

# Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM



Jakub Skalka - Gymnázium, České Budějovice, Jírovцова 8

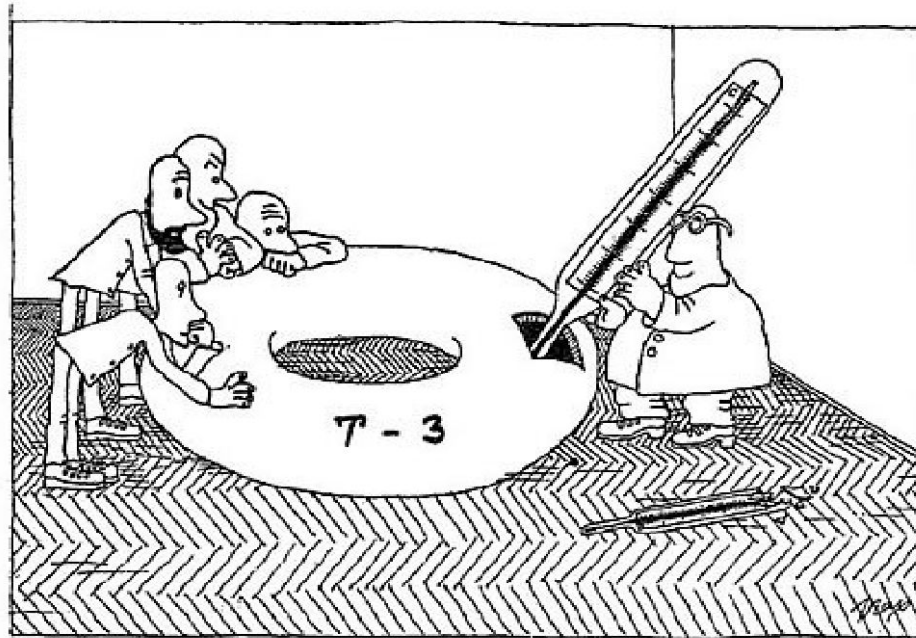
Ludmila Šírová - Mensa gymnázium, Praha

Marie Horáková - Arcibiskupské gymnázium, Praha

Vladimír Sklenář - Gymnázium Terézie Vansovej, Stará Lúbovňa

# Cíl práce:

## Odhadnutí doby udržení energie plazmatu u tokamaku GOLEM



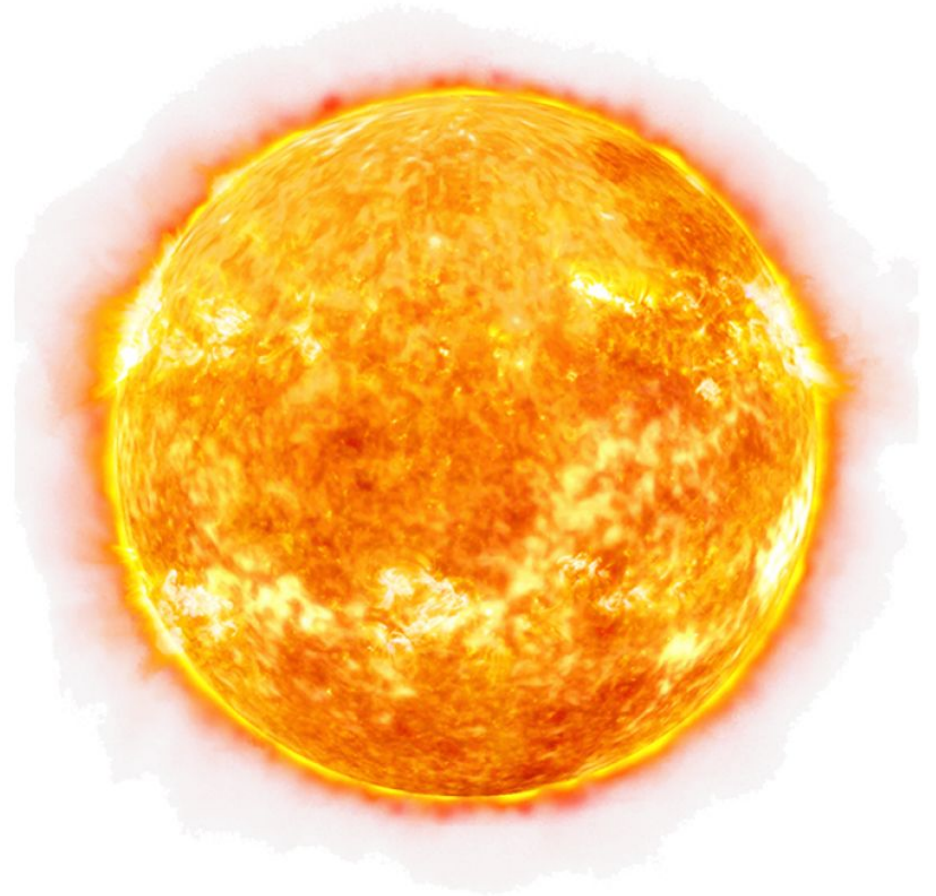


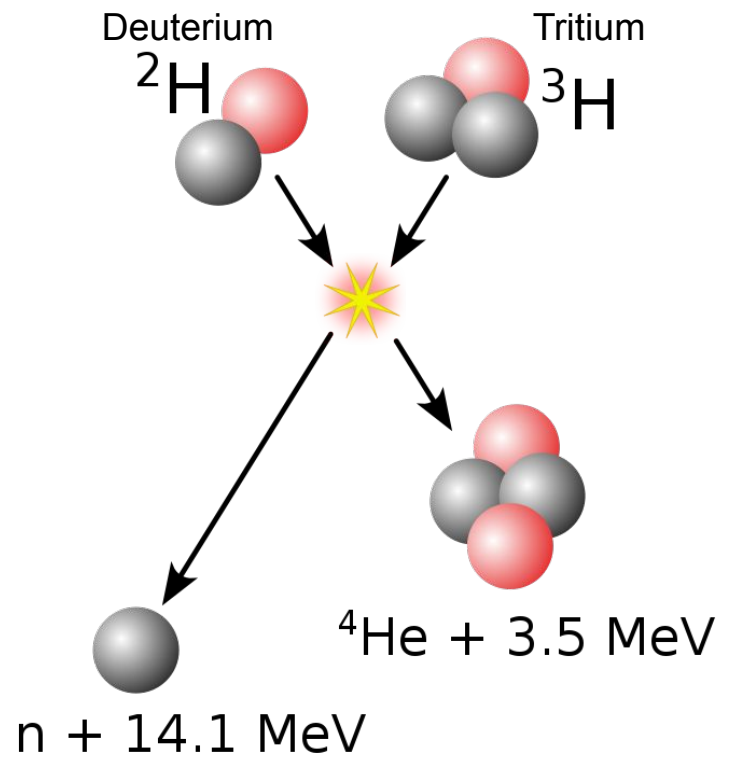
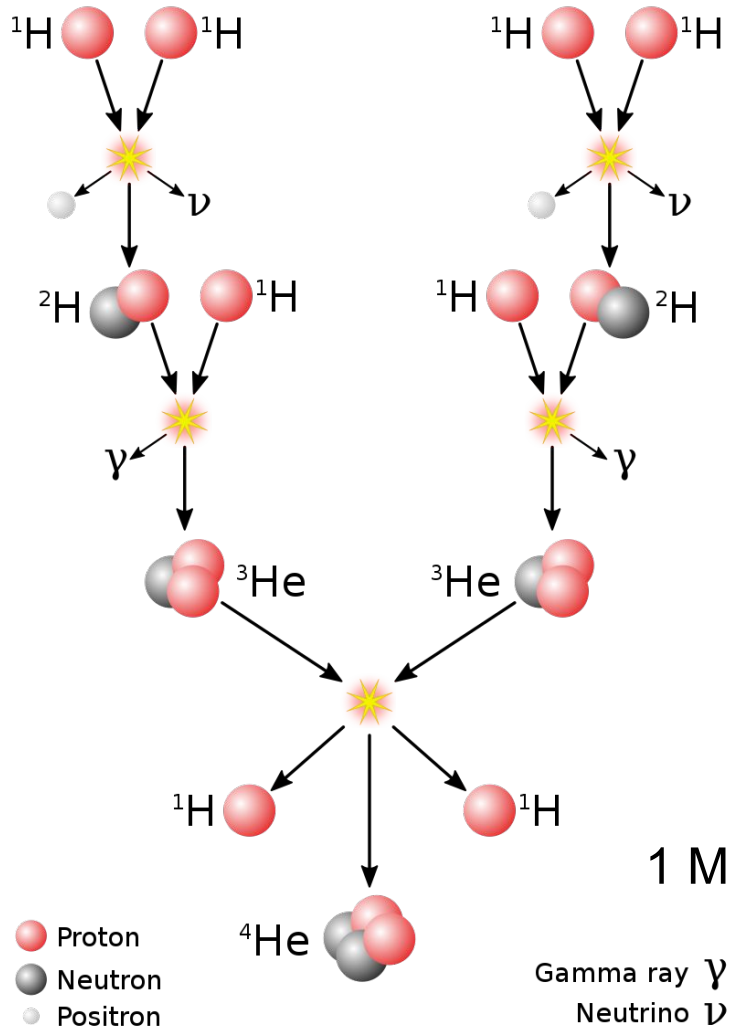
# Obsah:

- 1) Úvod
- 2) Získávání a zpracování dat
- 3) Odhad doby udržení energie plazmatu
- 4) Závěr

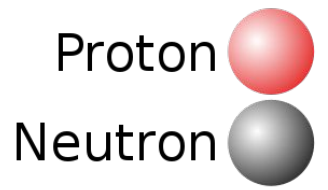
# 1) Úvod - Fúze:

- Termonukleární fúze
- Sloučení atomových jader
- Ve hvězdách
- Velmi silné odpuzivé síly
- -> Vysoké teploty



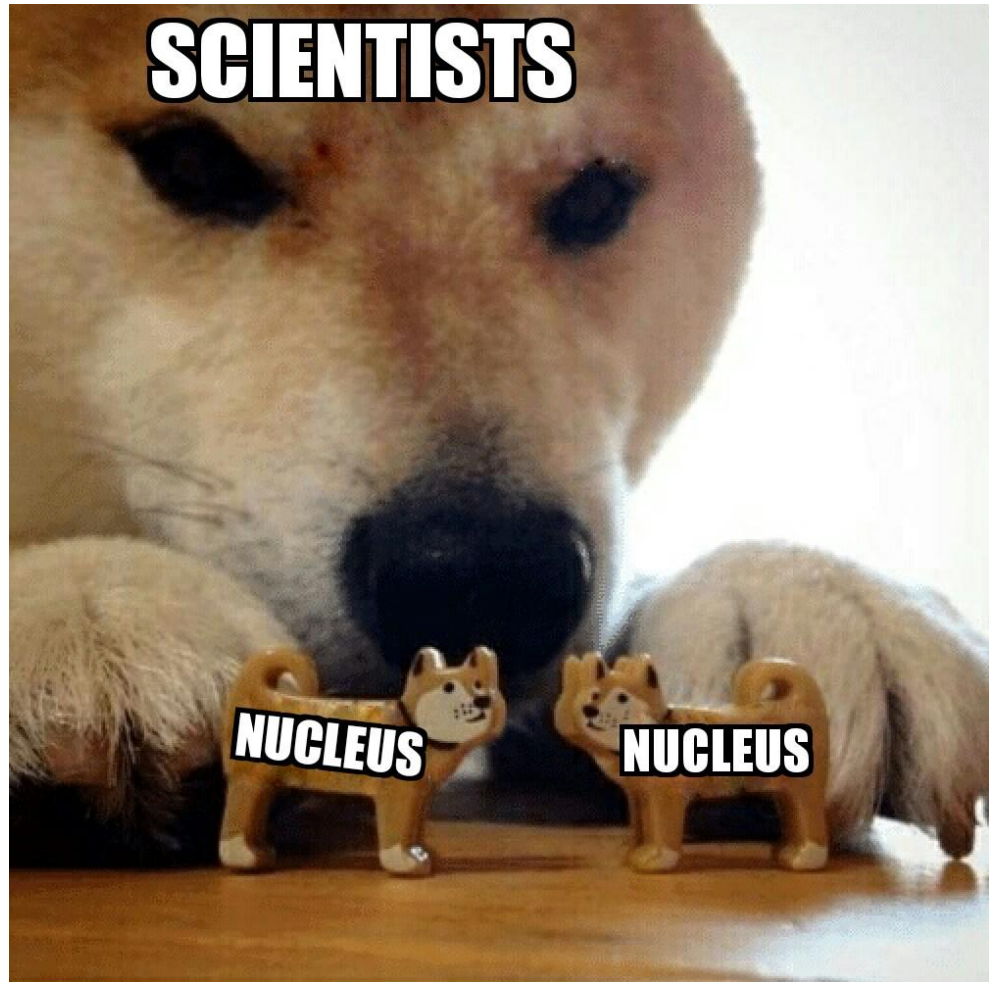


$1 \text{ MeV} = 1.60217663 \times 10^{-13} \text{ J}$



# 1) Úvod - Fúze:

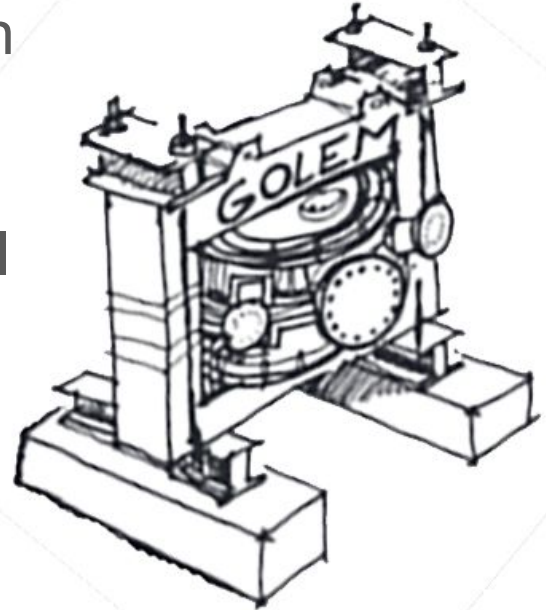
- Termonukleární fúze
- Sloučení atomových jader
- Ve hvězdách
- Velmi silné odpudivé síly
- -> Vysoké teploty



