

Zájezd do CERNu 2012

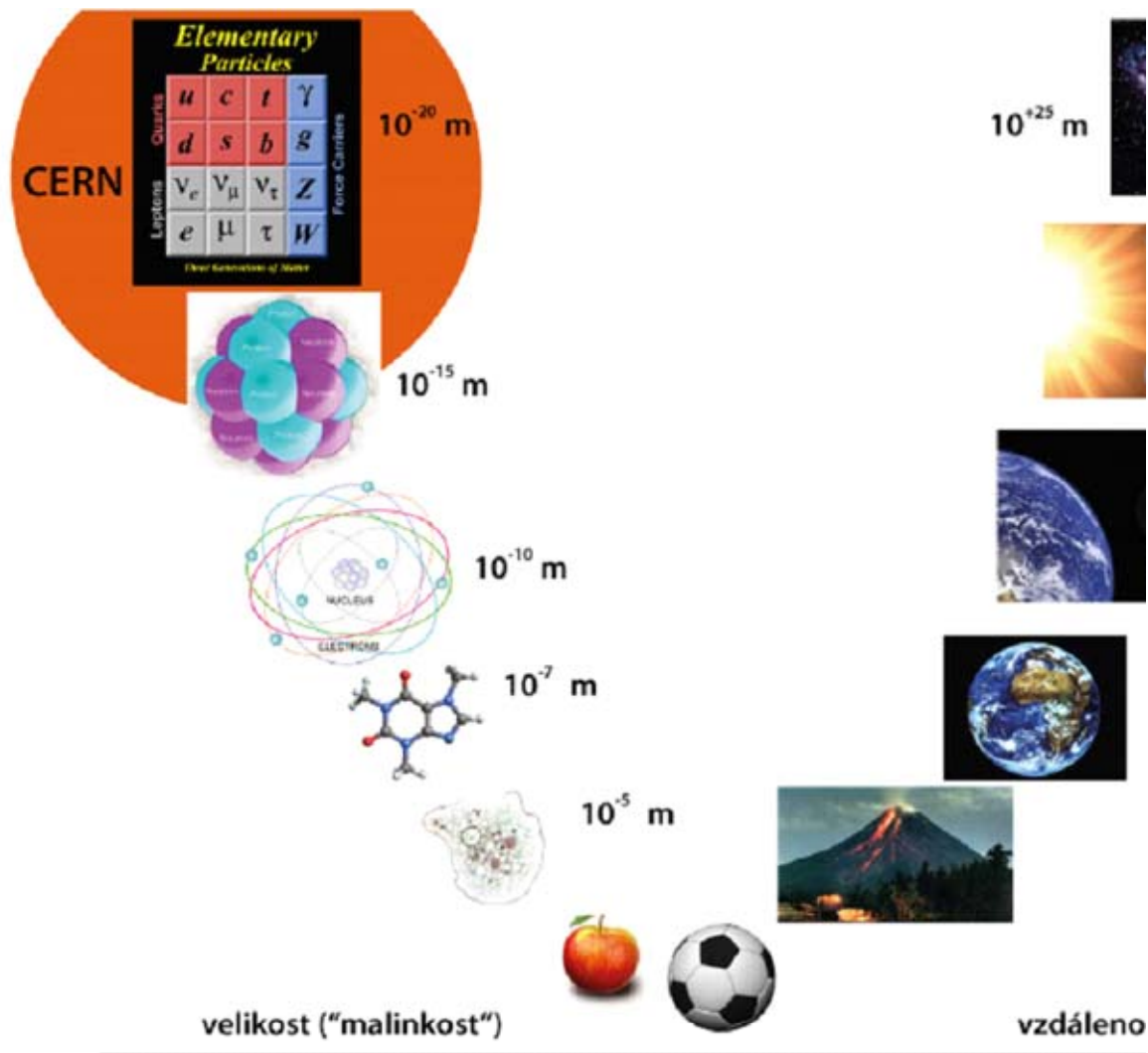
Jakub Šerých, serych@panska.cz

Obsah

Metody zkoumání hmoty
Trocha z historie představ o stavbě hmoty
Dnešní představa o stavbě hmoty
Principy urychlovačů
Typy urychlovačů
Urychlovač LHC - základní parametry
Detektory
Provoz a dosažené výsledky
Dotazy

Metody zkoumání hmoty

- Co jsme schopni zkoumat



- Jak (ne)jsme schopni zkoumat stavbu hmoty

```
<< PhysicalConstants`
StringForm["c = `` m/s", ScientificForm[c = SpeedOfLight /. {Meter -> 1, Second -> 1}]]
StringForm["h = `` J.s", ScientificForm[h = PlanckConstant /. {Joule -> 1, Second -> 1}]]
StringForm["eV = `` C", ScientificForm[eV = ElectronCharge /. Coulomb -> 1]]
```

```
nano = 10^-9;
femto = 10^-15;
giga = 10^9;
tera = 10^12;
```

```
c = 299792458 m/s
```

```
h = 6.62607 x 10^-34 J.s
```

```
eV = 1.60218 x 10^-19 C
```

```
λ = 500 nano // N;
```

$$\nu := \frac{c}{\lambda};$$

$$\text{energie} := \nu h;$$

```
Grid[{{"λ [nm]", "ν [THz]", "E [eV]", "E [J]"},
  { $\frac{\lambda}{\text{nano}}$ ,  $\frac{\nu}{\text{tera}}$ ,  $\frac{\text{energie}}{\text{eV}}$ , energie}}, Frame → All]
```

