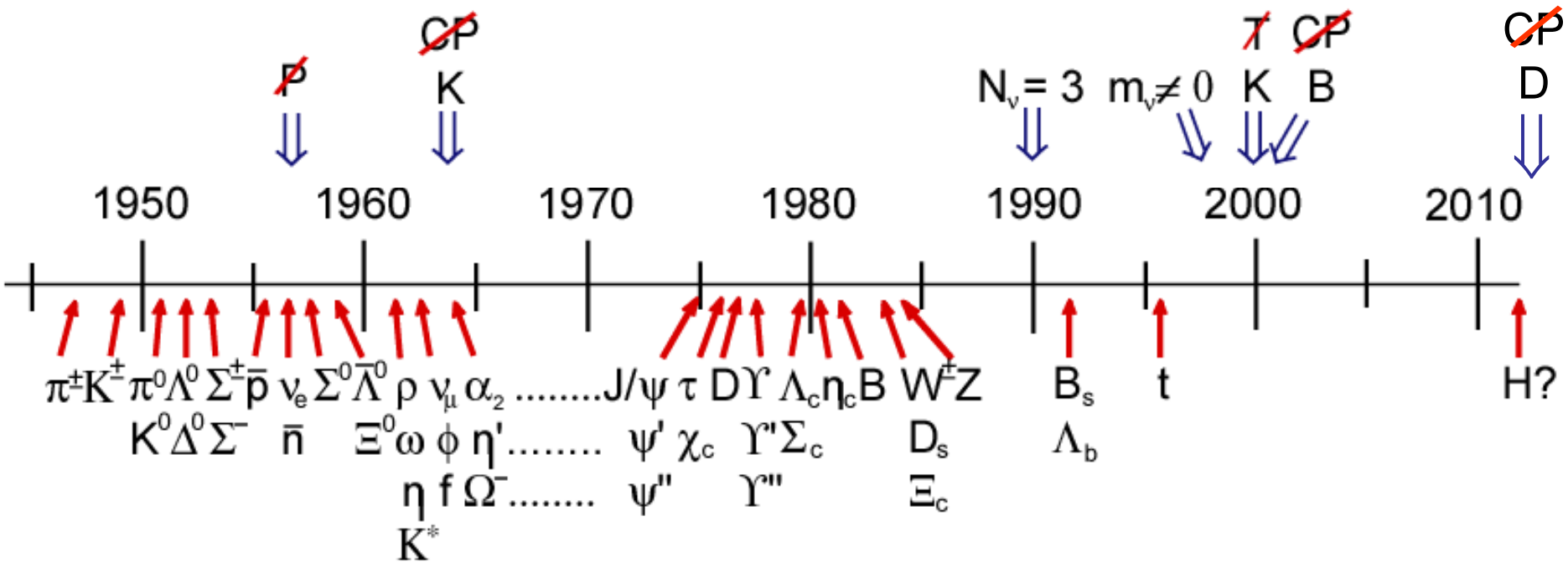
Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas

- 1966, 1967: Vključitev v merjenje inverznih fotojedrskih reakcij pri tandem Van de Graaffu oxfordske univerze.
- Meritvam fotojedrske absorpcije so po letu 1968 sledile meritve parcialnih fotojedrskih reakcij z doma izdelanimi silicijevi detektorji.
- 1971: začetek prizadevanj za gradnjo linearnega pospeševalnika na IJS.
- 1974: vključitev v gradnjo spektrometra Omicron v CERN v Ženevi.

1976: začetki meritev.

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas

Omicron



Omicron

18

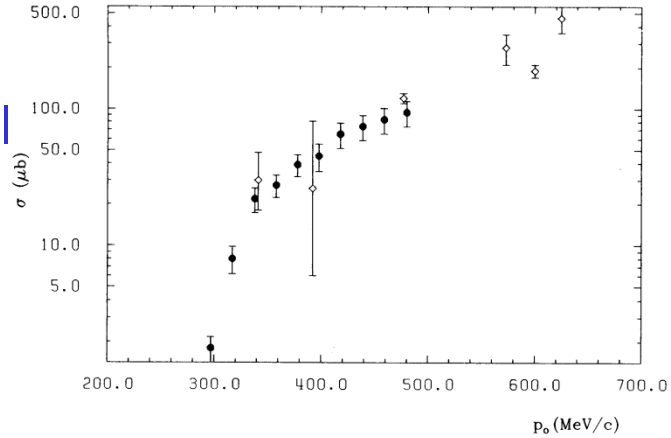
PRI SINHROCIKLOTRONU V CERN V ŽENEVI

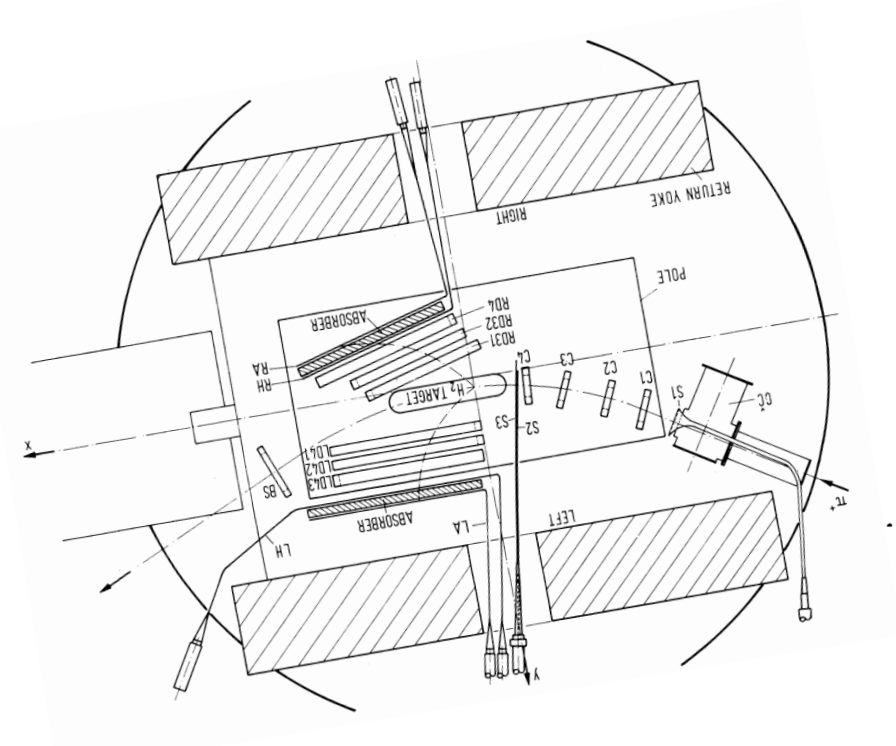
redki razpad $\pi^o \rightarrow e^+e^-$

povratno sipanje pionov na jedrih

povratno sipanje π^- na devteronu

$$\pi\, p \rightarrow \pi\, \pi\, N$$





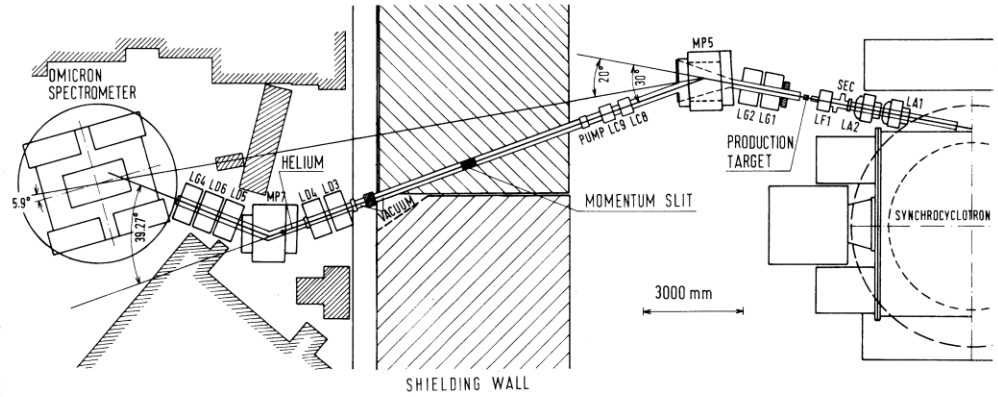


Fig. 1. Beam transport layout for $\pi p \rightarrow \pi\pi N$ measurement.

