

Měření rentgenového záření na tokamaku GOLEM pomocí scintilačního detektoru

A. Zaykov *, J. Hladík **, K. Takáčová ***

19. června 2012

Gymnázium Teplice, ** Gymnázium Pelhřimov, *** Gymnázium Náchod

Abstrakt

Úkolem tohoto experimentu bylo detekovat a změřit rentgenové záření, emitované z tokamaku GOLEM. Byl zkoumán vliv velikosti magnetického pole na tvar energetického spektra a intenzitu vznikajícího rentgenového záření.

1 Úvod

Tokamak je nádoba používaná k vytvoření, udržení a zkoumání termojaderné fúze (v našem případě pouze plazmatu), která má být v budoucnu velkým zdrojem energie. Plazma je vysoce ionizovaný plyn, který velmi dobře vede elektrický proud a má vysokou teplotu. Plazma se ohřívá pomocí Faradayova principu elektromagnetické indukce. Aby se zabránilo styku plazmatu s komorou, využívá se toroidálních cívek, které generují magnetické pole.

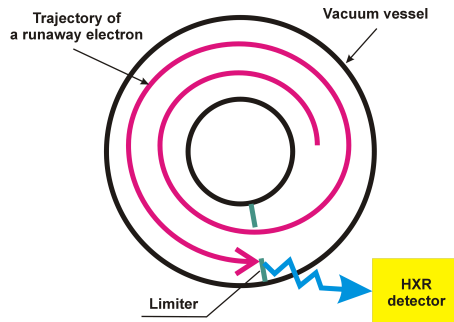
2 Teorie

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění s vysokou frekvencí a energií. Toto záření vzniká během plazmatického výboje. Následujícím způsobem: v plazmatu se indukuje elektrické pole, které urychluje část elektronů jedním směrem, což má za následek vlečení elektrického proudu prstencem plazmatu. Pokud je rychlost elektronů vyšší než kritická hodnota, elektrony se přestávají srážet a jsou neustále urychlovány a obíhají. Při každém oběhu získají energii $e \times U_{loop}$, kde e je náboj elektronu 1.6×10^{-19} C a U_{loop} je napětí na prstenci plazmatu, které se nazývá napětí na závit. Elektrony, které se nazývají ubíhající (runaway electrons) se pohybují po spirálovité trajektorii, která při každém oběhu zvětšuje svůj poloměr. Po určitém počtu oběhu dopadne elektron na limiter. Při interakci elektronu s pevnou látkou se vyzáří foton, jehož energie zhruba odpovídá kinetické energii elektronu. Což je názorně vidět na obrázku 1.

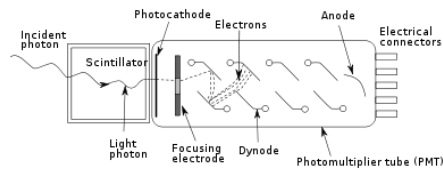
3 Experiment

3.1 Uspořádání experimentu

Energii fotonů měříme pomocí scintilačního detektoru, který je schématicky znázorněn na obrázku 2. Foton dopadne na scintilátor a vygeneruje foton ve viditelné oblasti spektra, který se poté registruje fotonásobičem. Foton dopadne fotokatodu z které vyrazí elektron, který je



Obrázek 1: Schéma generování ubíhajících elektronů

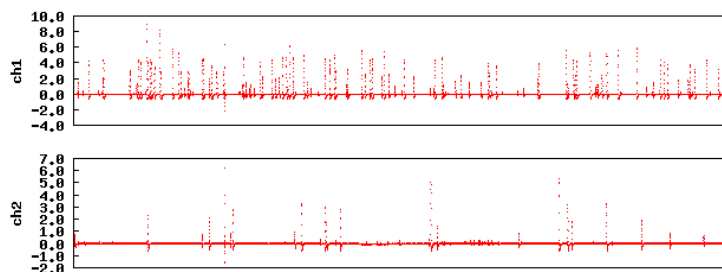


Obrázek 2: Princip scintilačního detektoru

násoben systémem dynod, jak je patrné z obrázku. Na anodě se vytvoří napěťový impuls jehož amplituda je úměrná dopadajícímu fotonu. Napěťový impuls se digitalizuje a výsledný signál se ukládá do databáze tokamaku GOLEM. Detektor byl umístěn vně tokamaku GOLEM blízko Mo-limiteru. Zde se předpokládá největší výskyt a intenzita tvrdého rentgenového záření.