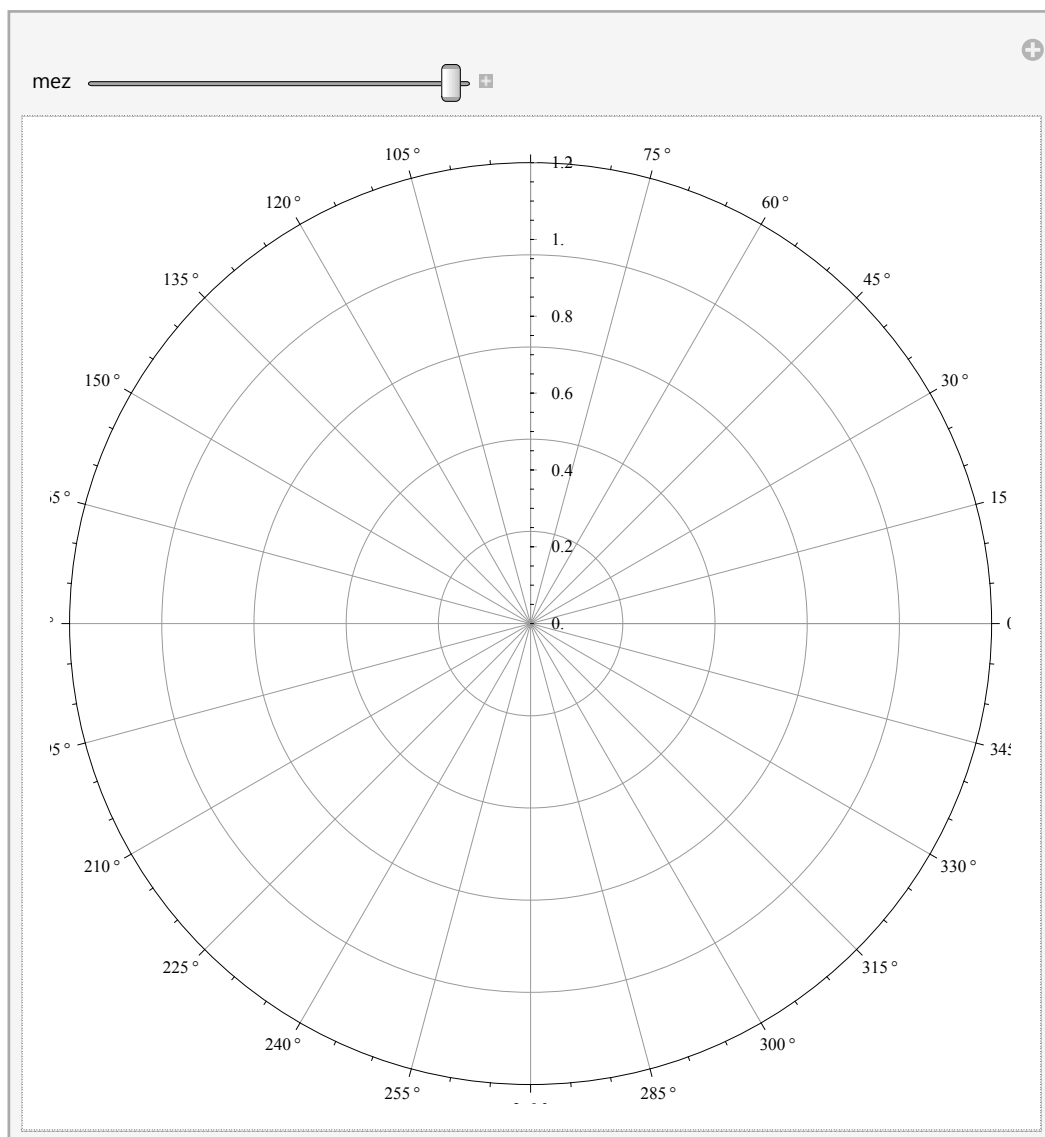
λ [nm]	ν [THz]	E [eV]	E [J]
500.	599.585	2.47968	3.97289×10^{-19}

Trocha z historie představ o stavbě hmoty

- PředRutherfordovské představy
- Rutherfordův experiment (1911)