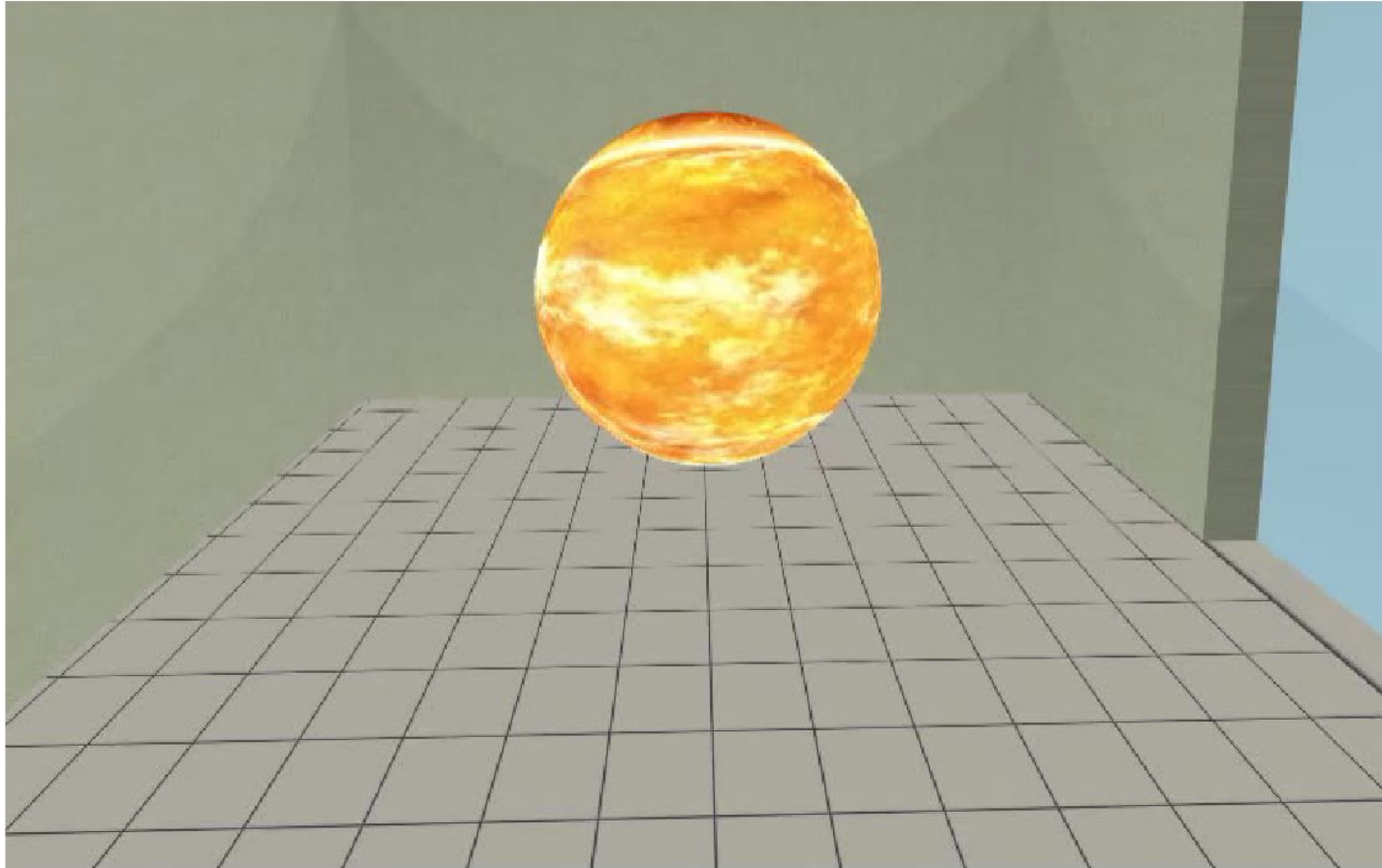


# 1) Úvod - Tokamak GOLEM:

- Vyvolání fúze v zemských podmínkách
- Vysoká teplota -> vznik plazmatu
- Držení pomocí elektromagnetických sil
- Potencionální výroba elektřiny