3.2 Porovnání detektorů

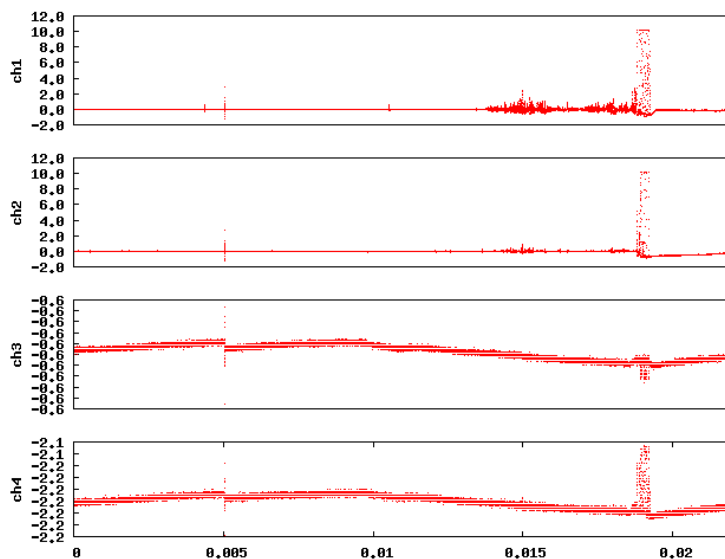
Porovnávali jsme dva typy scintilačních detektorů PHYWE a HAMAMATSU, na které byl přiložen radioaktivní zářič ^{137}Cs . Výsledné signály jsou porovnány na obrázku 3. Horní pa-



Obrázek 3: Graf nahoře znázorňuje fungující detektor. Graf dole znázorňuje nedostatečně fungující detektor. Měřeno je záření z ^{137}Cs

nel znázorňuje signál z detektor PHYWE, spodní z detektoru HAMAMATSU. Je zřejmé, že detektor HAMAMATSU je daleko méně citlivý, a proto jsme dále pracovali pouze s detektorem PHYWE. Z dat ukazovaných na horním grafu v obrázku 3 je možné scintilační detektor okalibrovat.

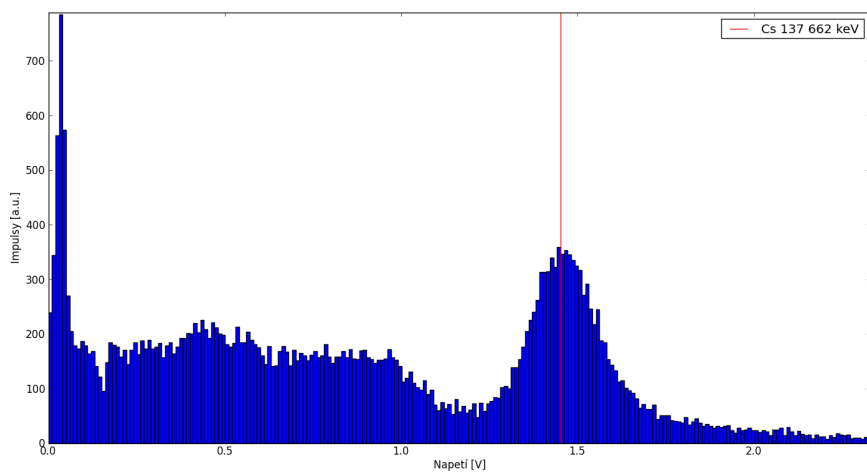
V obrázku 4 je ukázán rozdíl mezi detektory při měření rentgenů při plazmatickém výboji



Obrázek 4: Plazmatický výboj

3.3 Kalibrace

Kalibraci jsme provedli pomocí ^{137}Cs s urychlovacím napětím na fotonásobiči 400 V. Sběr dat trval po dobu čtyř sekund s frekvencí 1MHz. Pomocí histogramu jsme určili charakteristický peak 662 keV ... 1.45 V