- **Rutherfordem zjištěná závislost** počtu dopadlých částic na pozorovacím úhlu

```
Manipulate[PolarPlot[ $\left(\frac{1}{\sin\left[\frac{\theta}{2}\right]}\right)^4$ , { $\theta$ , k,  $\pi$ },
PlotStyle -> Thickness[0.01],
ImageSize -> {500, 500},
PlotPoints -> 500,
PolarAxes -> True,
PolarGridLines -> Automatic,
PolarTicks -> {"Degrees", Automatic},
PlotRange -> All,
PolarAxes -> True,
Exclusions ->  $\theta == 0$ ], {{k, 3, "mez"}, 0,  $\pi - 0.00001$ }]
```



- **Důsledky Rutherfordova experimentu - popření Thomsonova pudinkového modelu**
- **Atomové jádro je asi 100 000 krát menší než obal**
- **V atomovém jádru je koncentrováno asi 95 % hmotnosti atomu**

Dnešní představa o stavbě hmoty - standardní model

Principy urychlovačů

- **Experiment**

- **Pokuste se prokázat existenci Higgsova Bossonu v dané hmotě**

Co budeme potřebovat?

Musíme vědět, **co vlastně máme hledat** (to ovšem neznamená, že bokem neobjevíme spoustu jiných zajímavých objektů).

Musíme mít **urychlovač**.

Musíme být schopní **udělat kolizi**.

Musíme mít **citlivé detektory**.

Celý pokus musíme **mnohokrát opakovat**, pravděpodobnost, že částici nalezneme je **VELMI** malá.

- **Jak funguje skutečný urychlovač?**

- **Fyzikální vztahy**

■ Ukázka

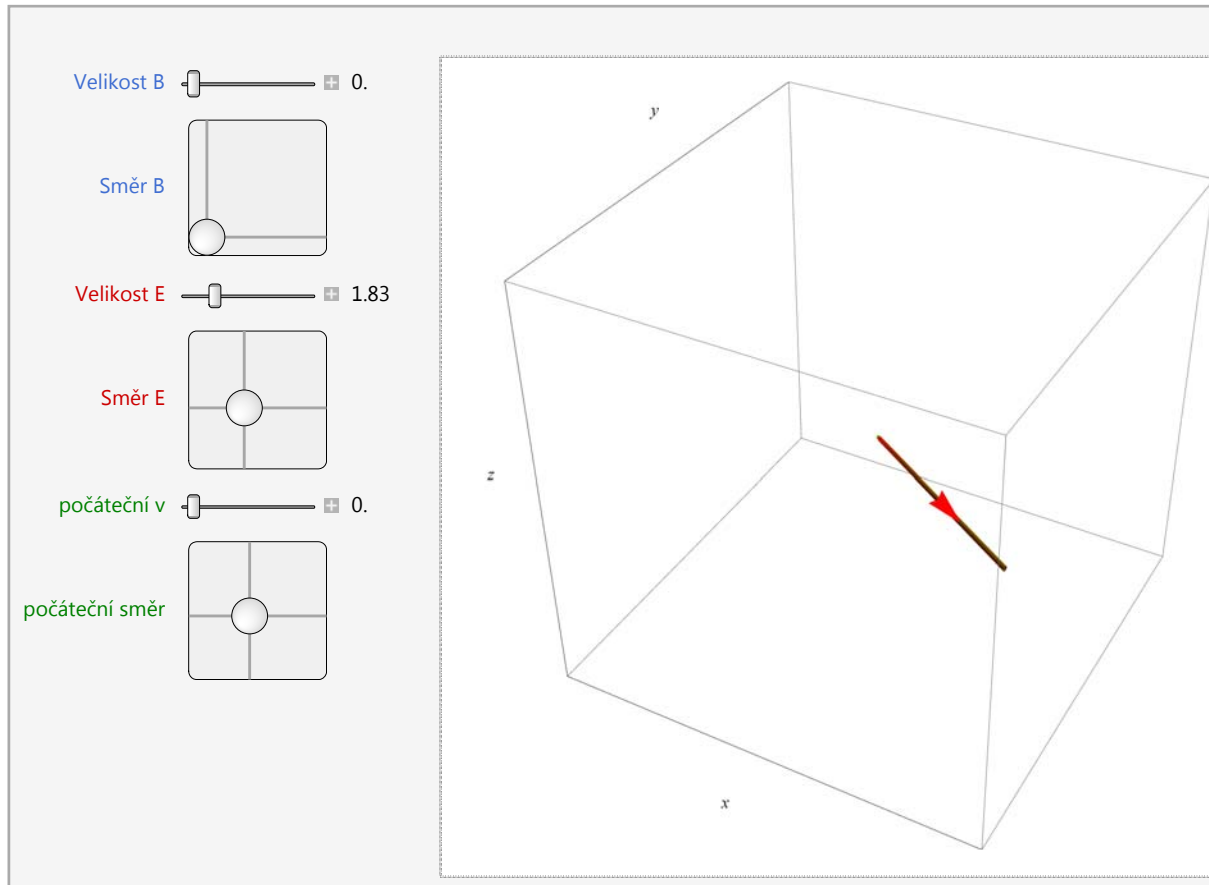
```

q = 0.05;
sol[q_, Ex_, Ey_, Ez_, Bx_, By_, Bz_, vx_, vy_, vz_] :=
  NDSolve[{Thread[D[{x[t], y[t], z[t]}, t, t] ==
    q ({Ex, Ey, Ez} + Cross[D[{x[t], y[t], z[t]}, t], {Bx, By, Bz}])], x[0] == 0,
    y[0] == 0, z[0] == 0, x'[0] == vx, y'[0] == vy, z'[0] == vz}, {x, y, z}, {t, -55, 55}];
Manipulate[
  Bx = B Cos[pt[[1]] Sin[pt[[2]]];
  By = B Sin[pt[[1]] Sin[pt[[2]]];
  Bz = B Cos[pt[[2]]];

  vx = V Cos[vpt[[1]] Sin[vpt[[2]]];
  vy = V Sin[vpt[[1]] Sin[vpt[[2]]];
  vz = V Cos[vpt[[2]]];

  Ex = El Cos[ept[[1]] Sin[ept[[2]]];
  Ey = El Sin[ept[[1]] Sin[ept[[2]]];
  Ez = El Cos[ept[[2]]]; Show[ParametricPlot3D[
    Evaluate@({x[t], y[t], z[t]} /. sol[q, Ex, Ey, Ez, Bx, By, Bz, vx, vy, vz][[1]]),
    {t, -50, 50}, PlotRange -> 10, ImageSize -> {400, 400},
    PlotStyle -> {Tube[.1], Orange}, PlotPoints -> 100,
    AxesLabel -> {Style["x", Italic], Style["y", Italic], Style["z", Italic]},
    Ticks -> None], Graphics3D[{Thick,
    Blue, Arrow[{{0, 0, 0}, 10 Normalize@{Bx, By, Bz}]},
    Red, Arrow[{{0, 0, 0}, 10 Normalize@{Ex, Ey, Ez}]},
    Green, Arrow[{{0, 0, 0}, 10 Normalize@{vx, vy, vz}}]
  ]],
  {{B, 0, Style["Velikost B", RGBColor[.25, .43, .82]]},
  0, 10, .01, Appearance -> "Labeled", ImageSize -> Tiny},
  {{pt, {-π, 0}, Style["Směr B", RGBColor[.25, .43, .82]]}, {-π, 0}, {π, π},
  ImageSize -> Medium}, {{El, 0, Style["Velikost E", Darker[Red, .2]]},
  0, 10, .01, Appearance -> "Labeled", ImageSize -> Tiny},
  {{ept, {-π/2, π/2}, Style["Směr E", Darker[Red, .2]]}, {-π, 0}, {π, π},
  ImageSize -> Medium}, {{V, 1, Style["počáteční v", Darker[Green, .5]]},
  0, 5, .01, Appearance -> "Labeled", ImageSize -> Tiny},
  {{vpt, {0, π/2}, Style["počáteční směr", Darker[Green, .5]]},
  {-π, 0}, {π, π}, ImageSize -> Medium}, ControlPlacement -> Left,
  SaveDefinitions -> True, TrackedSymbols -> {B, El, ept, pt, V, vpt}]