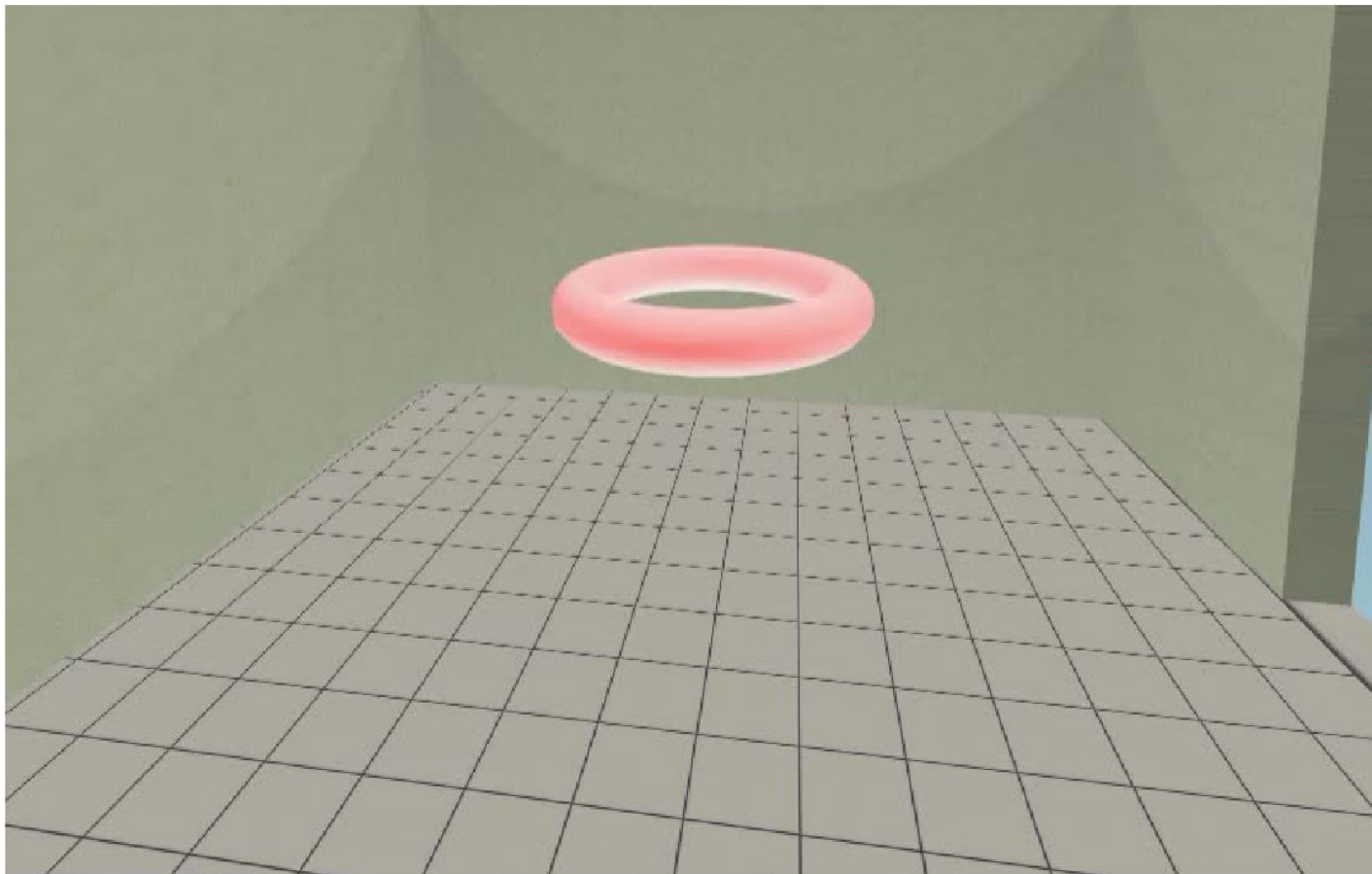


# Cíl: “Slunce” v zemských podmínkách

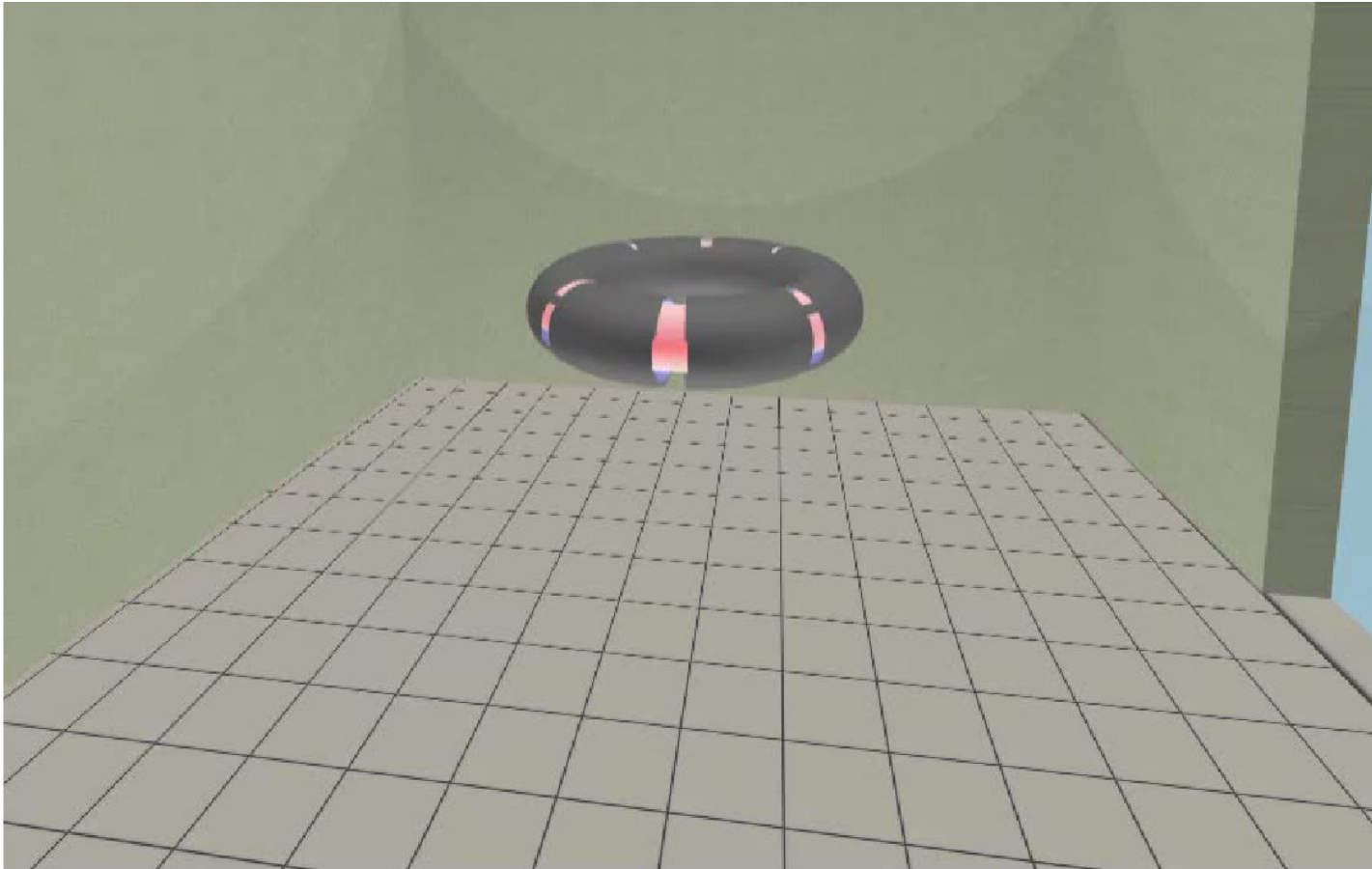




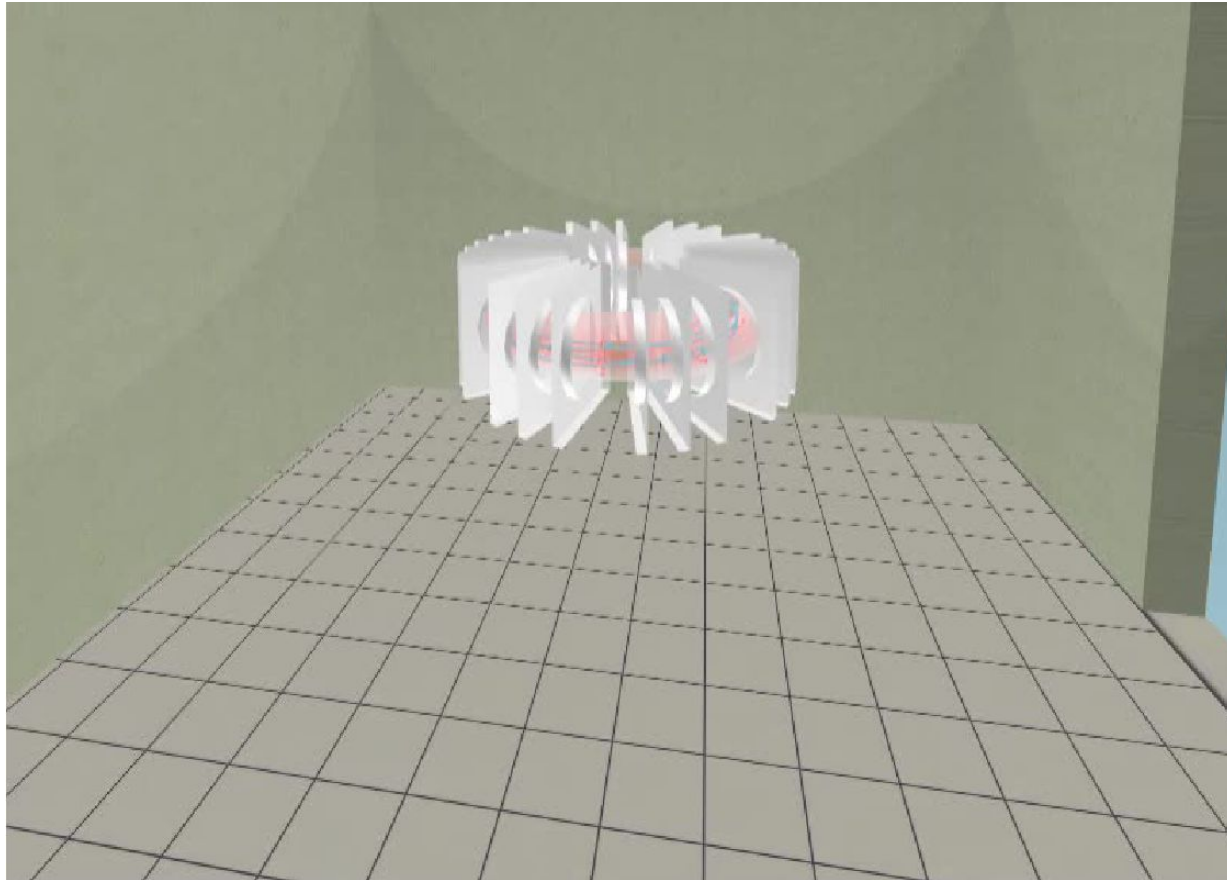
# Plasma v toroidu



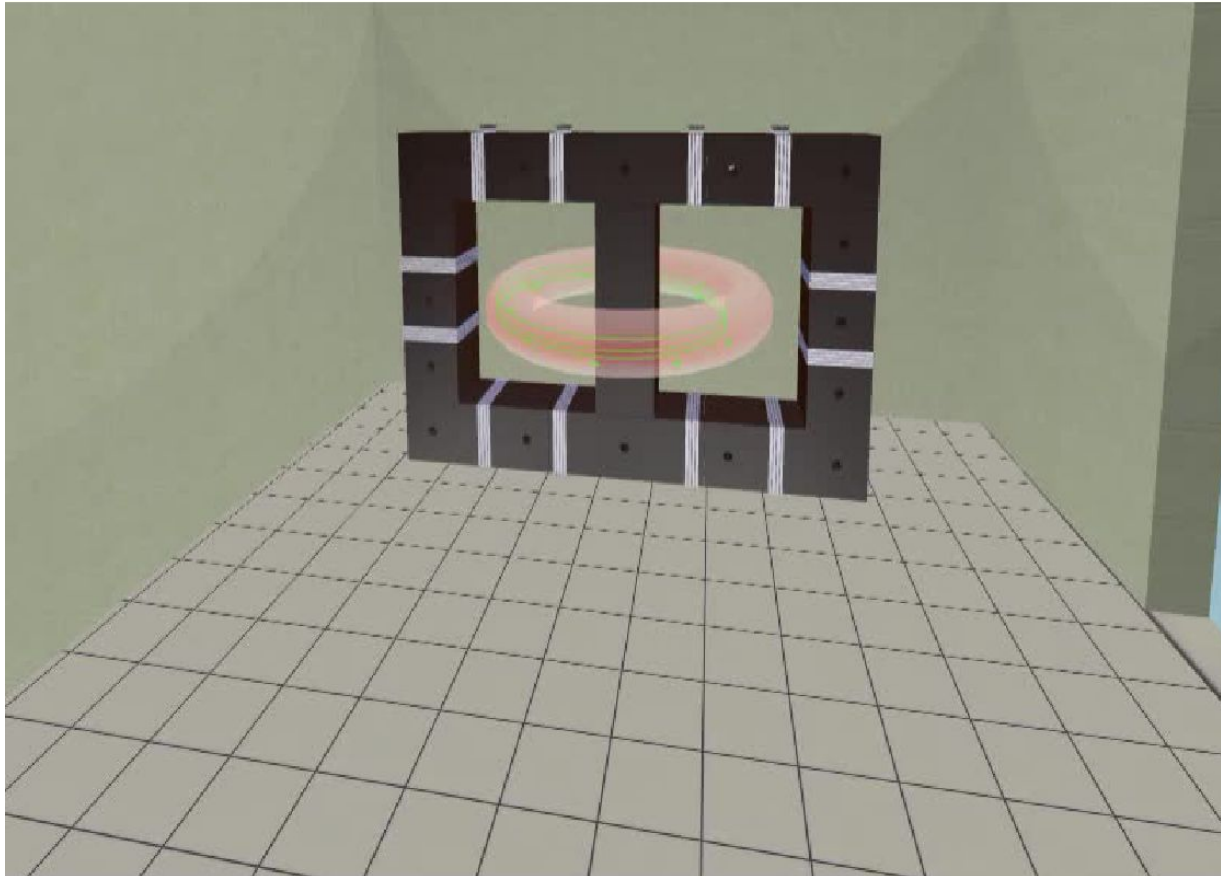