Omicron

18

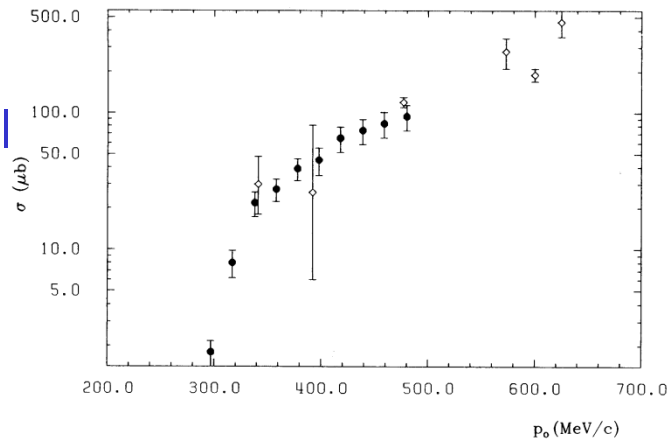
PRI SINHROCIKLOTRONU V CERN V ŽENEVI

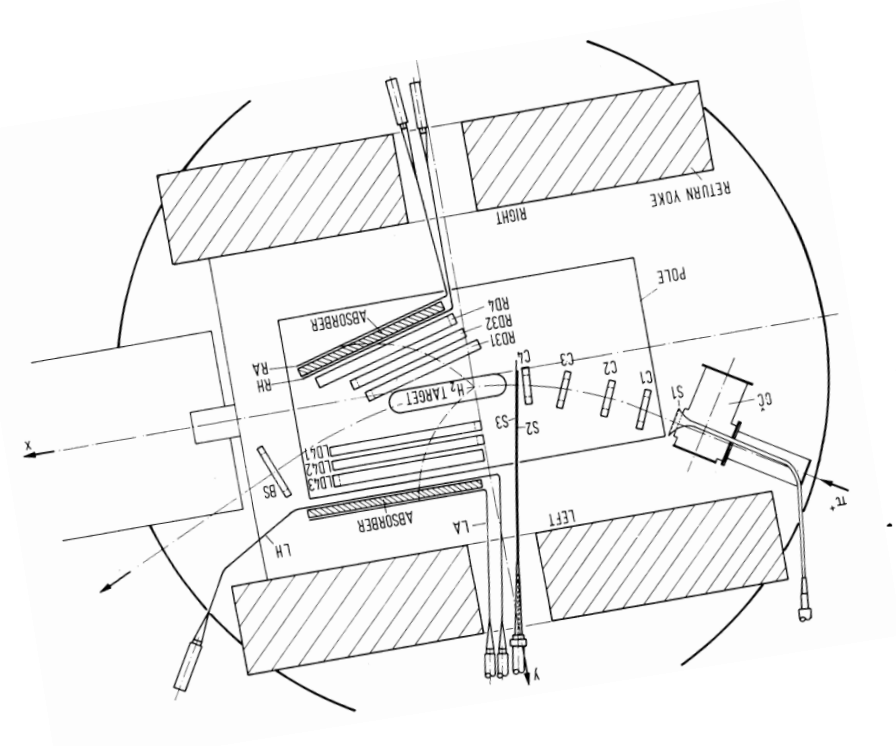
redki razpad $\pi^o \rightarrow e^+e^-$

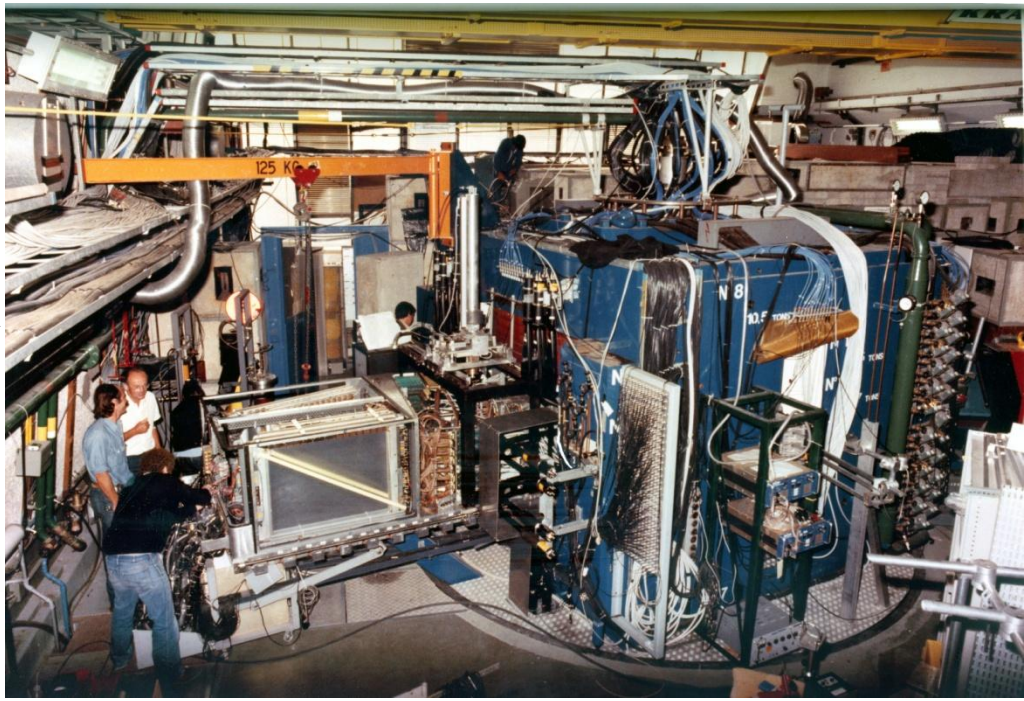
povratno sipanje pionov na jedrih

povratno sipanje π^- na devteronu

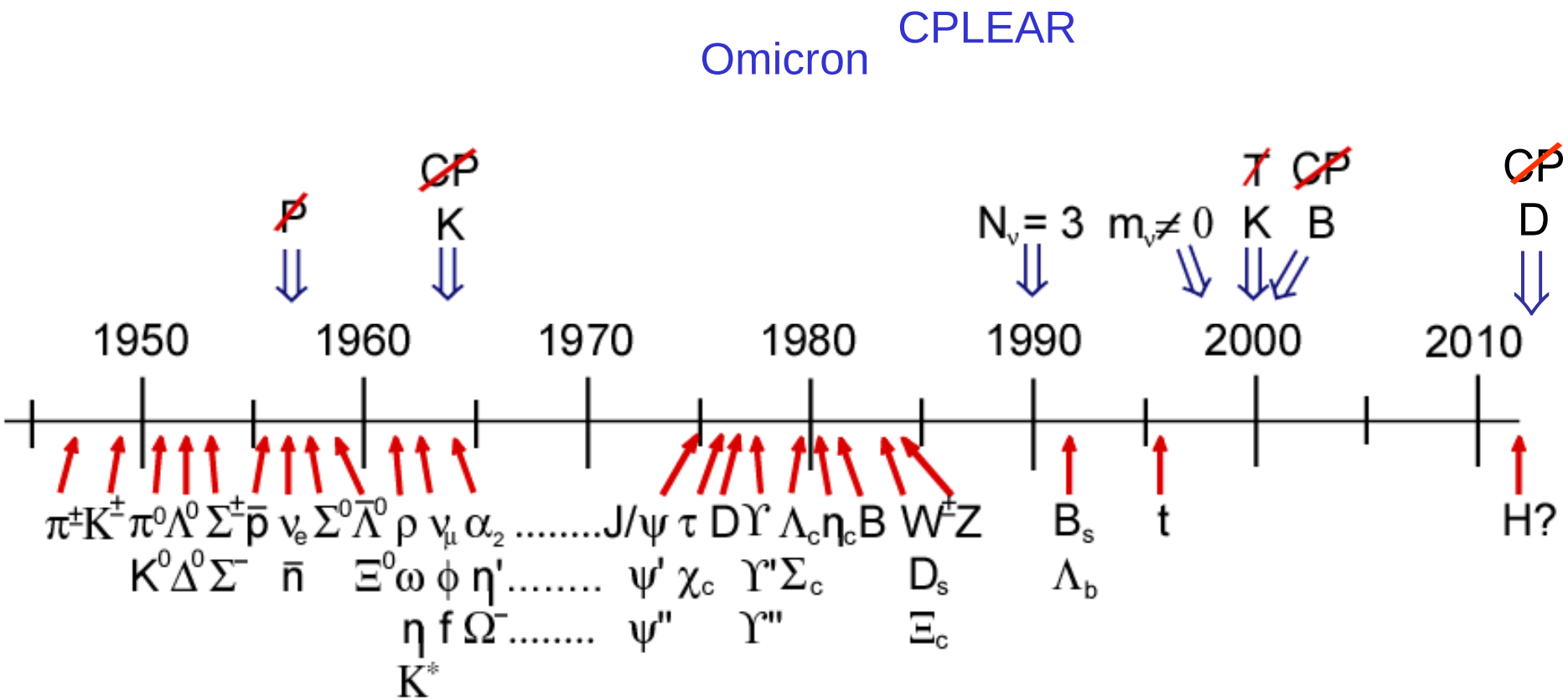
$$\pi\, p \rightarrow \pi\, \pi\, N$$







Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



CPLEAR

~70

PRI NIZKOENERGIJSKEM ANTIPROTONSKEM OBROČU LEAR V CERN

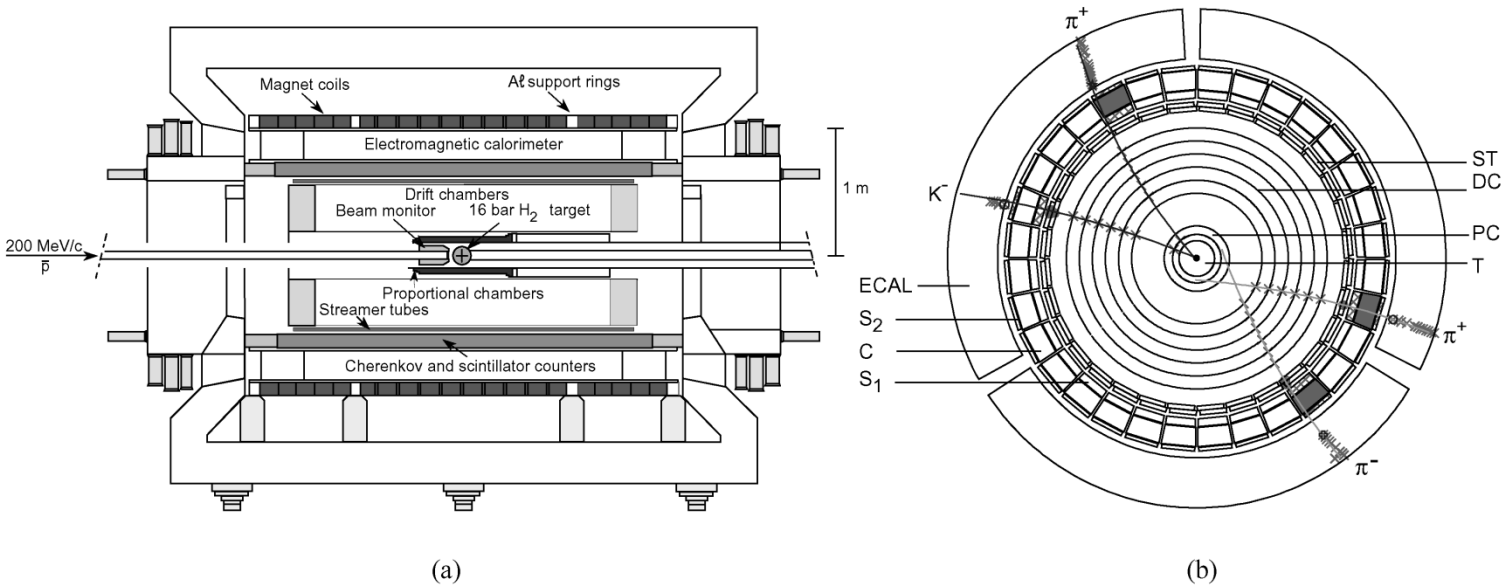


Fig. 2. CPLEAR detector: (a) longitudinal view, and (b) transverse view and display of an event, $\bar{p}p$ (not shown) $\rightarrow K^-\pi^+K^0$ with the neutral kaon decaying to $\pi^+\pi^-$. View (b) is magnified twice with respect to (a) and does not show the magnet coils and outer detector components. In both views the central region refers to the early data taking without the innermost proportional chamber PC0.

CPLEAR

~70

Meritve so omogočale zelo natančno določitev parametrov kršitve simetrije CP v sistemu nevtralnih kaonov.

Med najpomembnejše dosežke kolaboracije CPLEAR spadajo:

- Prva direktna meritev neohranitve simetrije na obrat časa:

$$A_T = \frac{P(K^0 \to \overline{K}^0) - P(\overline{K}^0 \to K^0)}{P(K^0 \to \overline{K}^0) + P(\overline{K}^0 \to K^0)} = (6.6 \pm 1.3) \times 10^{-3}$$

je pokazala, da sta kršitev CP pri mešanju in neohranitev simetrije na obrat časa povezani.

- Testiranje invariantnosti na simetrijo CPT:

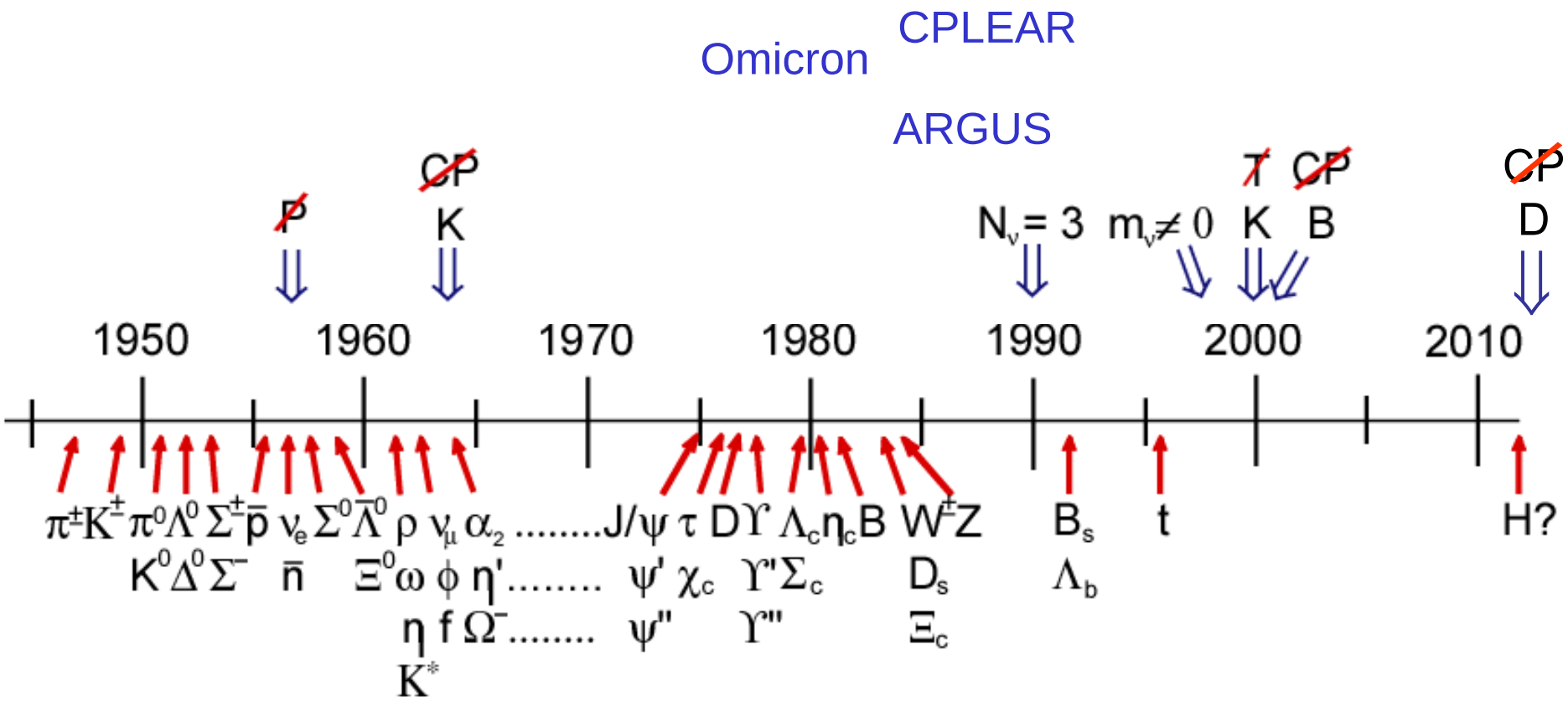
$$\Gamma_{K^0K^0} - \Gamma_{\bar{K}^0\bar{K}^0} = (3.9 \pm 4.2) \times 10^{-18}\ \mathrm{GeV}\ ,$$

$$M_{K^0K^0} - M_{\bar{K}^0\bar{K}^0} = (-1.5 \pm 2.0) \times 10^{-18}\ \mathrm{GeV}\ ,$$