```

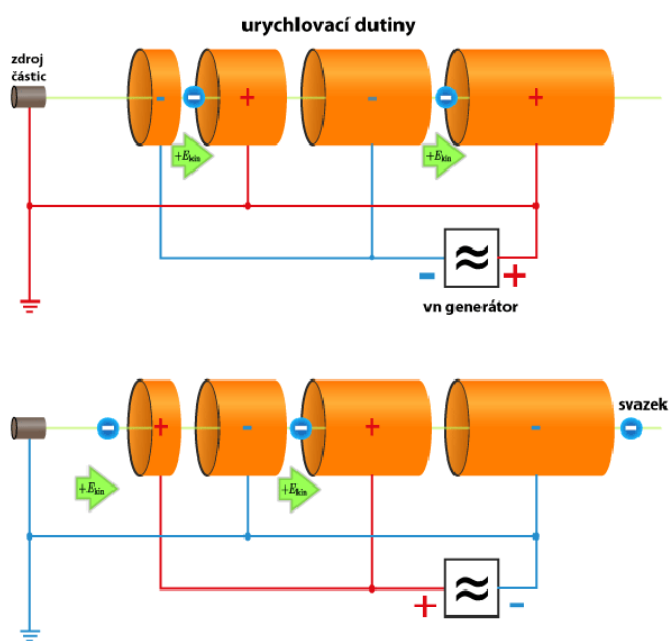
Typy urychlovačů

- Lineární urychlovače
- Jednostupňový

Částice se pouze vystaví silnému elektrostatickému poli, v tomto případě z násobiče napětí.