# Obklopeno komorou



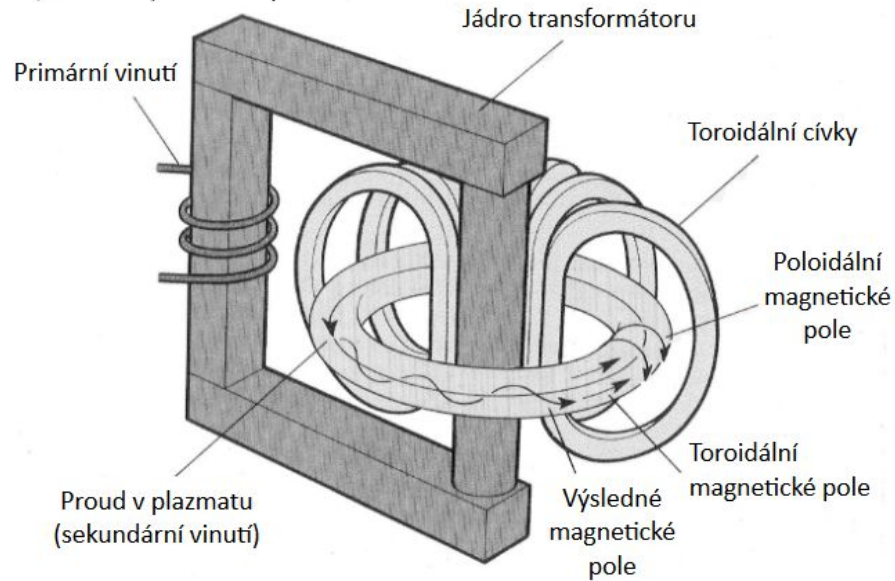
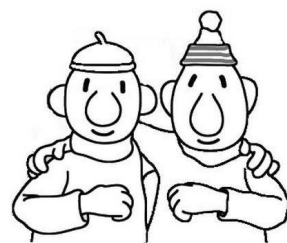
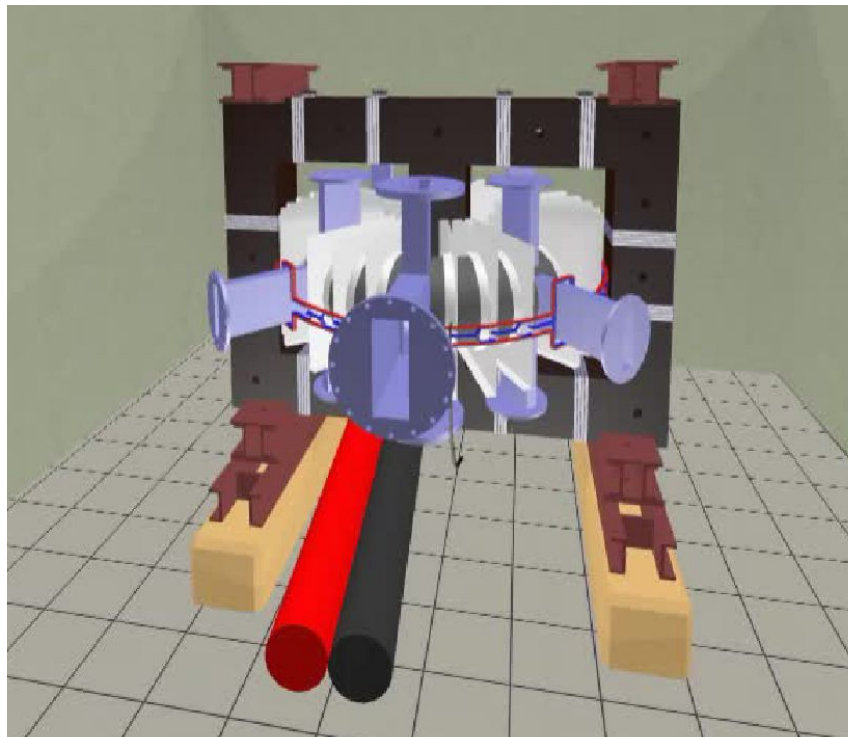
# Toroidální cívky- mag. pole zabraňující kontaktu