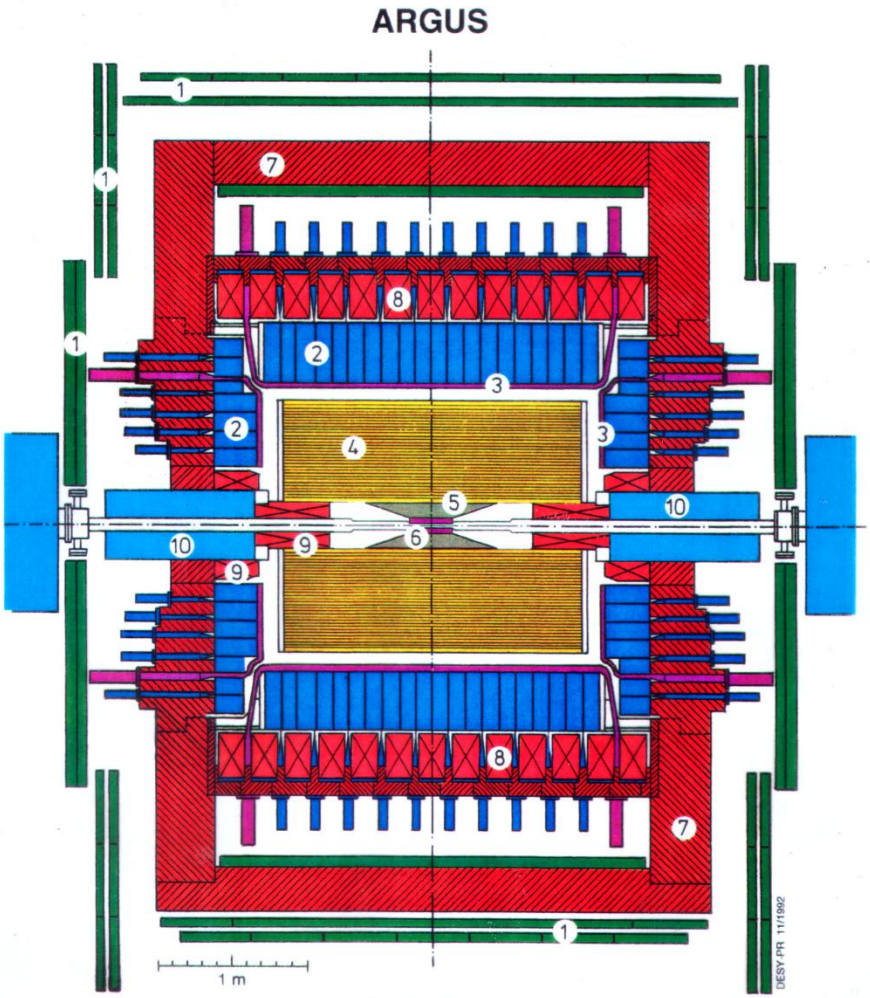
- Meritev masne razlike med dolgoživo in kratkoživo komponento nevtralnih kaonov:

$$\Delta m = (3.482 \pm 0.012) \times 10^{-15}\ \mathrm{GeV}$$

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



ARGUS



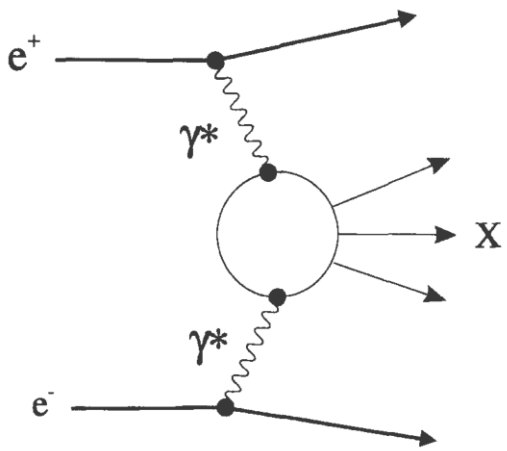
1 Muon chambers
2 Shower counters
3 Time of flight counters
4 Drift chamber
5 Vertex chamber
6 Silicon counter
7 Iron yoke
8 Solenoid coils
9 Compensation coils
10 Mini beta quadrupole

ARGUS

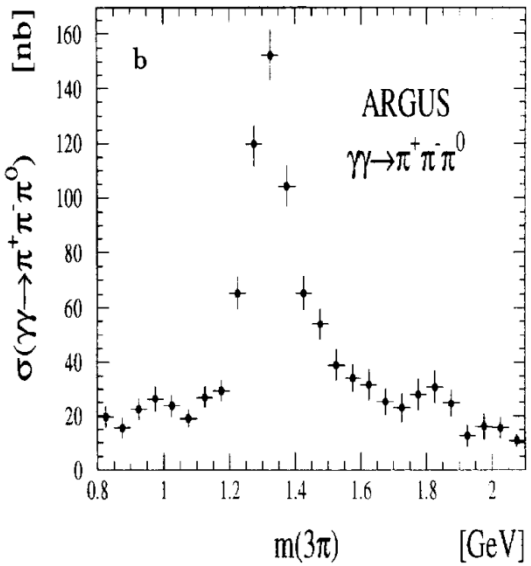
PRI TRKALNIKU DORIS II V DESY V HAMBURGU

Študij pojavov, nastalih pri trkih e+ in e- pri ~10 GeV:

- Spektroskopija mezonov, ki vsebujejo kvarke b in/ali kvarke c (kvantna števila mezonov, razpadni produkti, življenjski časi).
- Meritev elementov matrike CKM.
- Fizika leptona τ.
- Spektroskopija resonanc Y.
- Fragmentacija.
- **Mešanje mezonov B**.
- ***Dvofotonska fizika.***
- ***Meritev konstante močne interakcije.***



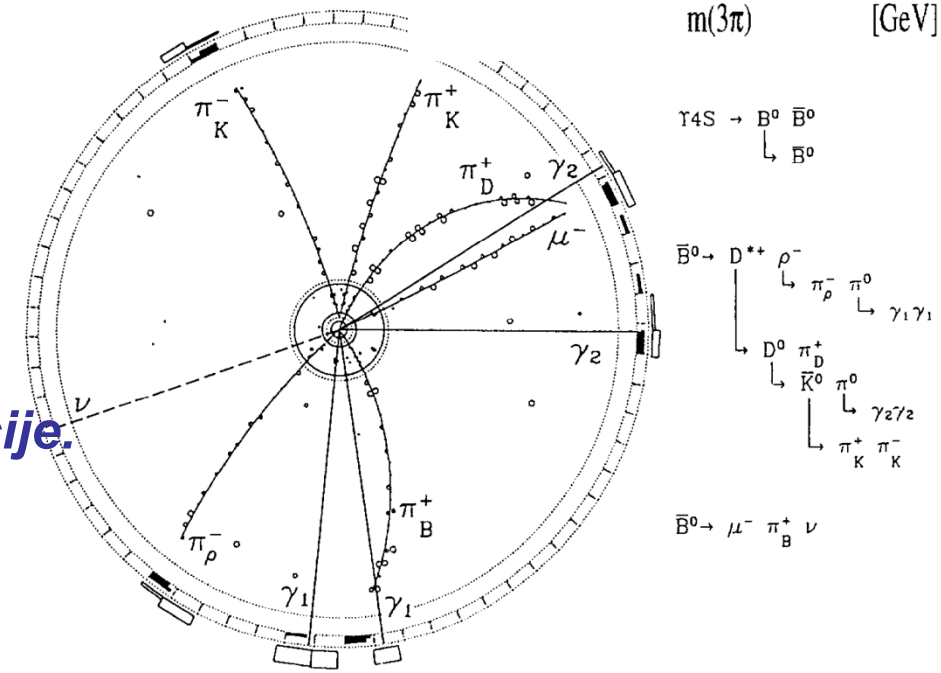
ARGUS



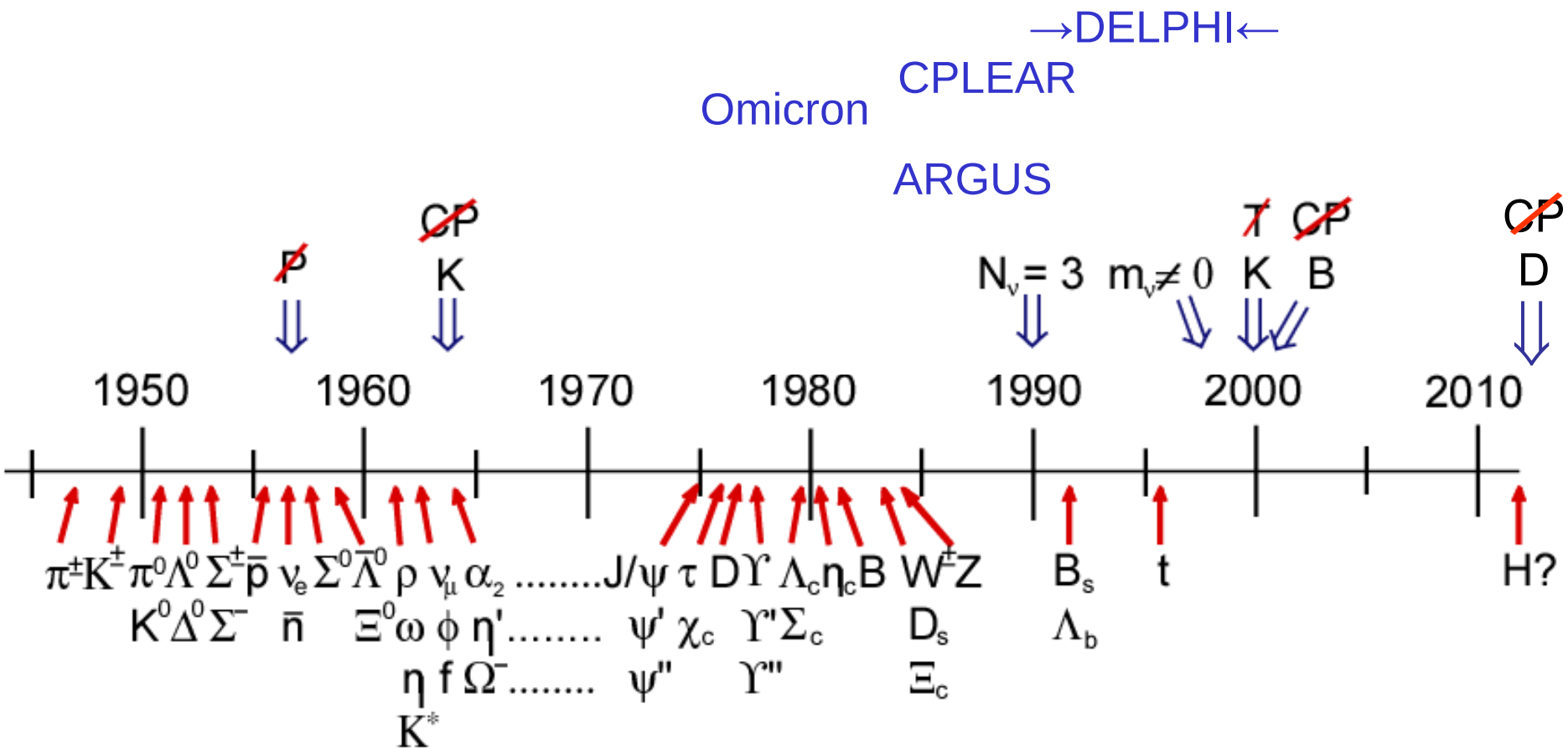
PRI TRKALNIKU DORIS II V DESY V HAMBURGU

Študij pojavov, nastalih pri trkih e+ in e- pri ~10 GeV:

- Spektroskopija mezonov, ki vsebujejo kvarke b in/ali kvarke c (kvantna števila mezonov, razpadni produkti, življenjski časi).
- Meritev elementov matrike CKM.
- Fizika leptona τ.
- Spektroskopija resonanc Y.
- Fragmentacija.
- **Mešanje mezonov B**.
- ***Dvofotonska fizika.***
- ***Meritev konstante močne interakcije.***



Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



DELPHI

~550

PRI TRKALNIKU e^+e^- LEP V CERN V ŽENEVI S TEŽIŠČNO ENERGIJO DO 200 GeV

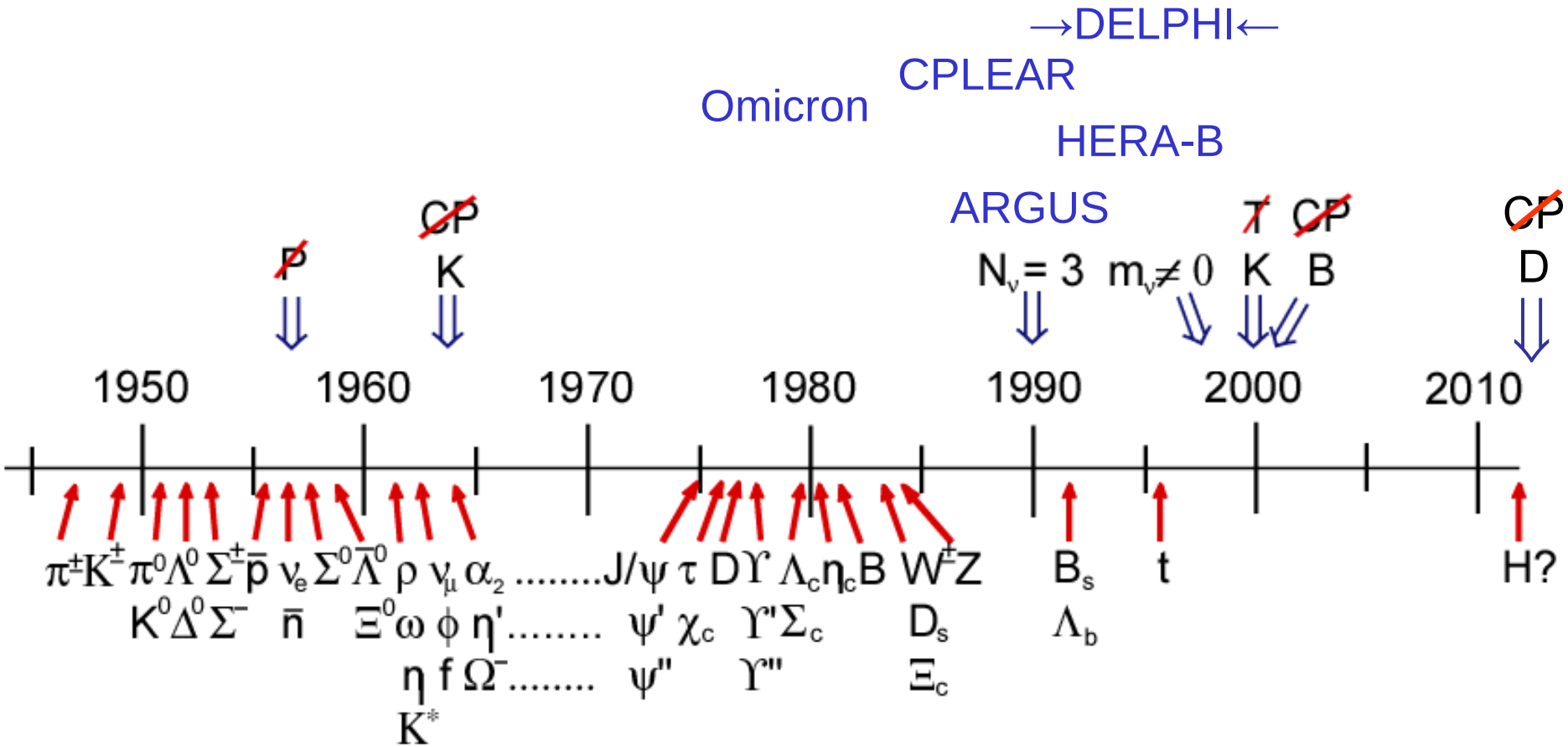
DELPHI

~550

Nekateri prispevki naših sodelavcev:

- Določitev elementa V_{cs} v matriki CKM
- Študij razpadov nevtralnih mezonov B_s
- Določitev spodnje meje za maso nabitega Higgsovega bosona
- Meritev trilinearnih sklopitvenih parametrov šibkih umeritvenih bozonov
- Asimetrija naprej-nazaj pri razpadu $Z^{\circ} \rightarrow b\bar{b}$

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



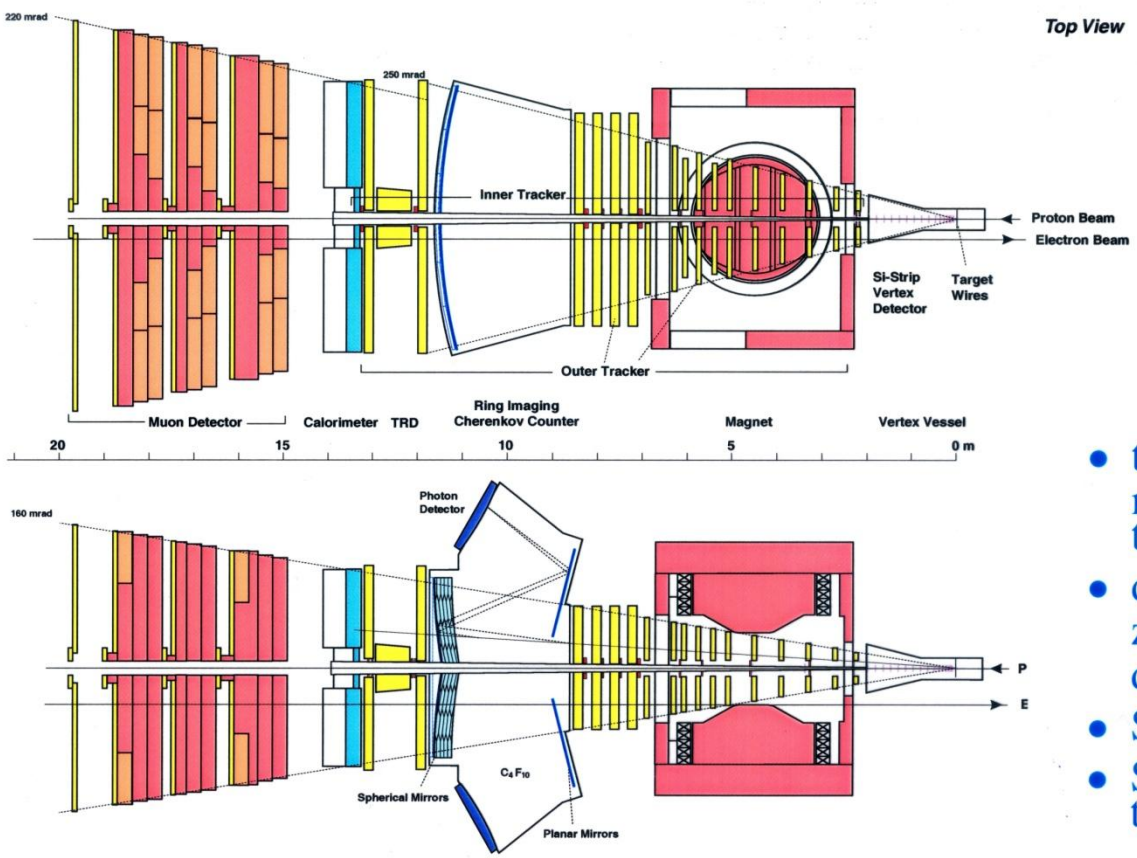
HERA-B

HERA-B je bila nameščena ob trkalniku elektronov (30 GeV) in protonov (920 GeV).

Proučevala je interakcije, ki nastanejo, ko protoni z energijo 920 GeV zadenejo tarčna jedra v žicah nameščenih na obrobju protonskega žarka.

HERA-B

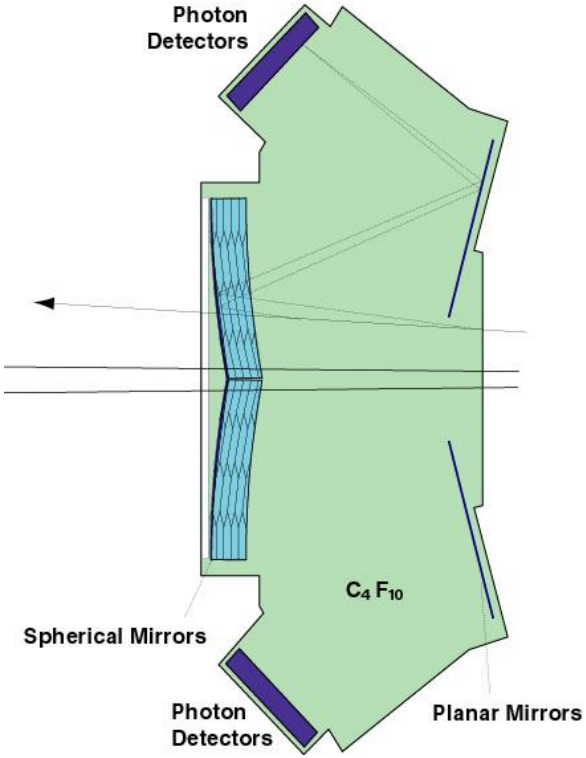
HERA-B spectrometer

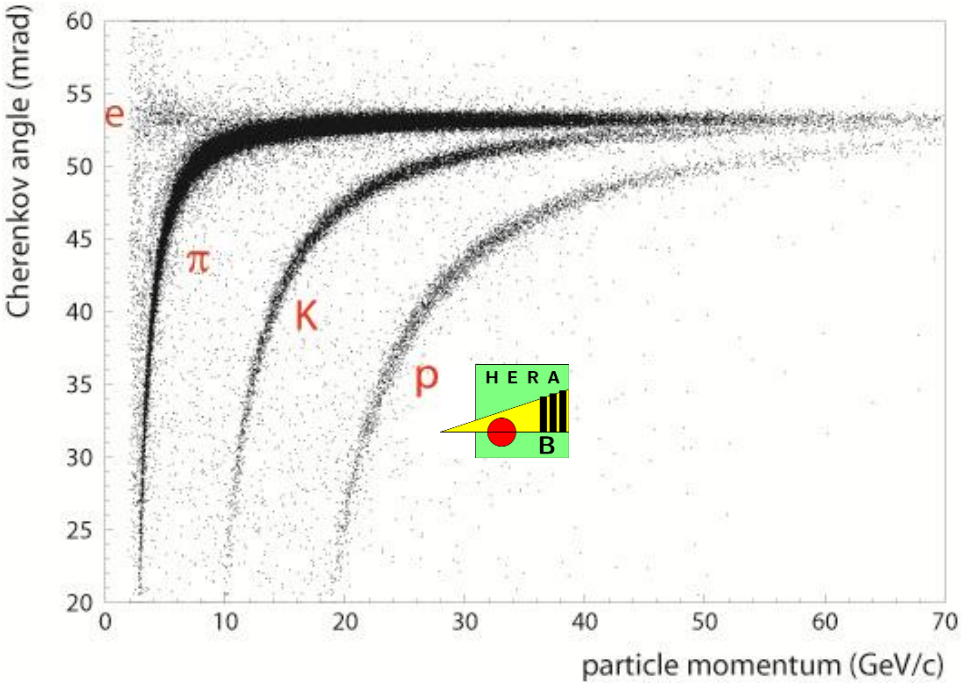


- trki protonov z nukleoni v žični tarči
- dipolni magnet za ločevanje delcev
- Sledilni sistem
- Sistemi za identifikacijo delcev

HERA-B

Razvoj novih detektorjev za identifikacijo osnovnih delcev: detektor obročev Čerenkova





HERA-B

Študij močne interakcije v trkih protonov z jedri pri visokih energijah.

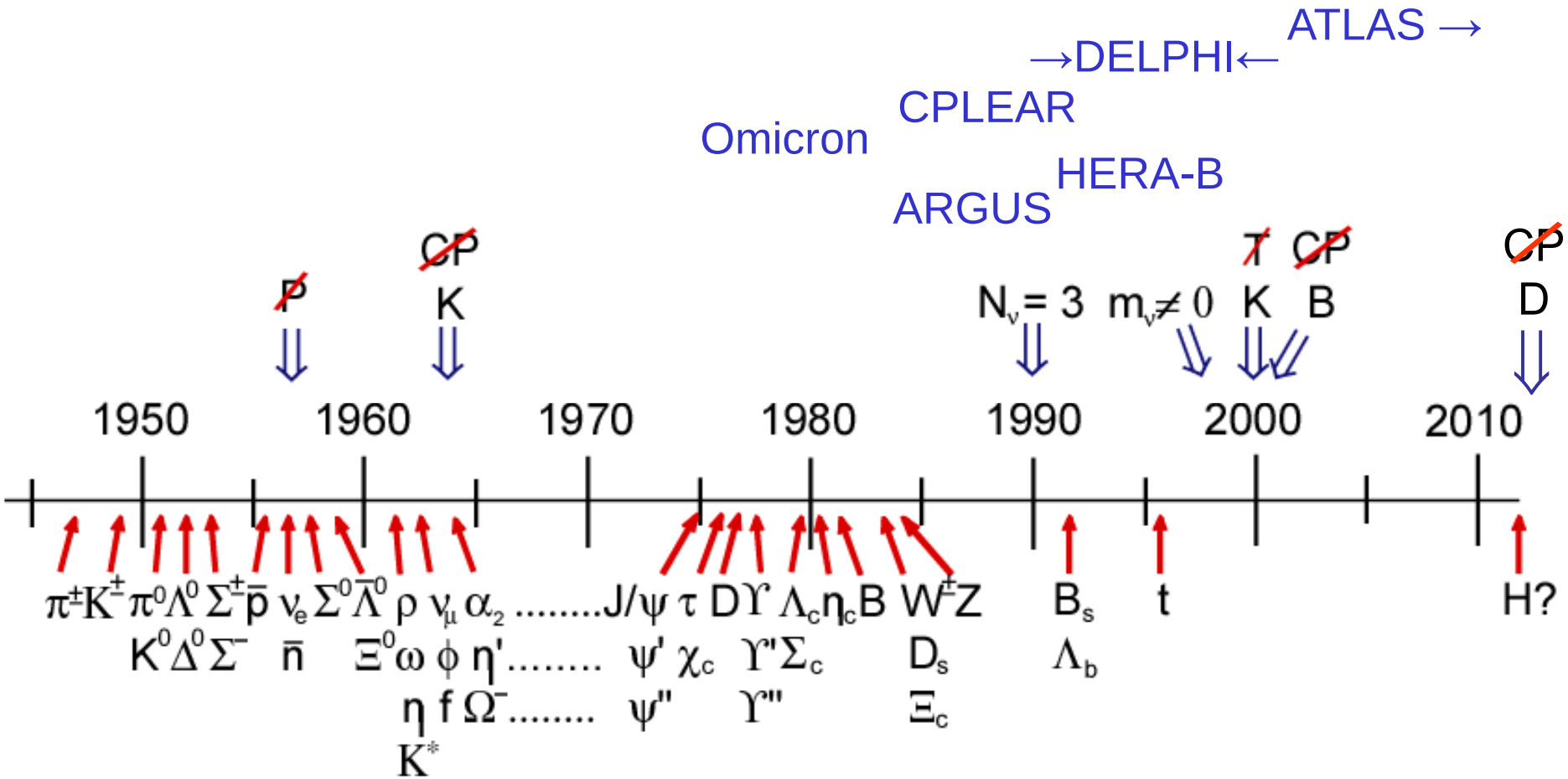
Dosežki:

- meritev preseka za tvorbo delcev s kvarki c: J/ψ, ψ', χc, D^0, $D\pm$, D^*,
- meritev preseka za tvorbo delcev s kvarki b: $\Upsilon(ns)$, B^0, $B\pm$
- meritev redkega razpada $D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$

Prispevek naših sodelavcev:

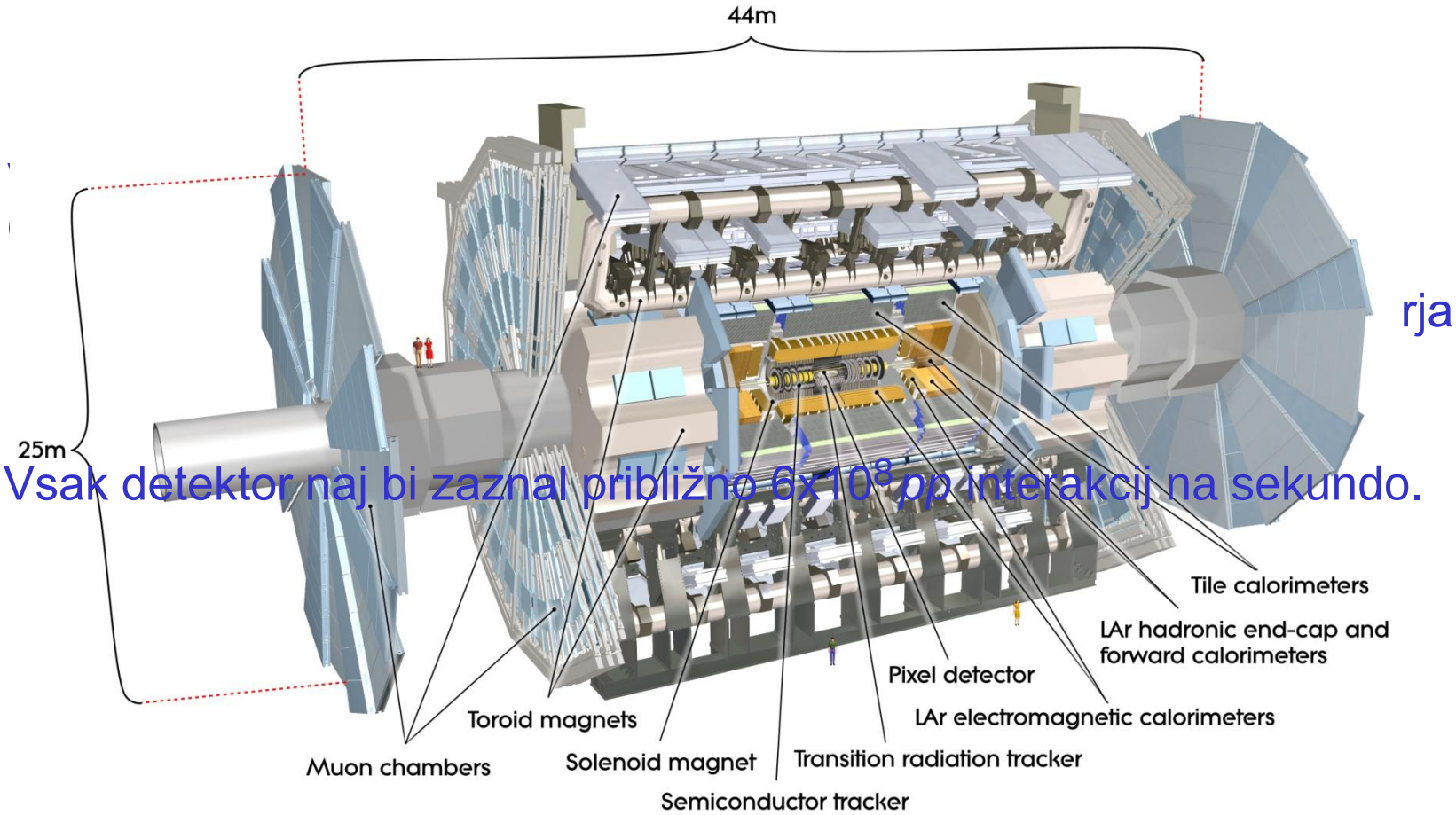
- meritev preseka za tvorbo J/ψ, D^0, $D^\pm$, D^*
- razvoj detektorja obročev Čerenkova

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



ATLAS

~3040



rja

Vsak detektor naj bi zaznal približno 6×10^8 *pp* interakcij na sekundo.

ATLAS

Nekateri prispevki naših sodelavcev:

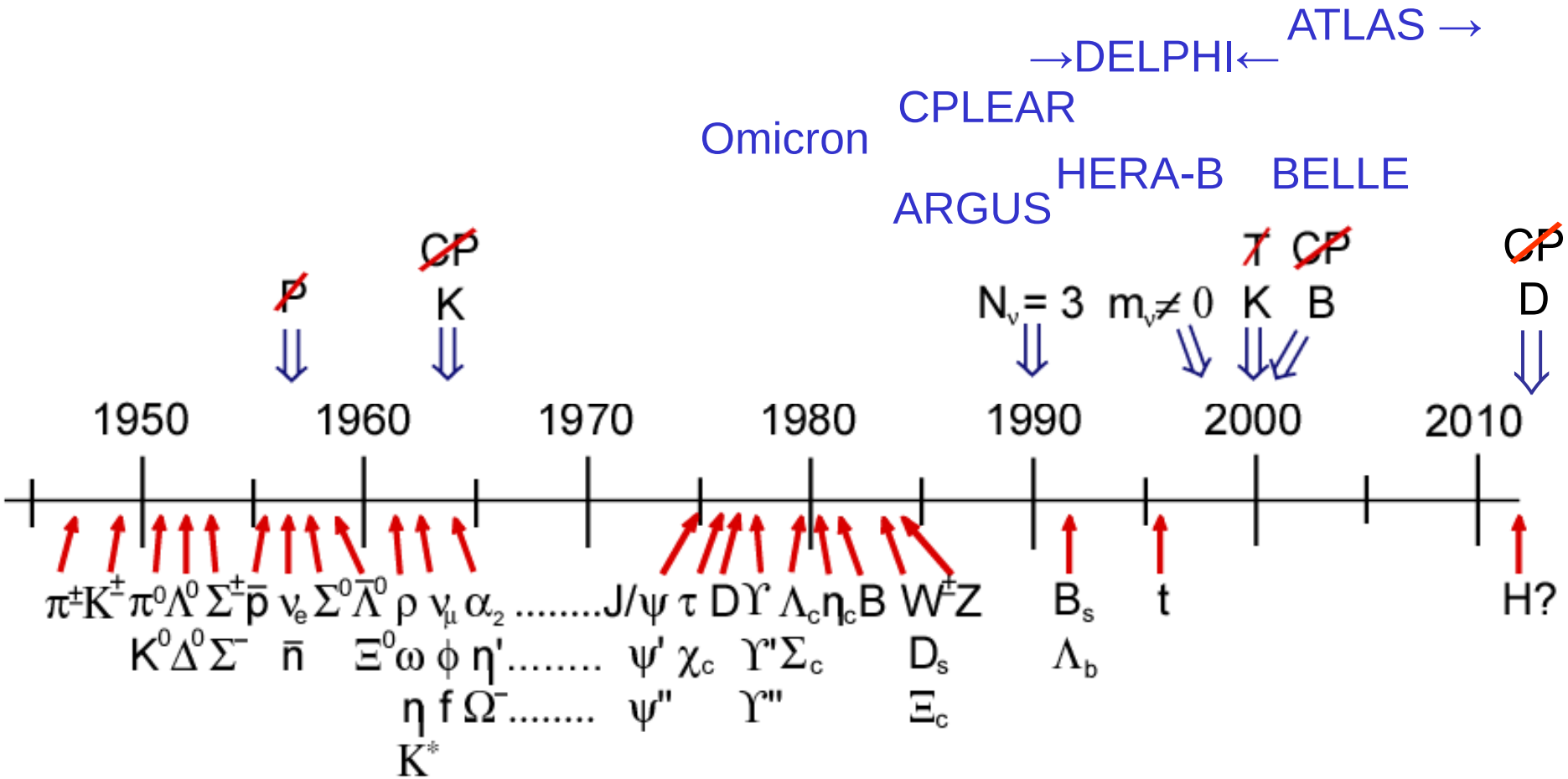
- Razvoj in načrtovanje trakov za napajanje in kontrolne signale, ki jih izdeluje podjetje ELGOLINE.
- Obsevanje vzorcev čipov ATLASove elektronike na reaktorju TRIGA.
- Obsevanje polvodniških detektorjev, študij radiacijskih poškodb in obdelava sprememb strukture v detektorjih.
- Oblikovanje in izdelava monitorja za detekcijo sevanja za uporabo na različnih mestih spektrometra ATLAS.
- Sistem za nadzor protonskih curkov na osnovi polkristaliničnih diamantnih detektorjev
- Razvoj in gradnja silicijevega detektorja sledi nabitih delcev
- Računalniška simulacija procesov ozadja pri trkih *pp*.
- Procesiranje simuliranih in realnih podatkov na vozlišču SIGNET in koordinacija svetovnih računskih kapacitet.

ATLAS

Cilji:

- Iskanje Higgsovega bozona preko različnih procesov.
- Iskanje indikacij za SUZY (dobra hermetičnost).
- Iskanje težkih umeritvenih bozonv.
- Iskanje indikacij za notranjo strukturo kvarkov (pljuski z zelo velikimi transverzalnimi gibalnimi količinami).
- Natančne meritve mase *W* in *t*, sklopitve med umeritvenimi bozoni, unitarnega trikotnika CKM.