- Vícestupňový



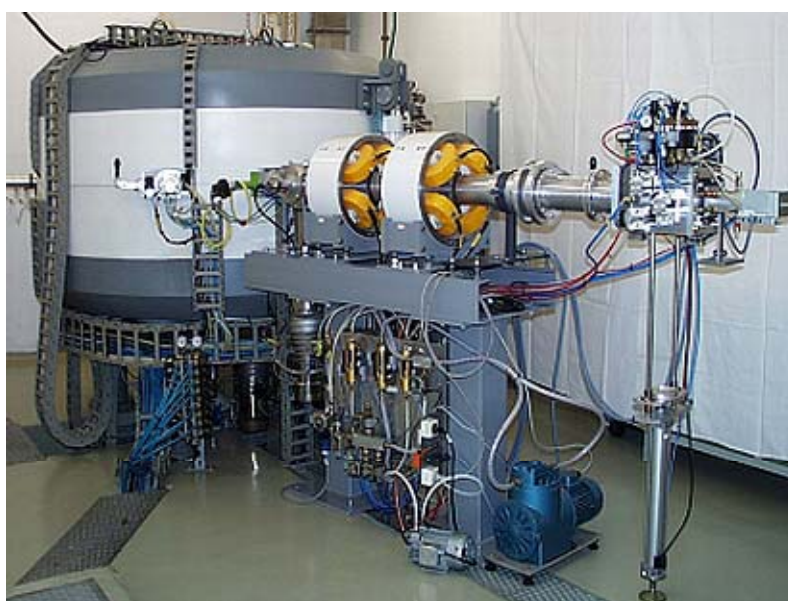
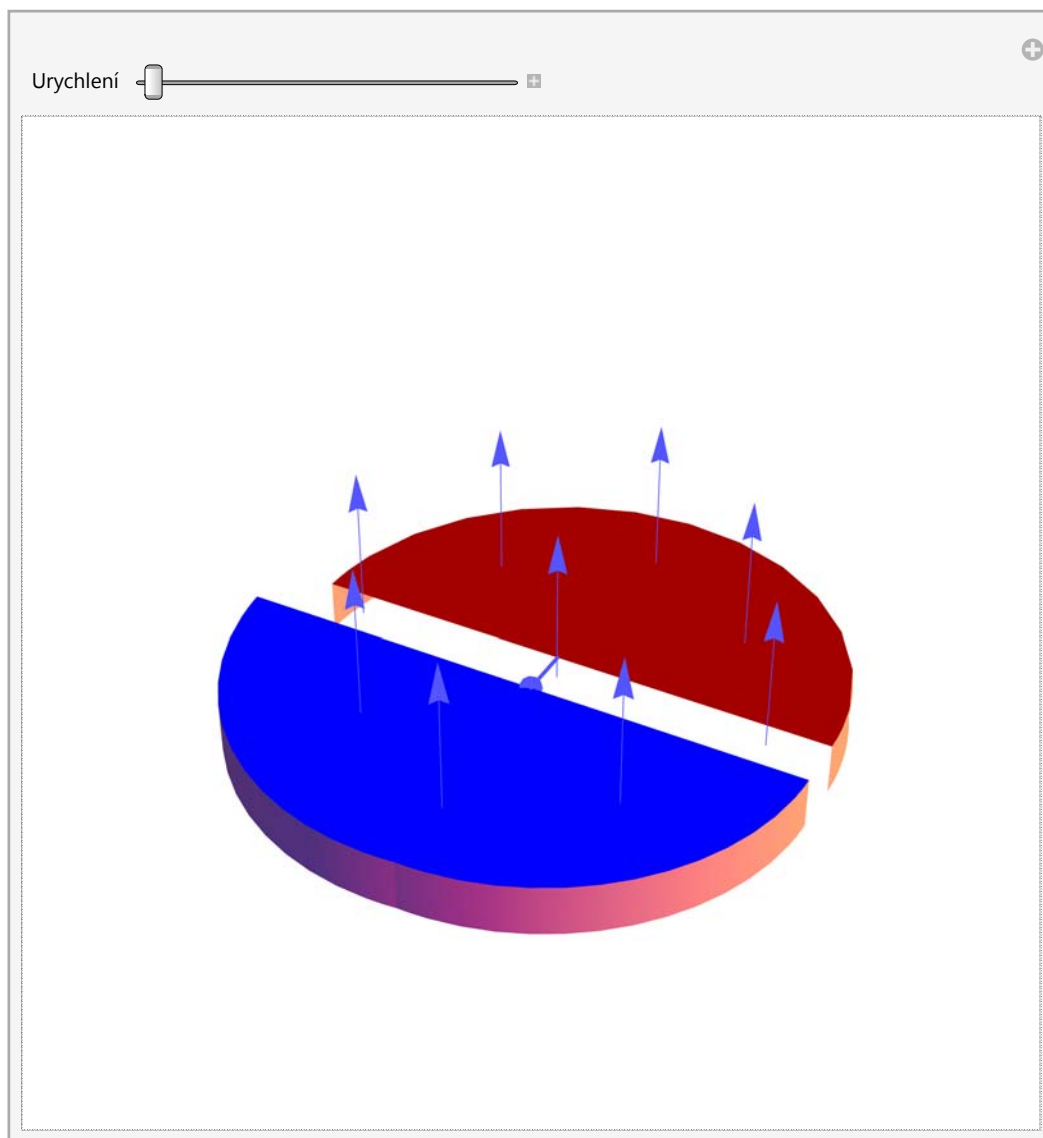