# Transformátor- zahřívání plazma

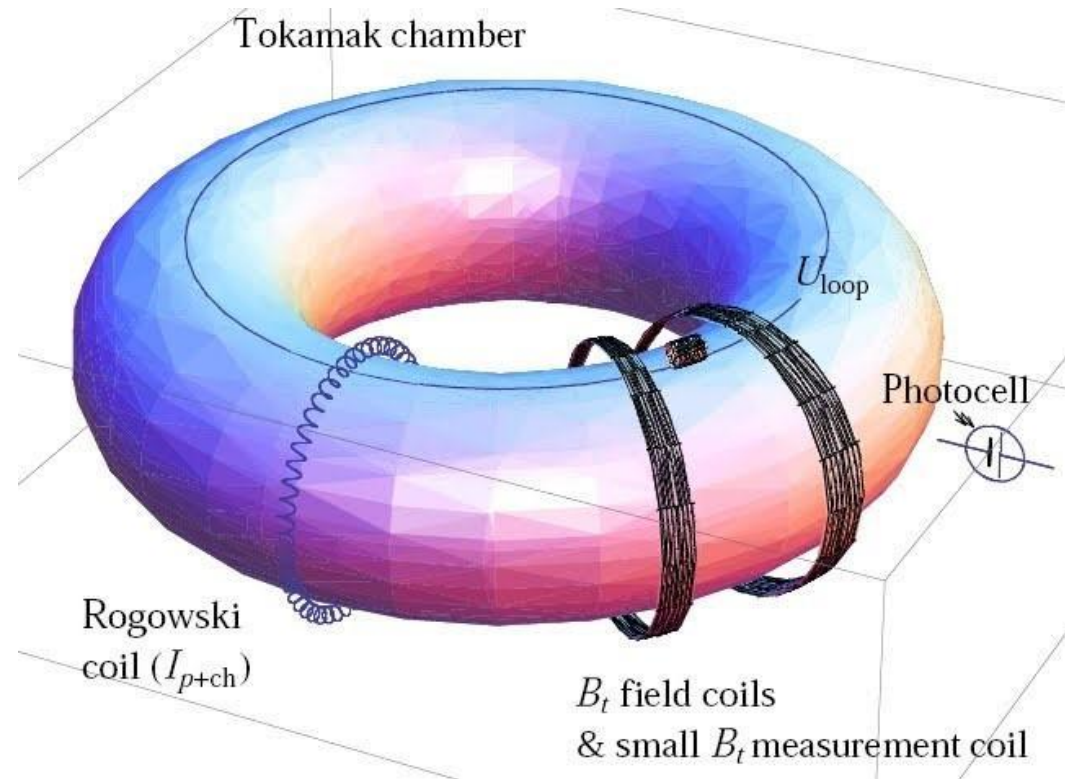


# Ostatní Technika - A je to!



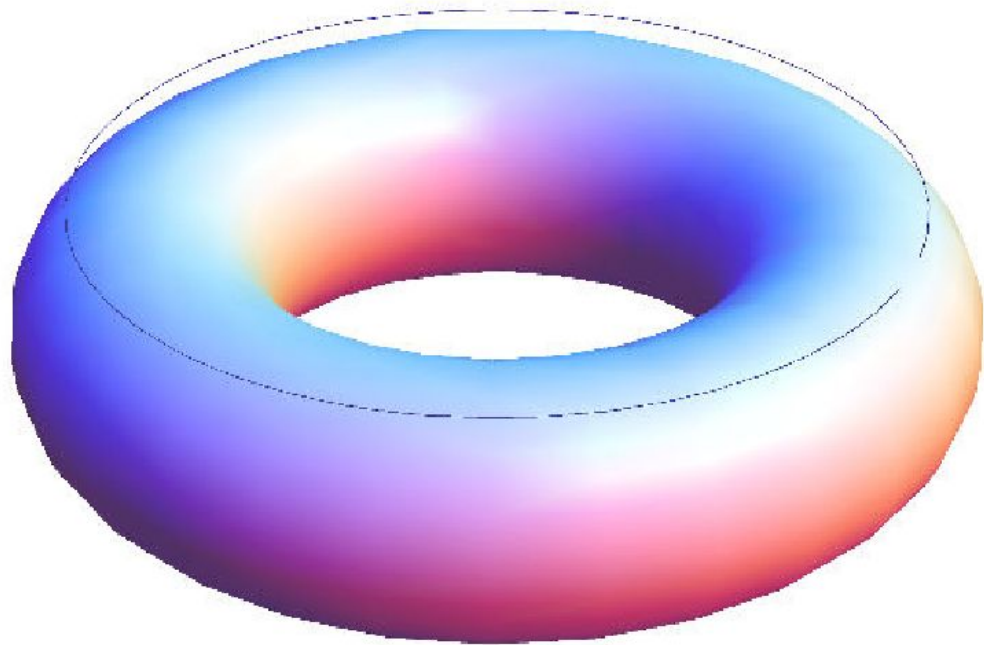
## 2) Získávání dat

- Měření napětí na závitě
- Měření magnetického pole
- Měření proudu plazmatu (Rogowského pásek)
- Měření vyzařování plazmatu