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas

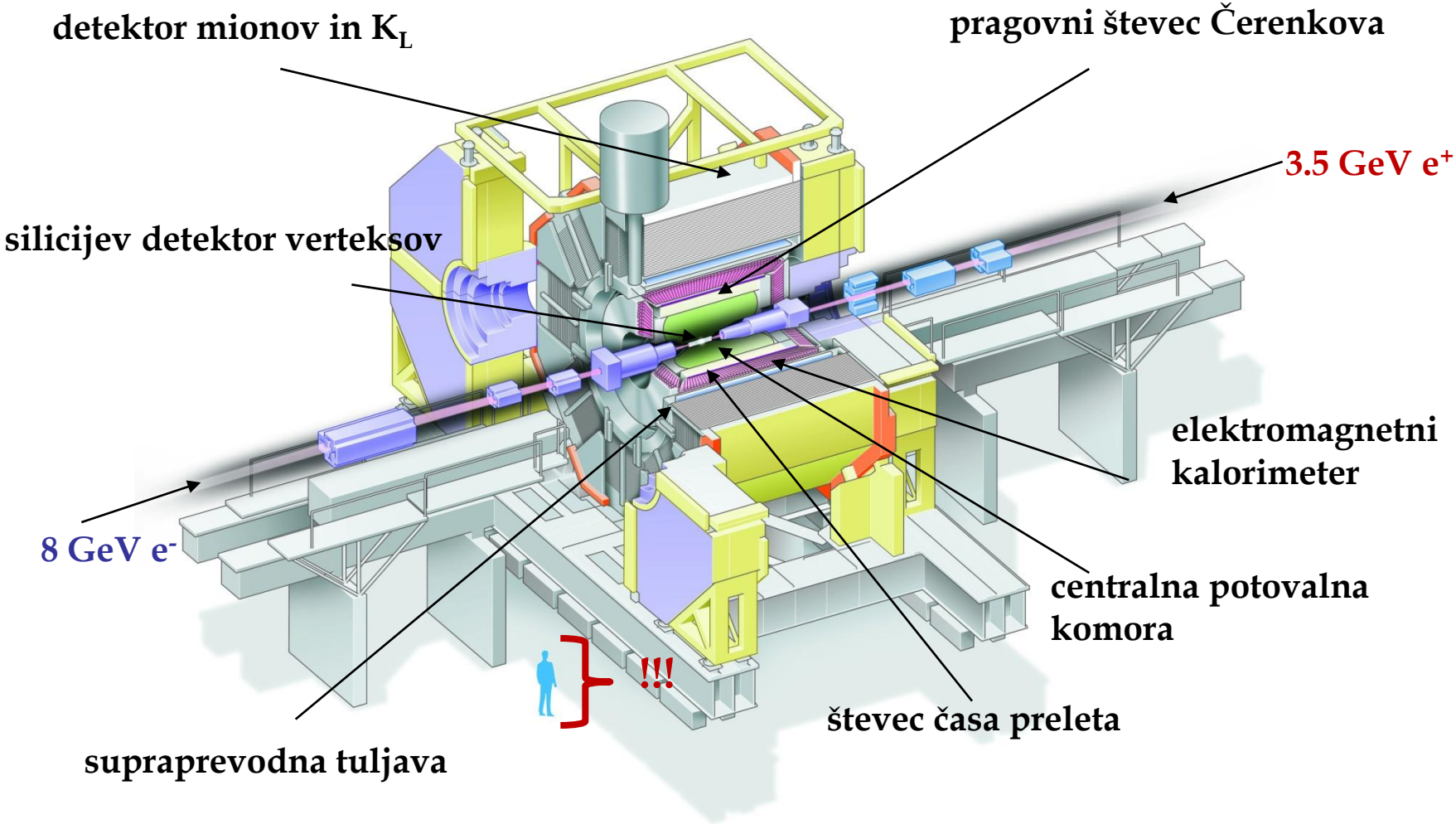


BELLE

~350

Nameščen ob trkalniku KEKB laboratorija KEK v Tsukubi na Japonskem

Spektrometer BELLE

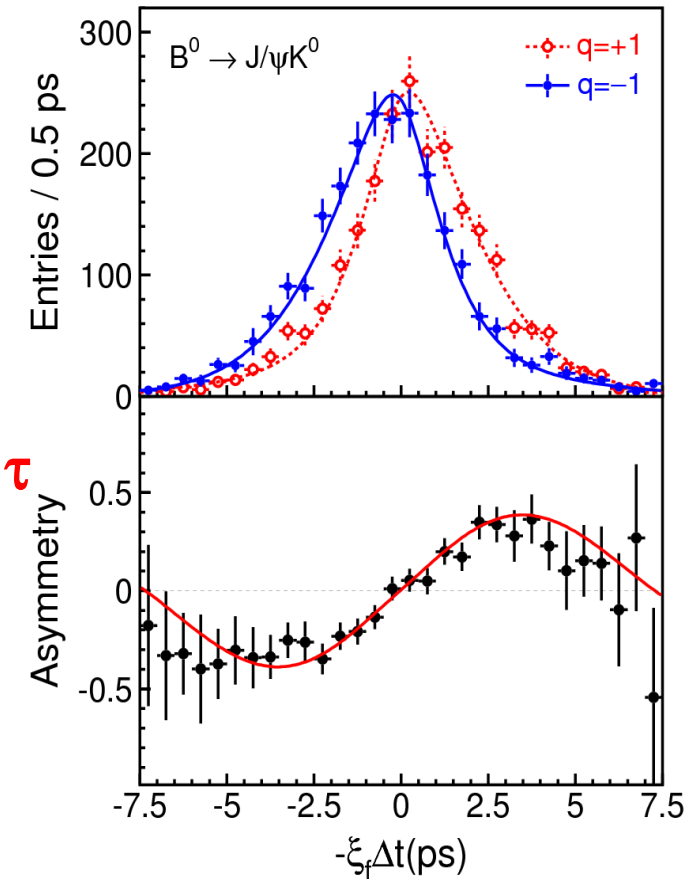


Belle

Meritev kršitve simetrije CP med delci in anti-delci, redkih razpadov mezonov B in D.

Dosežki:

- Meritev kršitve simetrije CP pri mezonih B – bistveno pri podelitvi Nobelove nagrade 2008
- Iskanje Nove fizike: meritev redkih razpadov mezonov B in D ter leptonov τ
- Eden izmed najbolj odmevnih eksperimentov 2001-2010

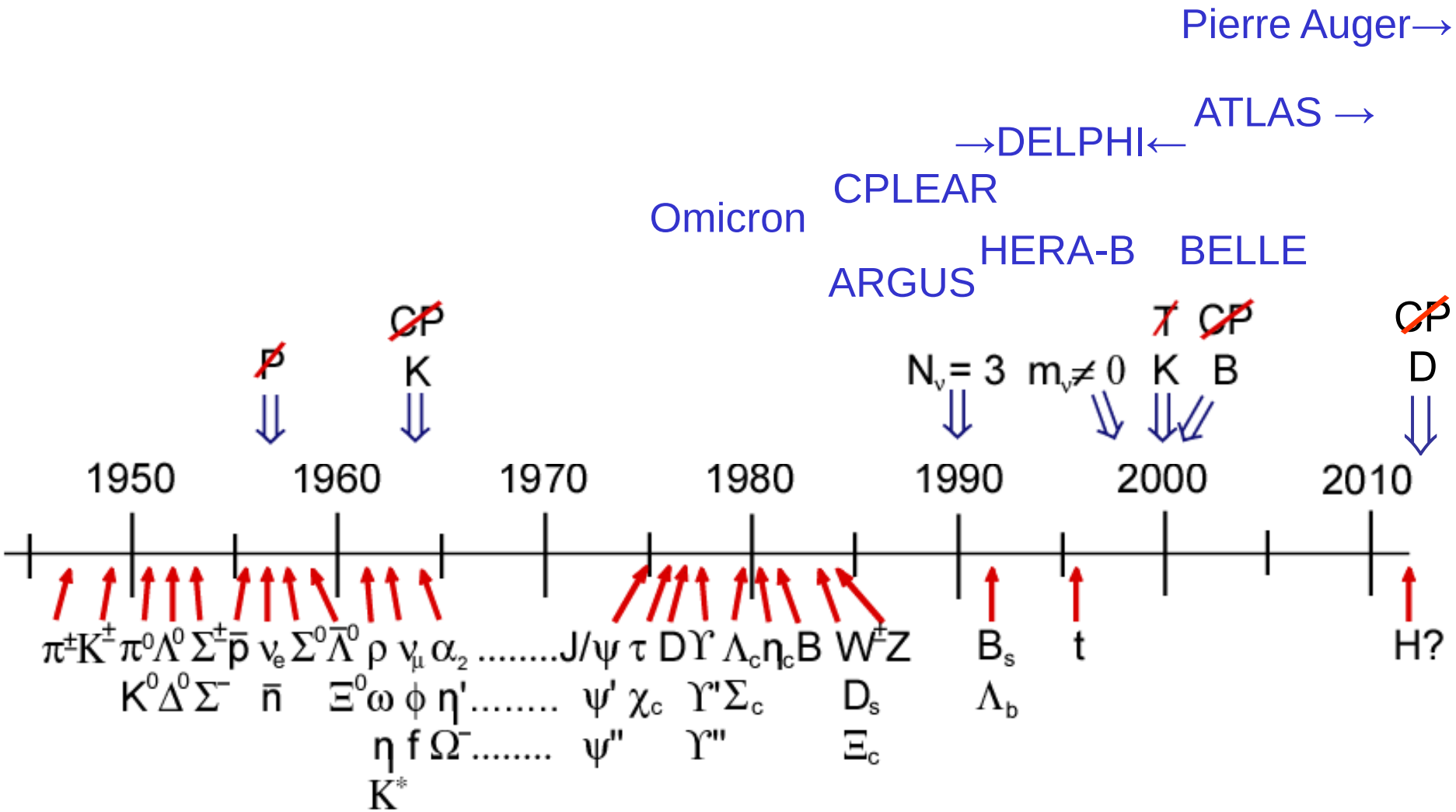


Belle

Prispevek naših sodelavcev:

- Meritev matričnega elementa V_{ub}
- Meritev kršitve simetrije CP v prehodih $B^0 \rightarrow D^+ D^-$
- Meritev mešanja in kršitve CP pri mezonih D
- Meritev redkih razpadov $B \rightarrow D_s D$, $D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



Pierre Auger

~369

Kozmični žarki so iz vesolja izvirajoči delci, ki vstopajo v zemeljsko atmosfero.

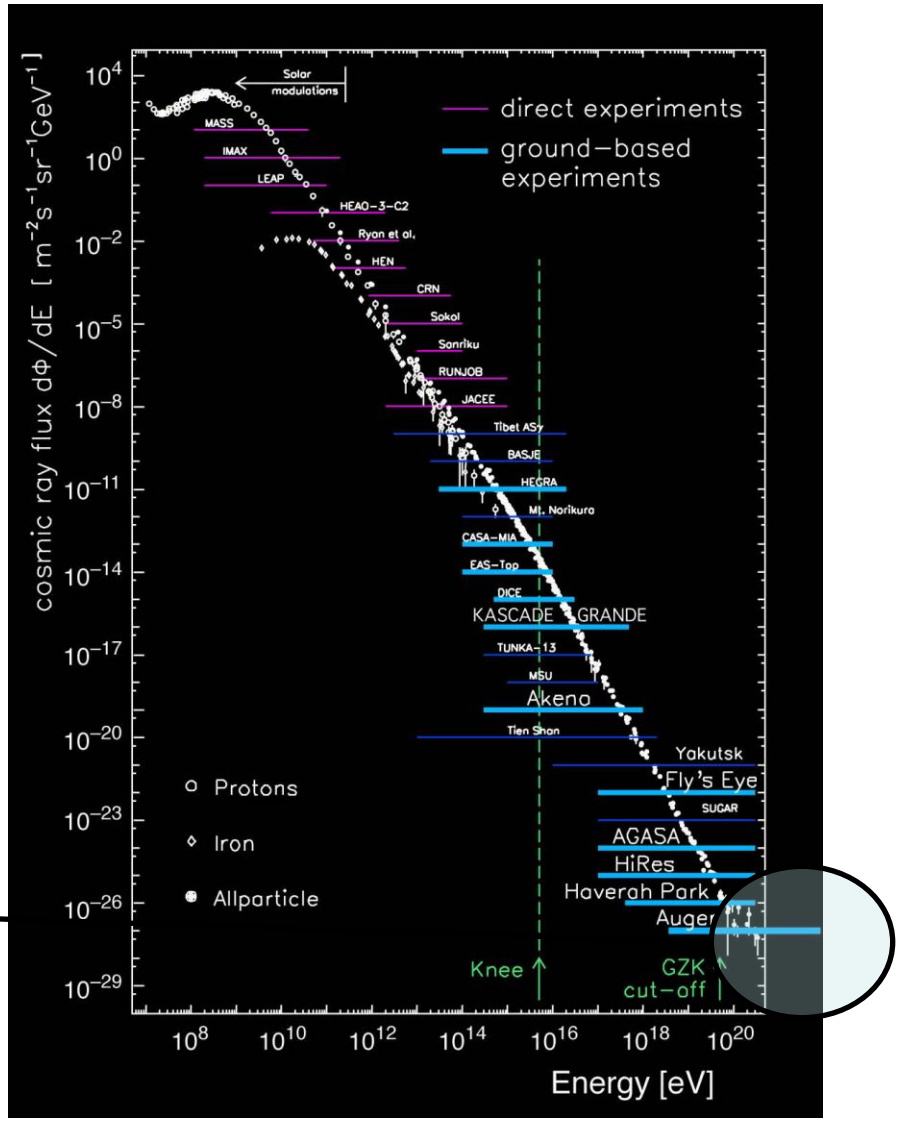
- 90 % protoni
- 8 % helijeva jedra (α)
- 1 % elektroni (β)
- 1% ostalo (Fe,..)