■ Kruhové urychlovače

■ Cyklotron

Manipulate[

```
Show[Graphics3D[{Lighter[Blue], Table[Arrow[If[Abs[x] == Abs[y] == 1, {{.5 x, .5 y, 1.2},
  {.5 x, .5 y, 1.8}}, {{.8 x, .8 y, 1.2}, {.8 x, .8 y, 1.8}}]], {x, -1, 1}, {y, -1, 1}],
  Thick, Lighter[Blue], Table[Line[{{x, -1, 1.2}, {x, .1, 1.2}}],
  {x, .05 - .1 IntegerPart[t] + If[OddQ[IntegerPart[t]], 0, .1], 0.0, .2}],
  Table[Line[{{x, -1, 1.2}, {x, .1, 1.2}}], {x, .15, .1 IntegerPart[t], .2}],
  Lighter[Blue], PointSize[.025], Point[
  {r Cos[θ] + If[Mod[r, .2] == .1, 0.05, -.05], r Sin[θ] + If[Mod[r, .2] == .1, 0.1, -.1],
  1.2} /. θ -> If[Mod[r, .2] == .1, If[.1 t - r < .1, π - 10 π Mod[.1 t, .1], 0],
  If[.1 t - r < .1, 2 π - 10 π Mod[.1 t, .1], π]] /. r -> .1 IntegerPart[t - 10-12]],
  Boxed -> False], ParametricPlot3D[{Cos[θ], Sin[θ] + .1, h}, {θ, 0, π},
  {h, 1, 1.2}, Mesh -> False],
  ParametricPlot3D[{r Cos[θ], r Sin[θ] + .1, 1.2}, {θ, 0, π}, {r, 0, 1},
  Mesh -> False, PlotStyle -> If[Mod[t + 0.5, 2] > 1, Red, Blue]],
  ParametricPlot3D[{Cos[θ], Sin[θ] - .1, h}, {θ, 3/2 π, 2 π}, {h, 1, 1.2}, Mesh -> False],
  ParametricPlot3D[{r Cos[θ], r Sin[θ] - .1, 1.2}, {θ, 3 π/2, 2 π},
  {r, 0, 1}, Mesh -> False, PlotStyle -> If[Mod[t + 0.5, 2] > 1, Blue, Red]],
  ParametricPlot3D[{r (1 + .2 × 2 / π (3 π/2 - θ)) Cos[θ],
  r (1 + .2 × 2 / π (3 π/2 - θ)) Sin[θ] - .1, 1.2}, {θ, π, 3 π/2}, {r, 0, 1}, Mesh -> False,
  PlotStyle -> If[Mod[t + 0.5, 2] > 1, Blue, Red]], ParametricPlot3D[
  {(1 + .2 × 2 / π (3 π/2 - θ)) Cos[θ], (1 + .2 × 2 / π (3 π/2 - θ)) Sin[θ] - .1, h},
  {θ, π, 3/2 π}, {h, 1, 1.2}, Mesh -> False],
  Table[ParametricPlot3D[{r Cos[θ] + If[Mod[r, .2] == .1, 0.05, -.05],
  r Sin[θ] + If[Mod[r, .2] == .1, 0.1, -.1], 1.2}, {θ, If[Mod[r, .2] == .1, π, 2 π],
  If[Mod[r, .2] == .1, If[.1 t - r < .1, π - 10 π Mod[.1 t, .1], 0],
  If[.1 t - r < .1, 2 π - 10 π Mod[.1 t, .1], π]}], Mesh -> False, PlotStyle -> Thick],
  {r, .1, .1 t - 10-12, .1}], SphericalRegion -> True, ImageSize -> {500, 500}],
  {{t, 1.5, "Urychlení"}, 1, 11.02, AnimationRate -> 0.3}]
```



■ Synchrotron

Kruhový urychlovač, ve kterém jsou **elektrická a magnetická pole přesně synchronizována**, takže částice se po celou dobu urychlování pohybují s velkou přesností po prstencové dráze **uvnitř relativně tenké trubice**. To

umožňuje budování obrovských urychlovačů, protože magnety jsou umístovány pouze kolem trubice. (Na obrázku část urychlovače SPS z CERNu).