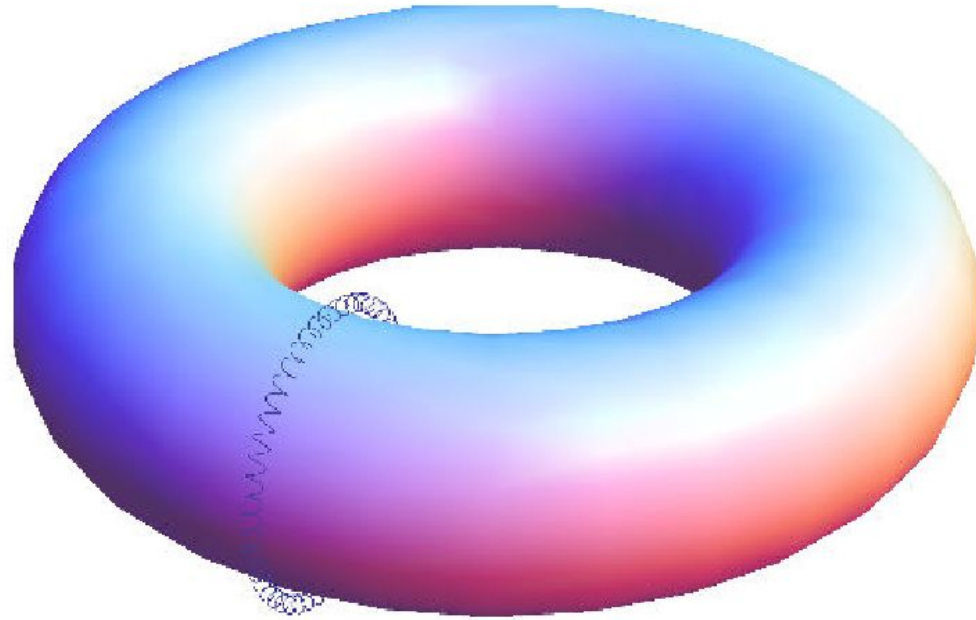
## Napětí na závitu



# Magnetické pole

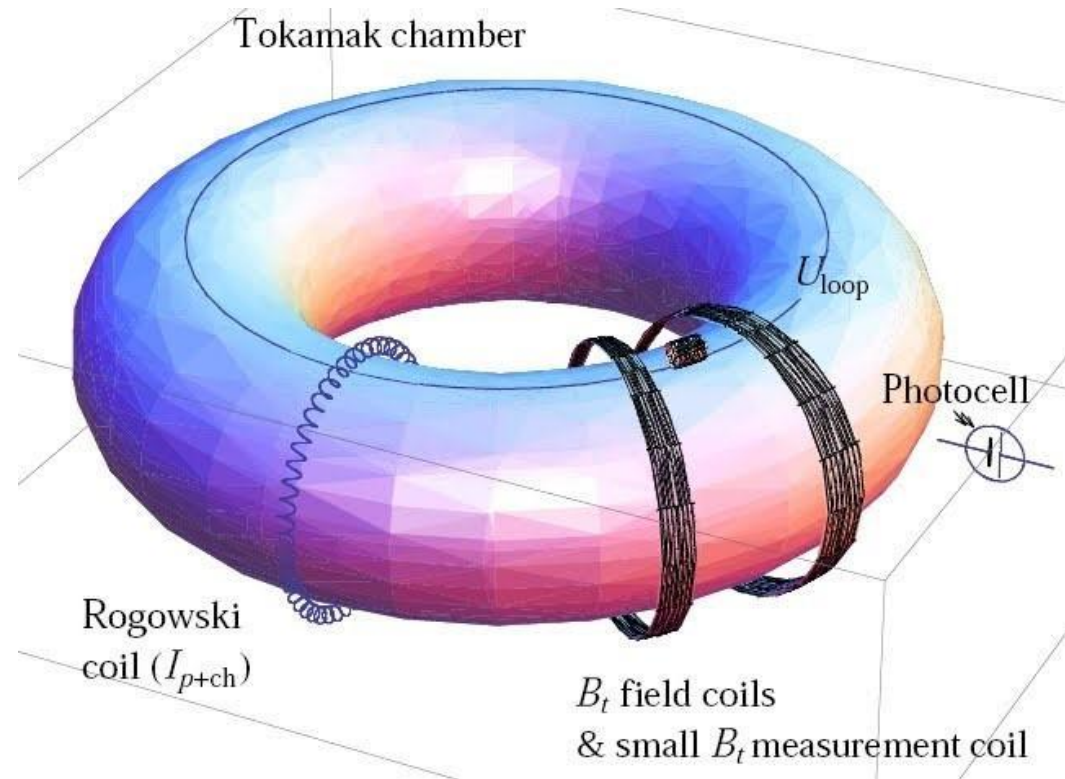


# Proud plazmatu (Rogowského pásek)

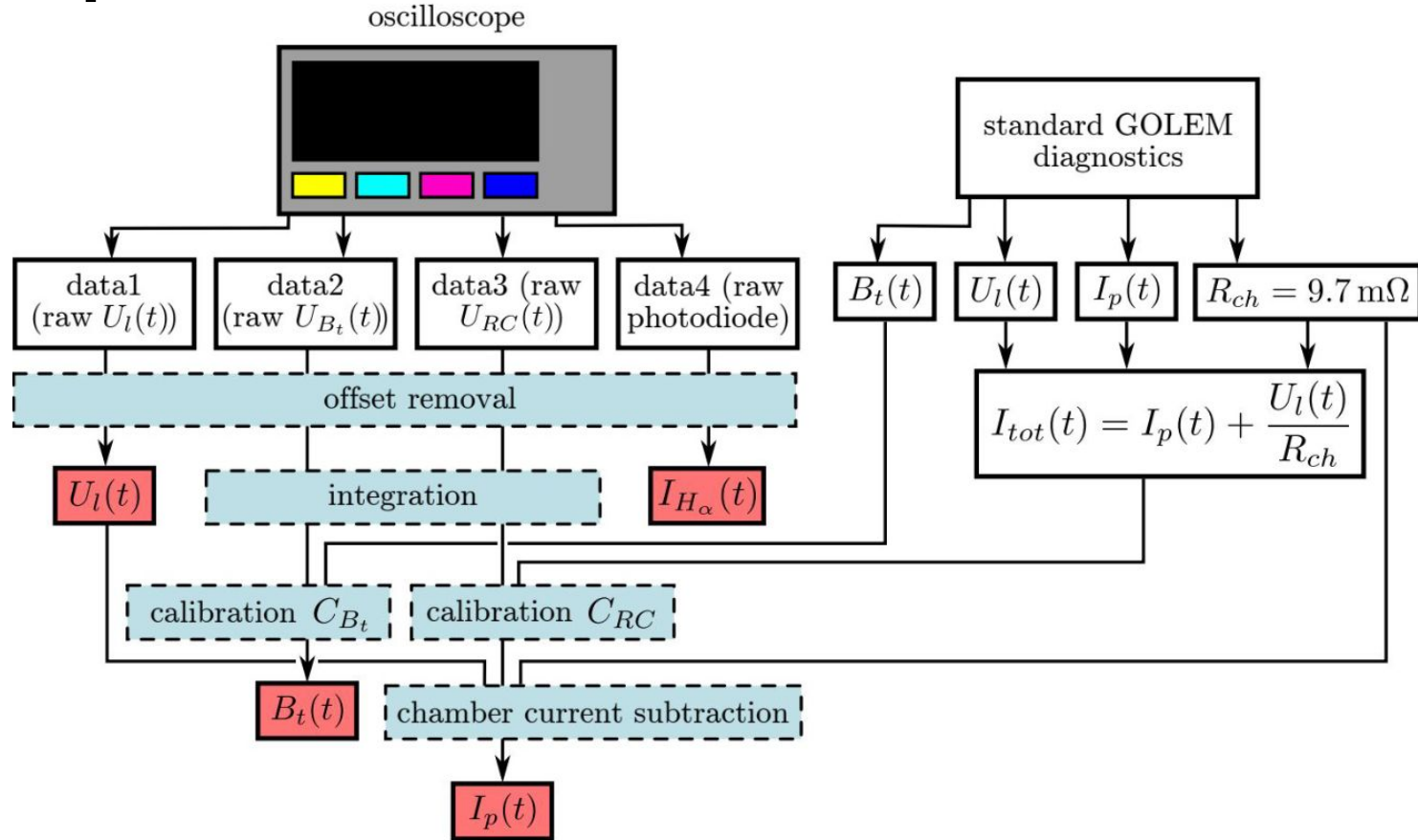


## 2) Získávání dat

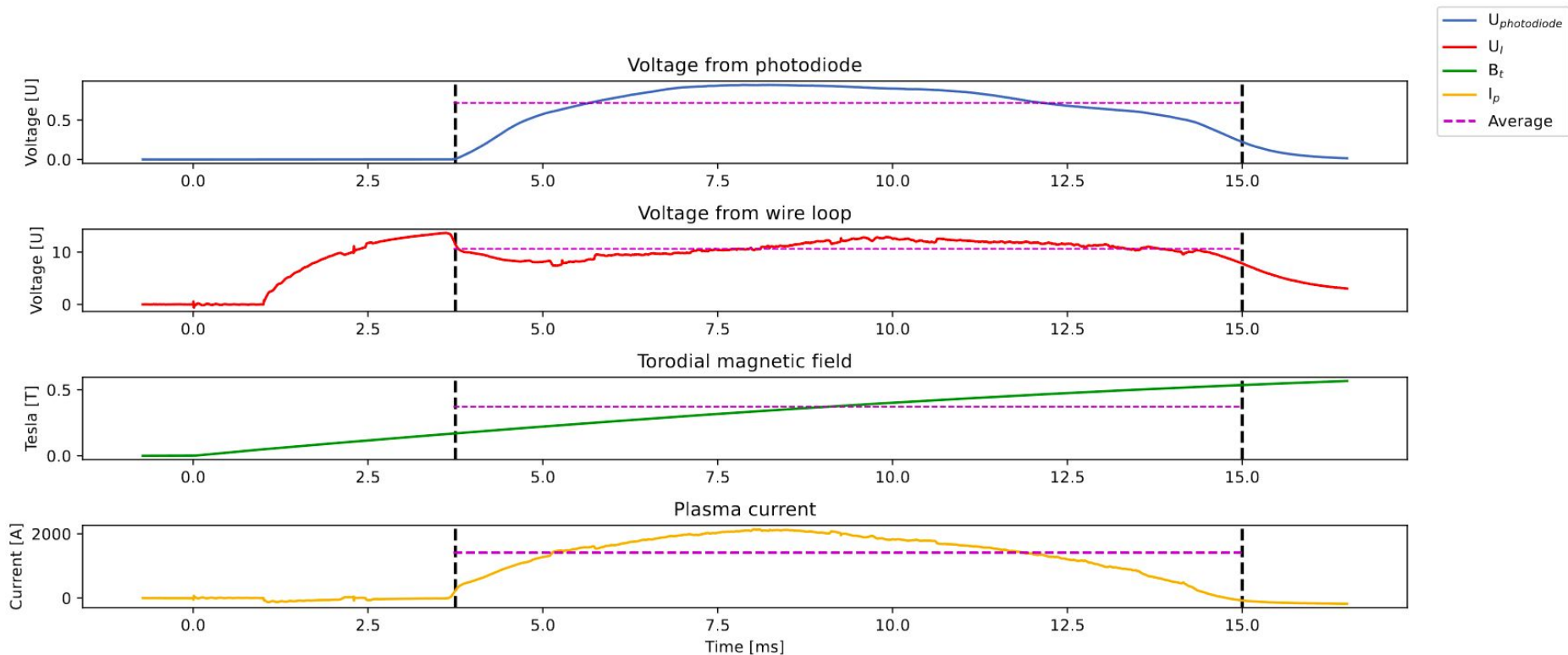
- Měření napětí na závitě
- Měření magnetického pole
- Měření proudu plazmatu (Rogowského pásek)
- Měření vyzařování plazmatu



# 2) Zpracování dat



# Naměřená data ve výboji





# 3) Odhad doby udržení energie plazmatu

Doba udržení - jeden z parametrů pro výpočet účinnosti tokamaku

$$\tau = \frac{E}{P_z}$$
$$E = pV \approx \frac{1}{3} e n_e T V$$
$$T \approx 0,9 \left( \frac{U_l}{I_p} \right)^{-\frac{2}{3}}$$
$$\tau = \frac{e n_e T V}{3 U_l I_p}$$
$$P_z = P_o = U_l I_p$$

# Odhad doby udržení pro konkrétní výstřely

výstřel	$U_l$	$I_p$	$n_e$	$\tau$
#42474	9,875 V	1868,315 A	$4,054 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$	27,843 $\mu\text{s}$
#42478	10,62 V	1413,093 A	$4,356 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$	29,094 $\mu\text{s}$

# 4) Závěr

- Doba udržení na tokamaku  
GOLEM je příliš krátká
- => Tokamaky nejsou používané  
jako elektrárny



# Poděkování

Děkujeme GOLEMovi za dobře odvedenou práci.

Děkujeme FJFI za Týden vědy na Jaderce

Děkujeme za možnost být v učebně Jana Stöckela

Děkujeme panu Svobodovi za provoz tokamaku

Děkujeme Markovi Tunklovi za vedení projektu.