UHECR ultra-high-energy cosmic ray

Mikroskopski delci z makroskopskimi energijami

10^{20} eV ustreza **50 Joulom**

Φ ≈ 1 na km² na stoletje



Observatorij Pierre Auger

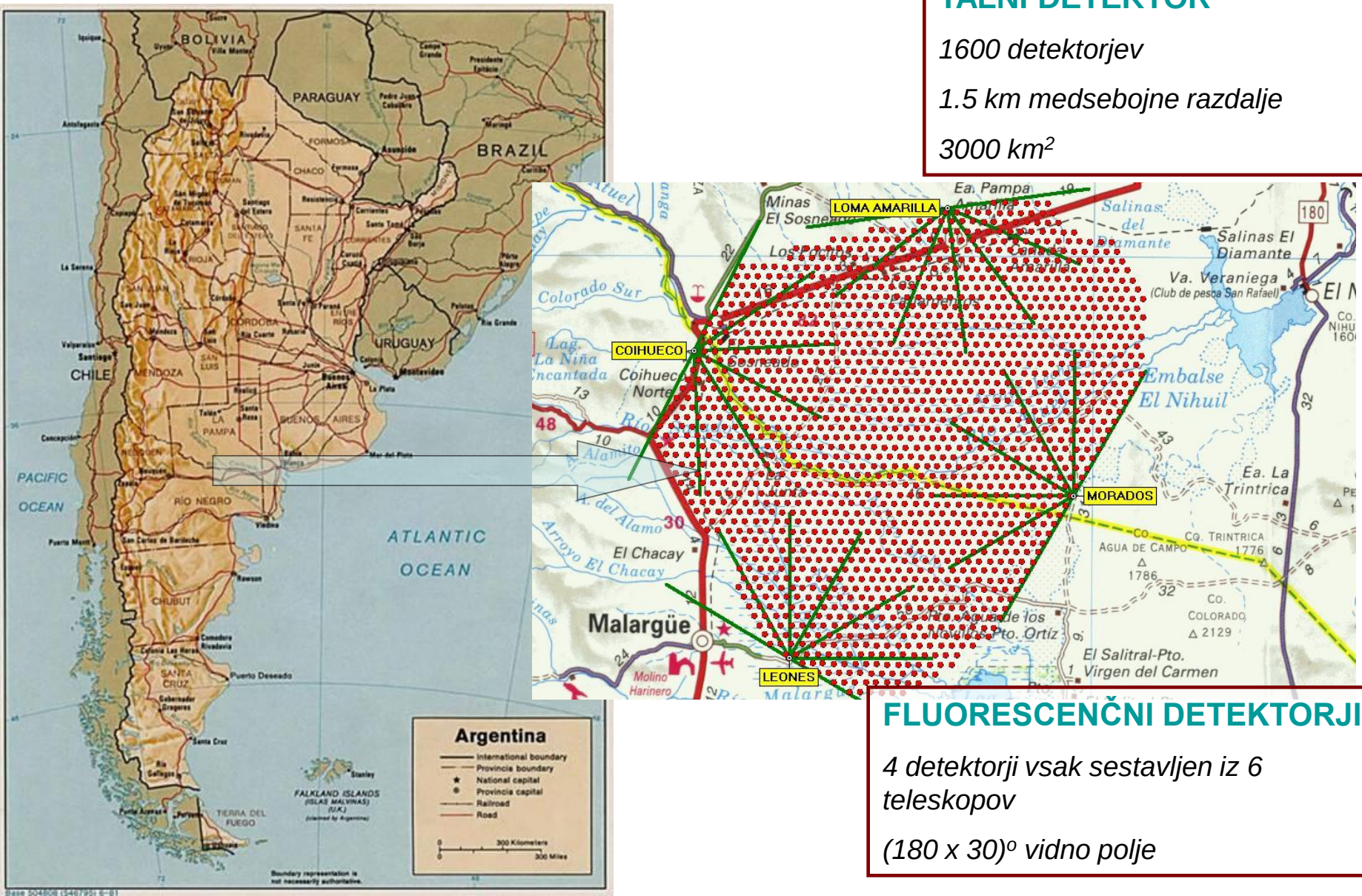
Malargue, Argentina

TALNI DETEKTOR

1600 detektorjev

1.5 km medsebojne razdalje

3000 km^2



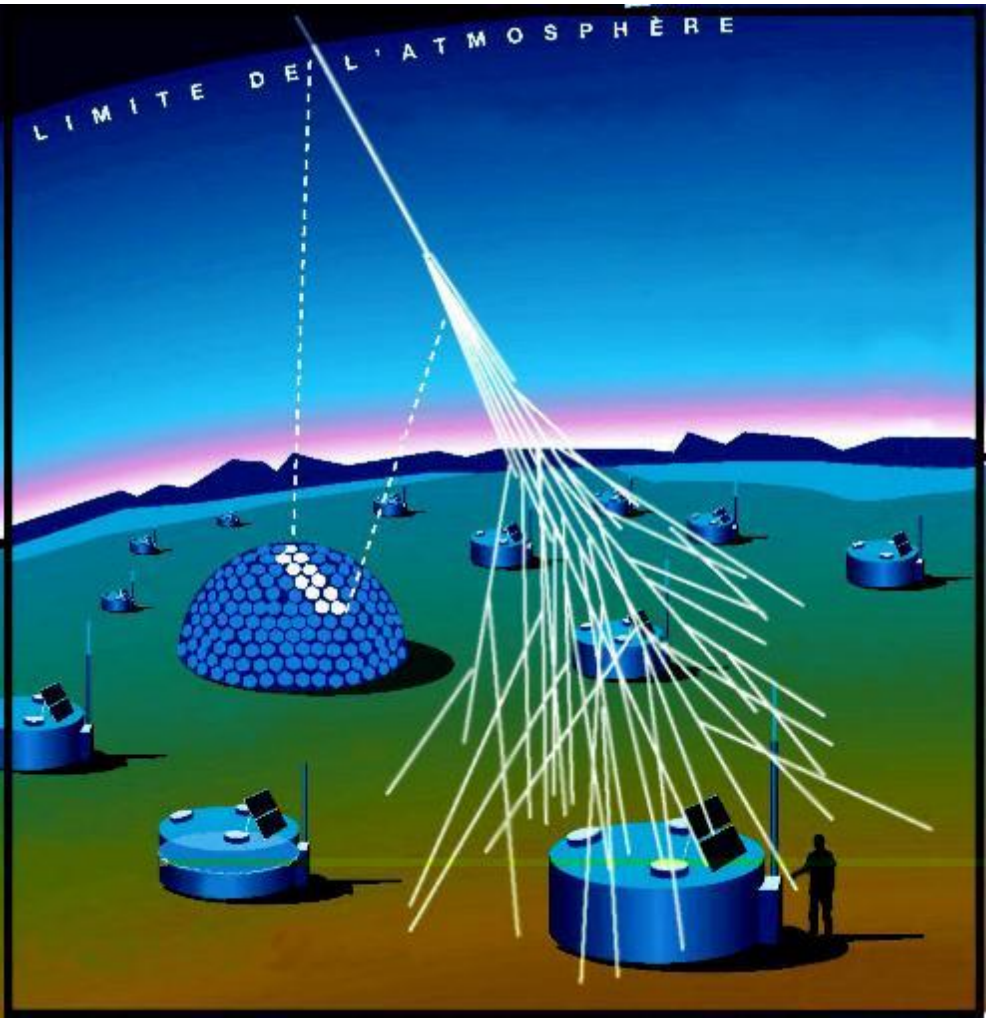
FLUORESCENČNI DETEKTORJI

4 detektorji vsak sestavljen iz 6 teleskopov

(180 x 30)^o vidno polje

Pierre Auger

Detekcija kozmičnih delcev



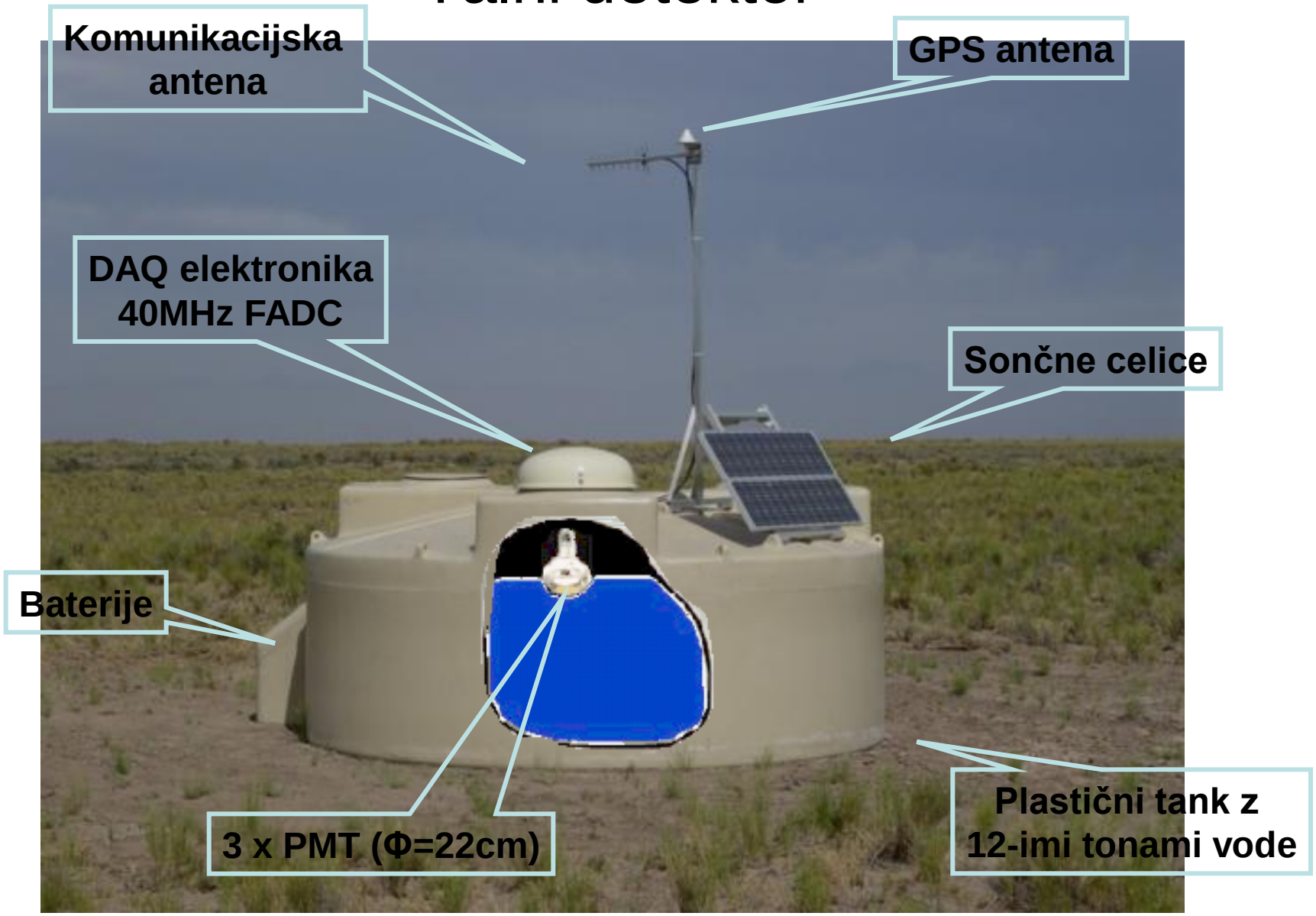
TALNI DETEKTOR

Meri lateralno distribucijo sekundarnih delcev na zemlji ter časovni razvoj fronte pljuska.