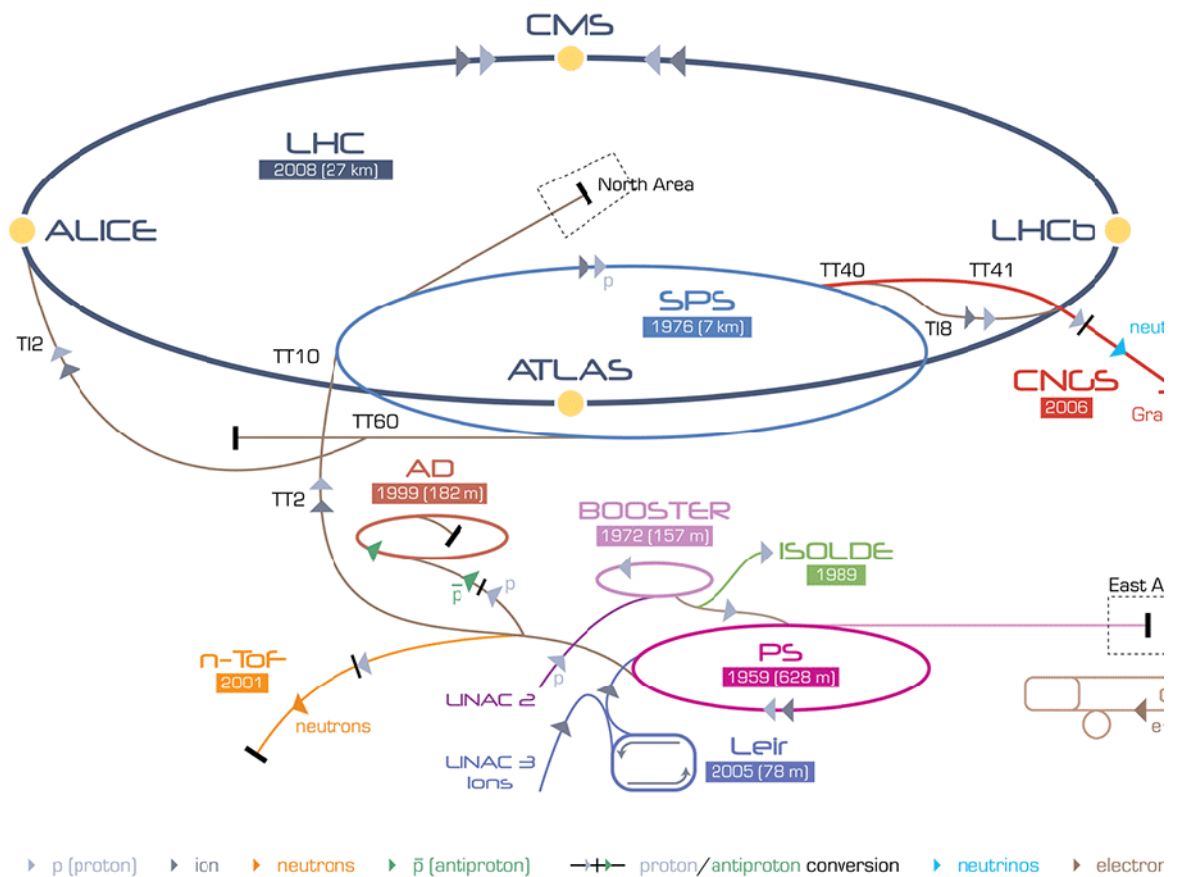


Urychlovač LHC - základní parametry

- Hlavní cíle výzkumu na urychlovači LHC
- Hlavní parametry urychlovače
- Potřebné technologie <https://ab-div.web.cern.ch/ab-div/Publications/LHC-DesignReport.html>
- Ultravysoké vakuum
- Velmi silné magnetické pole
- Teploty blízké absolutní nule
- Velmi výkonné vf zesilovače urychlovacího napětí

několik parametrů RF urychlovacího systému: **kmitočet 400 MHz**, **napětí na urychlovací dutině 2 MV (4x)**, **urychlovací výkon 32 kW** (během rampy)

- Ultra přesné řízení veškerých procesů
- Vysoce spolehlivé ochranné systémy
- Přípravné předurychlovače



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF-3 Clic Test Facility CNCS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine
LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight



Detektory - princip

dnešní **detektory** jsou převážně elektronické nebo optoelektronické

- Dvě hlavní kategorie detektorů
- čtyři největší detektory v LHC se skládají z mnoha typů trackerů a kalorimetrů
- ATLAS (**A** Toroidal **LHC** **A**paratus)
- ALICE (**A** Large **I**on **C**ollider **E**xperiment)
- LHCb (**L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty experiment)
- CMS (**C**ompact **M**uon **S**olenoid detector)

Provoz a dosažené výsledky

- Historické milníky
- **Energie a luminozita**
- Dosažená energie
- Dosažená luminozita