DĚKUJEME ZA  
POZORNOST



# Zdroje

<http://www.golem-trading.cz/kam-pro-golema/> - Fotka Golema

[https://www.reddit.com/r/sciencememes/comments/aouscg/thats\\_how\\_nuclear\\_fusion\\_works/?utm\\_source=share&utm\\_medium=web2x&context=3](https://www.reddit.com/r/sciencememes/comments/aouscg/thats_how_nuclear_fusion_works/?utm_source=share&utm_medium=web2x&context=3) - Znárodnění fúze

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD\\_f%C3%BAze](https://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD_f%C3%BAze) - fúze 2

<https://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/2227594e1948fddc0188513a7042e2acc65c8c7f.pdf> - ilustrace GOLEMa

<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/PlasmaSchools/MPFuS.tn/23/presentation/present.pdf?revision=069db4ff7a35fc7b6a0adaa228bc52411c26fdae> - 3D model GOLEMu

<http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/0/Diagnostics/BasicDiagnostics/Basic/expsetup.svg> - Model měřících zařízení

<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/GMinstructions/extracts/GeneralHandsOn/docum.pdf> - Diagram zpracování dat

[https://fykos.cz/\\_media/rocnik26/ulohy/pdf/serial26\\_3.pdf?cache=](https://fykos.cz/_media/rocnik26/ulohy/pdf/serial26_3.pdf?cache=) - schéma tokamaku

<https://sk.pinterest.com/pin/469429961159136268/> - Pat a Mat

<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/>