FLUORESCENCNI DETEKTOR

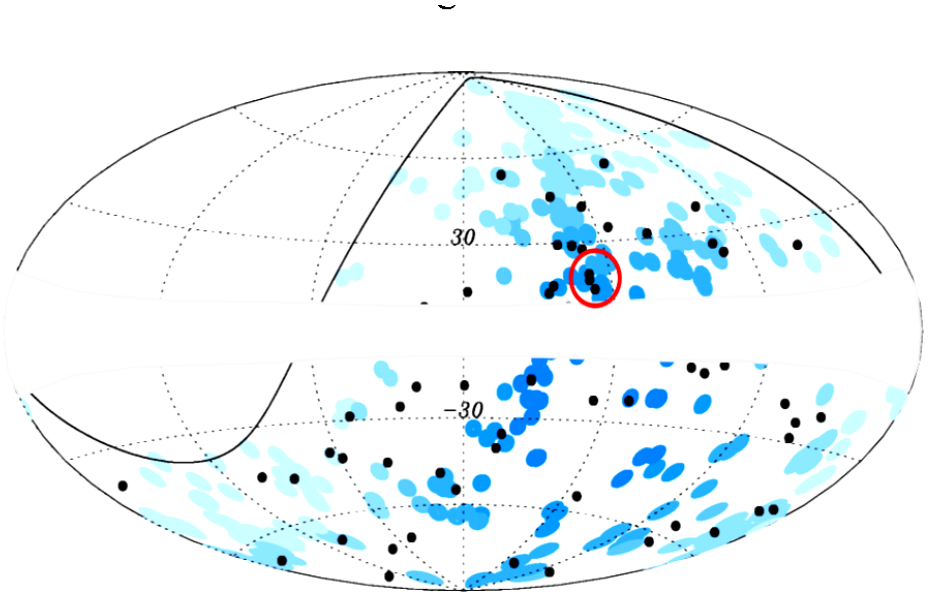
Meri longitudionalni razvoj pljuska v atmosferi

Talni detektor



Pierre Auger

Nekaj merskih rezultatatov



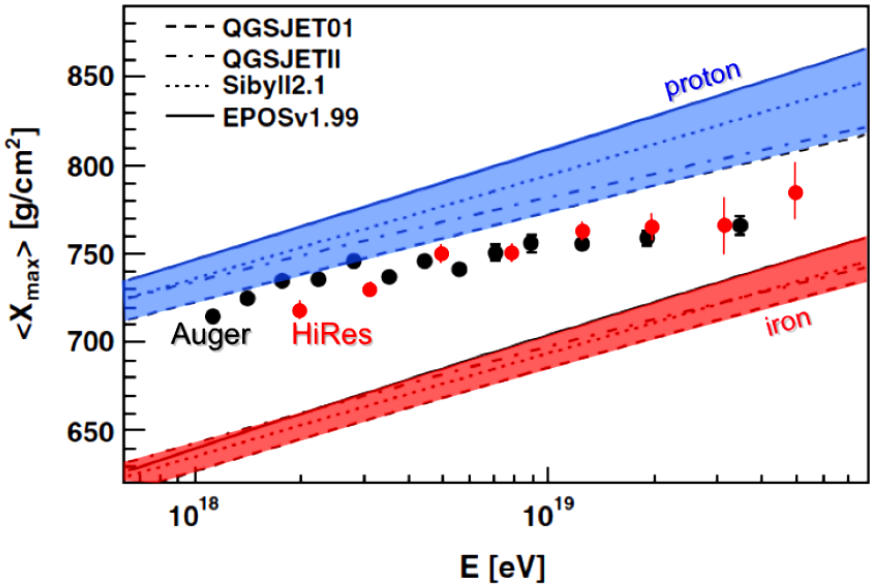


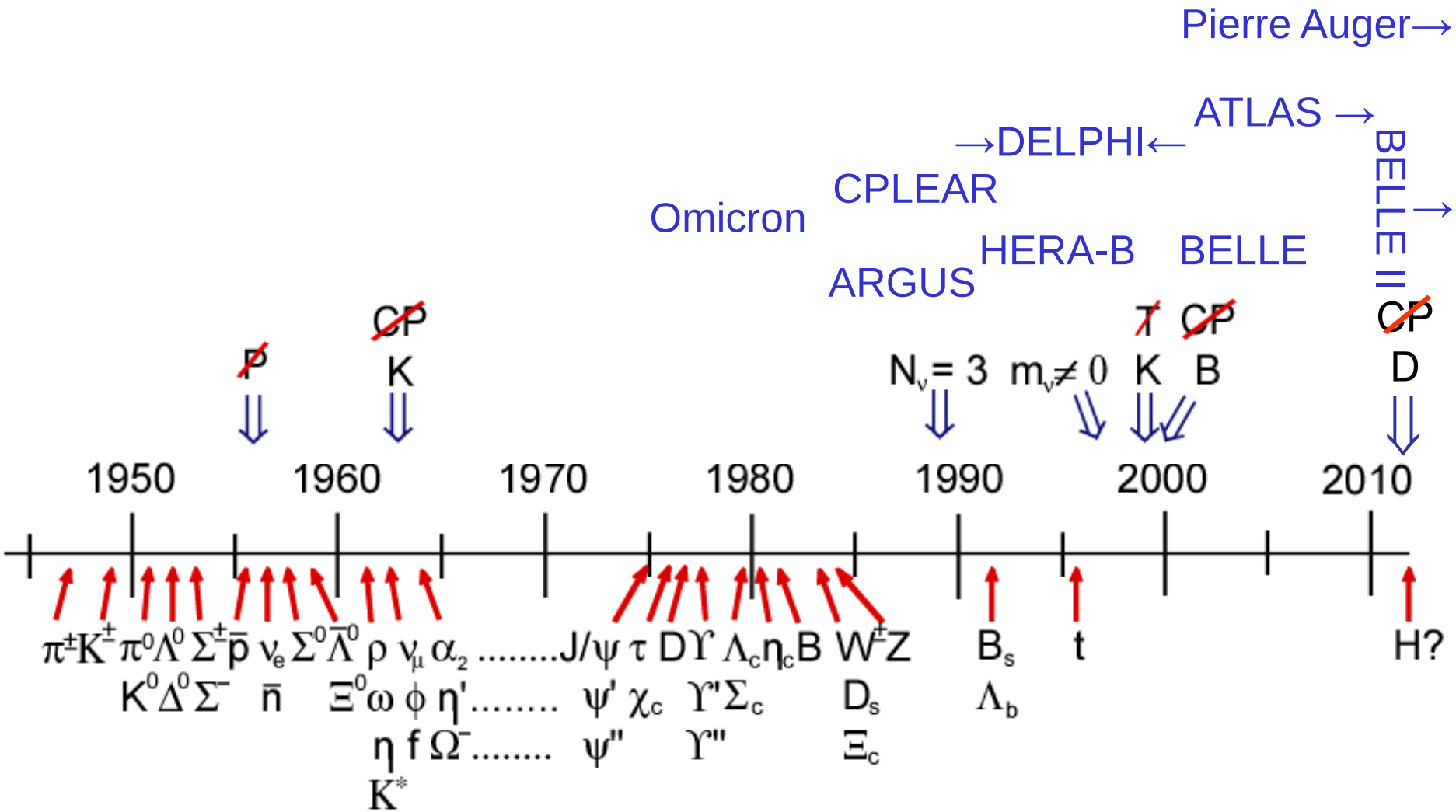
Fig. 3. Left-hand panel: Auger event (with E>57EeV) arrival directions (points) on the sky, plotted in Galactic coordinates, with nearby (z <0.018) AGNs from the VCV catalog also shown (ellipses, shaded by Auger exposure), adapted from [29]. A band withir ±10° of the Galactic plane is removed from consideration. The strongest correlation is in the direction of the Centaurus A AGN, illustrated with the red circle. Right-hand panel: UHE cosmic-ray elongation rate – evolution of the depth of shower maximum as a function of primary energy. Shown are measurements by Auger [32], by HiRes [33], in comparison with simulation-derived expectations *for the Auger measurements* under the assumption that the primaries are either protons or else iron nuclei.

Pierre Auger

Glavne aktivnosti SLO skupine

- Razvoj, montaža, obratovanje in vzdrževanje laserskih sistemov za meritev optičnih lastnosti atmosfere (LIDAR)
- Razvoj prožilnih sistemov ter sistemov za zajem podatkov.
- Simulacija razvoja pljuskov z metodo Monte Carlo.
- Vključitev observatorija v Grid EGEE in SiGNet.
- Razvoj simulacijsko rekonstrukcijskega paketa OffLine.
- Analiza podatkov.

Pot do eksperimentalne fizike delcev pri nas



Projekt Belle II

Namen: iskanje pojavov Nove fizike.

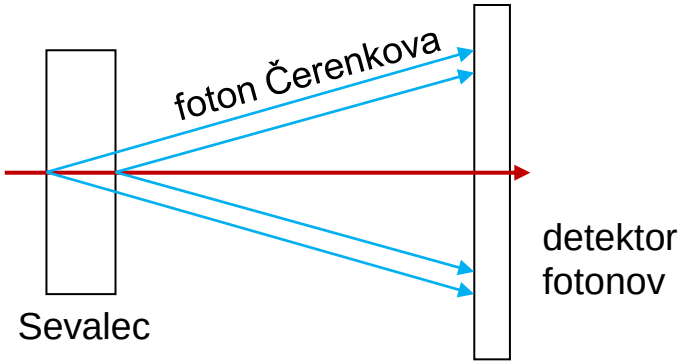
→ Izboljšati domet meritev za 50x

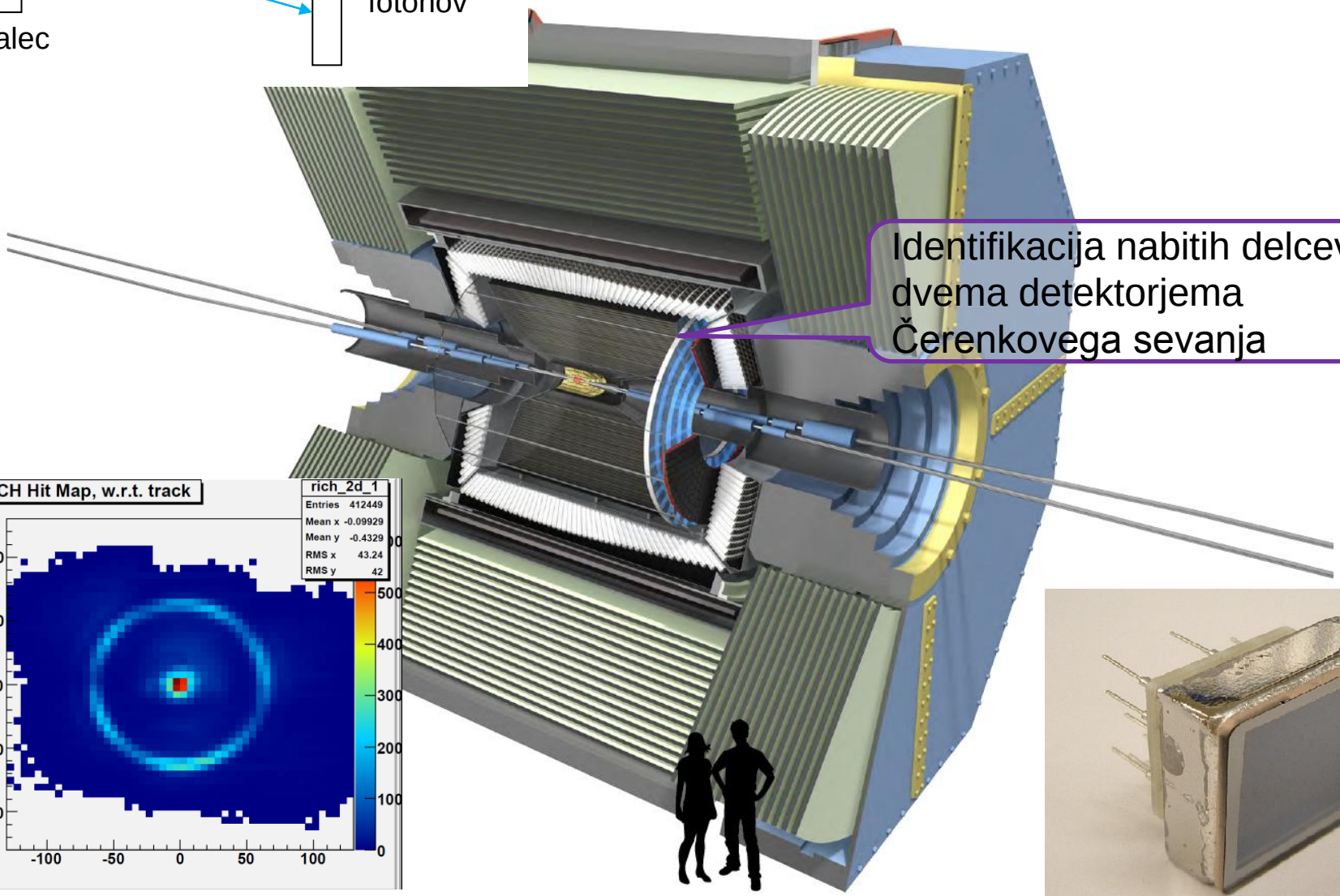
– boljši detektor in zmogljivejši pospeševalnik.

Nove meritve od leta 2016 dalje.

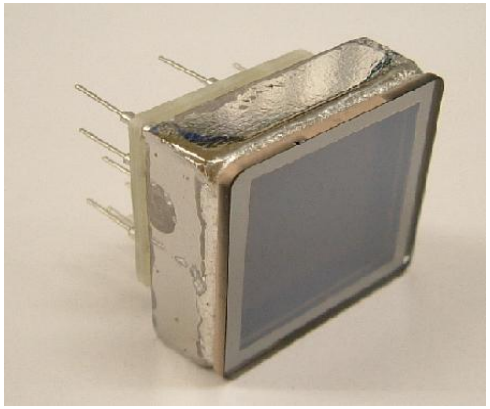
Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, zaseda nekaj ključnih pozicij.

Slovenski prispevek k detektorju: dva detektorja za identifikacijo nabitih delcev





Identifikacija nabitih delcev z dvema detektorjema Čerenkovega sevanja



Zaključek

Fizika osnovnih delcev je v zadnjih desetletjih doživela izreden razvoj.

Standardni model, ki je dobro opisoval večino merskih rezultatov, ne zadošča več.

Fizika osnovnih delcev je v prelomnem obdobju in raziskovalce na tem področju čaka še razburljivo življenje.