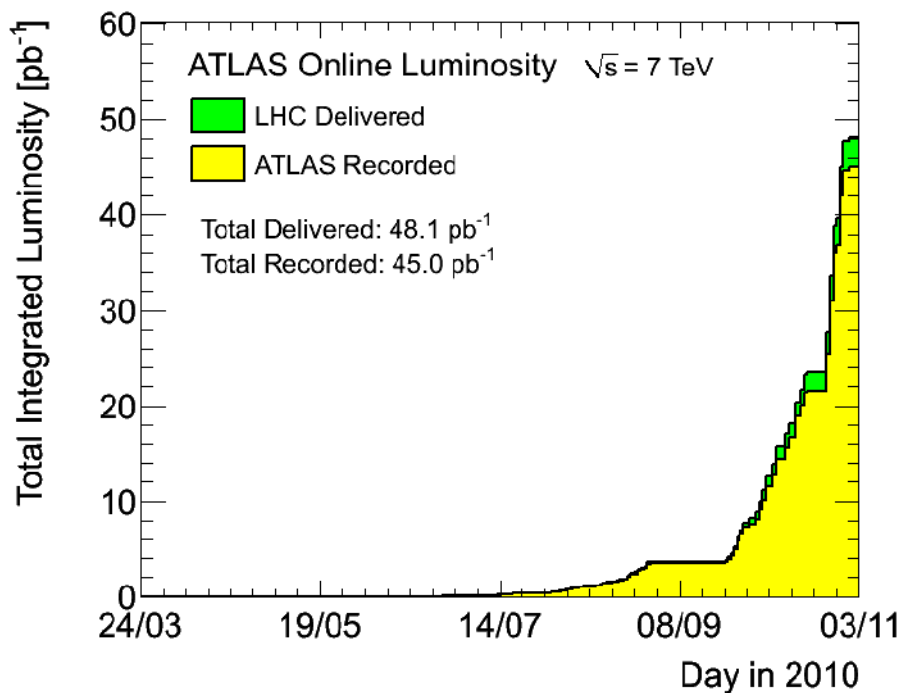
Druhým neméně důležitým parametrem je takzvaná luminozita. Ta určuje jak dlouho bude trvat, než budou odhaleny hledané jevy. Pravděpodobnost, že se částice v kolizi treří přesně tak, jak je potřeba, je strašně malá, proto je potřeba maximalizovat počet sražených částic za časovou jednotku (světelnost svazku částic), aby se to podařilo v rozumně krátkém čase.

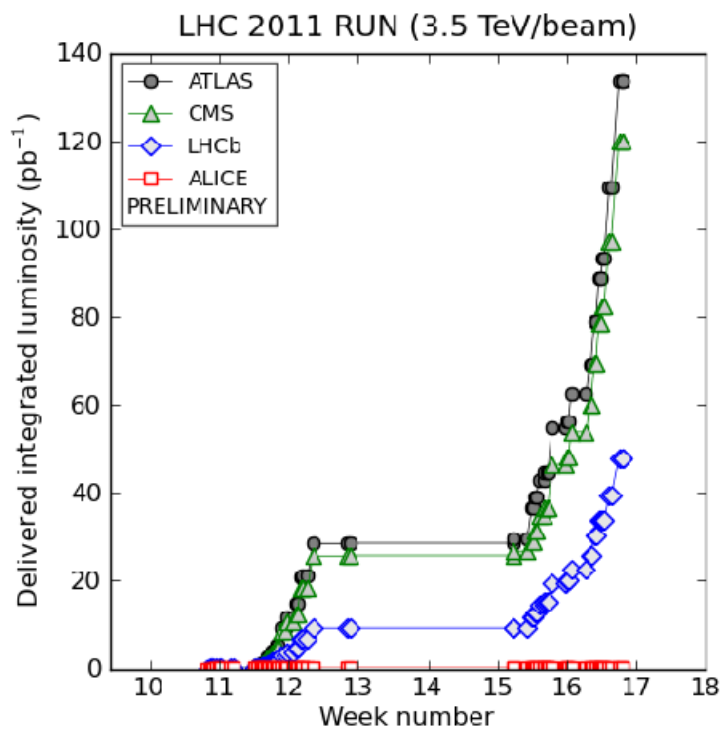
LHC začalo s velmi malou luminozitou a postupně, jak je systém čím dál tím více optimalizován, luminozita téměř exponenciálně stoupá.

Cílová maximální okamžitá luminozita je $10^4 \mu\text{barn}^{-1} \text{s}^{-1}$, současná 25. 4. 2011 je cca $400 \mu\text{barn}^{-1} \text{s}^{-1}$

$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$, $1 \mu\text{barn} = 10^{-30} \text{ cm}^2$

. 2010





2011 : -)

- LHC online

**Děkuji za pozornost.
Máte-li dotazy, ptejte se!**



■ **Obsah**

Metody zkoumání hmoty
Trocha z historie představ o stavbě hmoty
Dnešní představa o stavbě hmoty
Principy urychlovačů
Typy urychlovačů
Urychlovač LHC - základní parametry
Detektory
Provoz a dosažené výsledky
Dotazy