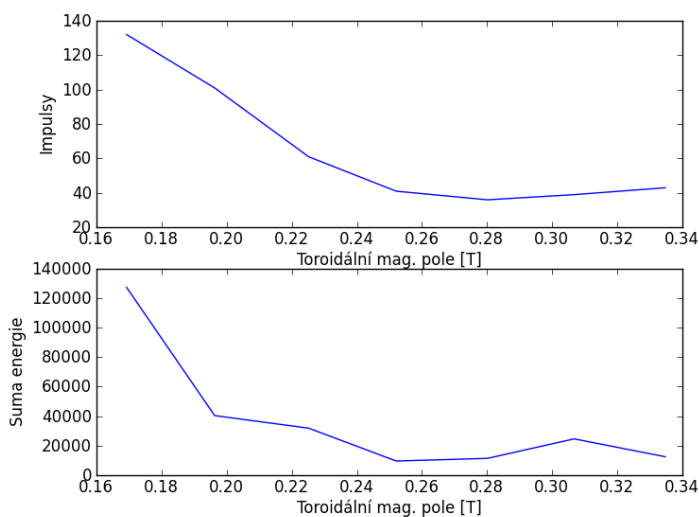


Obrázek 5: Histogram naměřených impulsů pro ^{137}Cs

4 Měření

4.1 Závislost množství tvrdých rentgenů na magnetickém poli

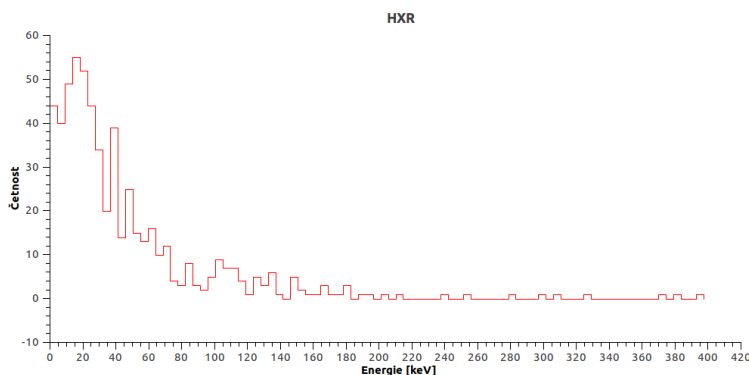
Nabíjecí napětí na kondenzátorech pro torodiální cívky jsme měnili po 100V. Začínali jsme na 600V a končili na 1200V. Výsledky jsou vidět v obrázku 6. Viditelný je pokles energie i počtu peaků s klesajícím mag. polem.



Obrázek 6: Závislost počtu naměřených peaků a sumě jejich energie na toroidálním mag. poli

4.2 Spektrum naměřených rentgenů

Spektrum v obrázku 7 ukazuje detekované rentgeny pro 4 téměř stejných výbojů¹ (výboje byly stejné, co se týče parametrů nabíjecích napětí pro kondenzátory). Největší peak odpovídá energii přibližně 18 keV, což je v oblasti charakteristického záření molybdenu.



Obrázek 7: Spektrum pro 4 stejné výboje

¹{

5 Diskuse

Naměřené hodnoty jsou nepřesné vlivem kosmického záření, další nepřesnosti mohou být způsobeny tzv. koincencí, kdy se sejdou dva fotony najednou a jejich energie se sečtou. V měření se pak projeví jako jeden velký peak.

Pokles rentgenového záření se zvyšujícím se mag. polem odporuje představě, že v silnějším mag. poli jsou ubíhající elektorny více urychleny a mají mít větší energii.

Záření z molybdenového limiteru by správně nemělo projít ocelovou komorou a cívkami. Navíc napětí odpovídající této energii se už pohybuje v rozmezí šumu.

6 Závěr

Naše měření odhalila vadný detektor a tím jsme zabránili dalším chybným výsledkům.

Vyvinuté algoritmy budou integrovány do automatického systému analýzy dat.

Těž byla vytvořena hypotéza o závislosti vzniku tvrdých rentgenových paprsků na napětí v toroidálních cívkách a tudíž i síle elektromagnetického pole. Ta však díky výše zmíněným nedostatkům, tj. koincidence a jev “druhého průrazu”, ve kterém se možná vyzářily všechny vysokoenergetické elektrony, vyžaduje další měření a hlubší analýzu dat.

Detekce charakteristického záření molybdenu může být přezkoumána, pokud detektor bude přesunut před skleněnou přírubu, která by měla méně tlumit záření.

7 Reference

- *Golem session: Mon Jun 18 10:35:53 CEST 2012* [online]. 2012 [cit. 2012-06-19]. Dostupné z: http://golem.fjfi.cvut.cz/tasks/Practica/TydenVedy/2012/180612_1035
- *Molybdenum* [online]. 2009 [cit. 2012-06-19]. Dostupné z:

http://xdb.lbl.gov/Section1/Periodic_Table/Mo_Web_data.htm