Základní informace o přístroji TPMU

Projekt má za cíl získání nových vědeckých dat k výzkumu chování tepelného plazmatu v blízkém okolí Země. Dalším cílem je konstukce moderního přístroje pro měření tohoto prostředí na palubě umělých družic. Pro tento účel byla navržena a realizována aparatura pro měření teplotního plazmatu (Thermal Plasma Measurement Unit - TPMU). Obsahuje analyzátor s brzdným potenciálem (RPA) a radiofrekvenční čidla v jednom mechanickém bloku spolu s blokem elektroniky. Přístroj byl konstruován pro družici PROBA 2 a lze jej upravit i pro použití na jiných satelitech.

Parametry tepelného plazmatu jsou velmi důležité pro ohodnocení elektromagnetických vln šířících se v horní ionosféře a plazmasféře Země (signály GPS, elektromagnetické emise přírodního původu jako např. hvizdy atd.) a pro interpretaci jiných měření. Přístroj také umožňuje měření potenciálu těla družice, což je důležité pro určení ostatních současně měřených fyzikálních parametrů. Obdobný přístroj byl úspěšně použit na družicích MAGION. Nyní byl přepracován tak, aby splnil dnešní požadavky na přístroj pracující v kosmickém prostředí. Data získaná přístrojem budou použita ke studiu procesů v tepelném plazmatu a po akumulaci dostatečného množství dat též pro konstrukci a zlepšení empirických modelů, zejména vytvoření nového globálního modelu ve výšce dané oběžnou dráhou družice. Náš tým již v předchozích letech na základě dat družic MAGION vytvořil globální modely elektronové teploty a iontových koncentrací, které se staly součástí mezinárodního modelu referenční ionosféry IRI (International Reference Ionosphrere)[1] . Nová data umožní jich další validaci a případně zpřesnění, zvláště pro období lokálních časů východu a západu Slunce. TPMU spolu s přístrojem DSLP (Dual Segmented Langmuir Probe), který měří podobné parametry odlišnou metodou a ve větší vzdálenosti od těla družice, tvoří ojedinělou kombinaci přístrojů, která umožní komplexní měření okolního prostoru a též vzájemnou kontrolou správnosti naměřených údajů. Druhým důležitým cílem je ověření nového zapojení elektronických obvodů přístroje a jeho chování v podmínkách kosmického prostoru, které je potřebné pro použití přístroje v budoucích družicových projektech.

Iontové měření je založeno na analyzátoru s brzdným potenciálem a používá rovinné čidlo, které obsahuje soustavu vnitřních elektrod. Na elektrody se postupně přivádí zvyšující se kladné napětí, které brzdí proud iontů z okolního plazmatu. Na sběrnou elektrodu se tak dostanou pouze ionty s určitou energií. Ze závislosti iontového proudu na přiloženém napětí pak lze odvodit velikost celkové koncentrace iontů Ni, jejich teplotu Ti a jejich přibližné složení (lze rozlišit ionty kyslíku, vodíku a helia). Měření teploty elektronů využívá čidlo jiného typu a vysokofrekvenční metodu měření. Na elektrody čidla se přivádí pulzy vysokofrekvenčního signálu s kmitočtem zhruba 50kHz. Amplituda signálu se řídí tak, aby se výstupní napětí udržovalo na kontantní úrovni. Z velikosti této amplitudy se pak odvozuje hodnota elektronové teploty. Při této metodě měření a výpočtu elektronové teploty se předpokládá Maxwellovo rozdělení rychlosti elektronů. Stejný typ čidla se používá i pro stanovení plovoucího potenciálu družice.

Rozsahy měření:

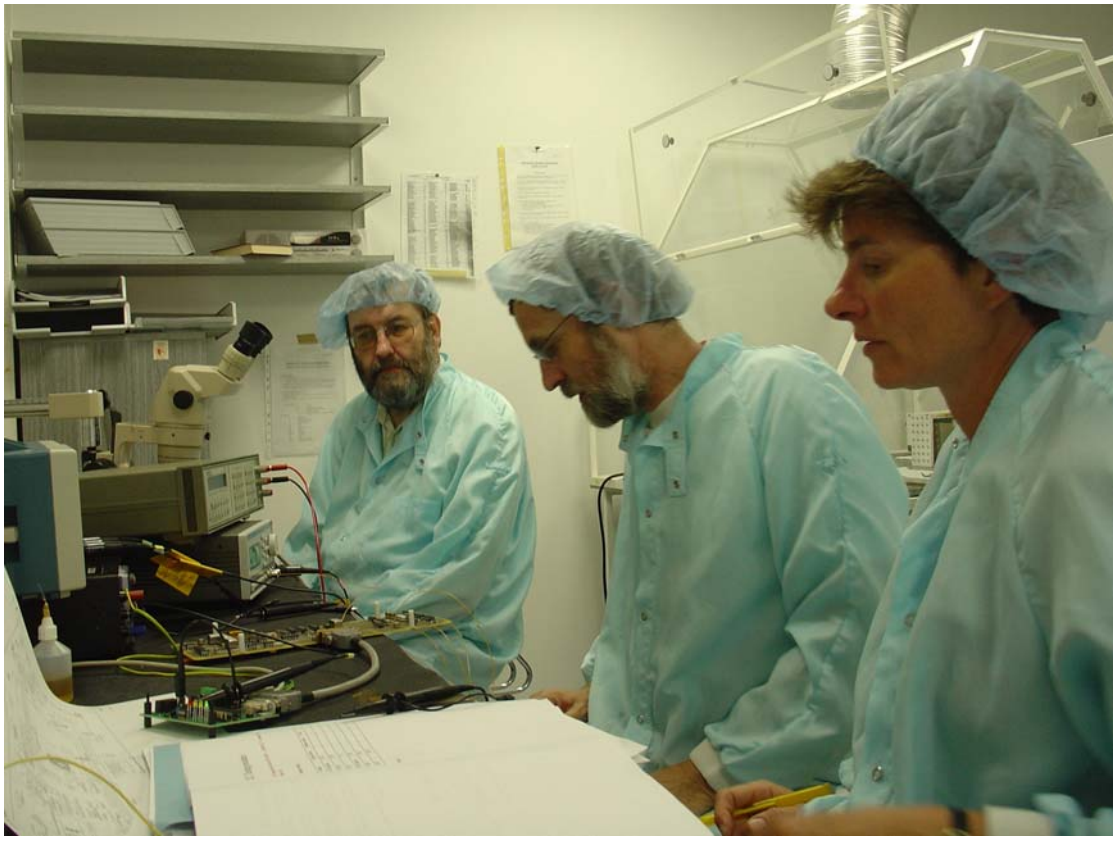
Celková hustota iontů:	$2.10^7 – 8.10^{12}$ m^{-3}
Teplota elektronů:	800 – 20000 K
Teplota iontů:	800 – 10000 K
Plovoucí potenciál družice:	±12 V

Přístroj TPMU je umístěn ve skříňce z hliníkové slitiny spolu s elektronikou přístroje DSLP. Oba přístroje mají společnou výpočetní jednotku (DPU), napájecí a komunikační obvody.

Přístroj TPMU byl navržen v rámci programu PRODEX v roce 2002 a schválen v roce 2003. Projekt byl plánován na 3 roky jako stavba samostatného přístroje a prodloužen do konce roku 2008 vzhledem ke zpoždění startu družice PROBA 2. Od roku 2004 byl vyvíjen jako mechanicky jedna jednotka spolu s přístrojem DSLP. Toto řešení snížilo pracnost a náklady na oba přístroje i integraci do družice. Letová verze přístroje byla odevzdána koncem roku 2006 do firmy Verhaert, kde proběhla integrace a předletové zkoušky. Letový vzor přístroje byl vyroben ve spolupráci s firmou Czech Space Research Centre (CSRC) v Brně. Během roku 2008 proběhly závěrečné zkoušky a kontrola a vyhodnocení získaných dat. Byla též připravena první verze plánu pro testování přístroje po startu a pravidelný provoz na oběžné dráze. Pro archivaci surových i zpracovaných dat bylo zřízeno úložiště se zálohovanou kapacitou 1,5TB.

Úspěšný start družice PROBA 2 proběhl časně ráno 2. listopadu 2009. Nosnou raketou Rokot byla současně vynesena na dráhu ve výšce 700km i vědecká družice SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity mission) pro výzkum vlhkosti půdy a slanosti vody v oceánech. Družice PROBA 2 byla vyrobena v belgické firmě Verhaert Space v rámci programu GSTP (General Support Technology Programme) Evropské kosmické agentury ESA. Tento program slouží pro ověřování nových kosmických přístrojů a technologií v podmínkách kosmického prostoru. PROBA 2 nese celkem 14 takových experimentů a 4 vědecké přístroje. Dva z nich LYRA (Lyman Alpha Radiometer) a SWOP (Sun Watcher using APs detectors) jsou určeny pro výzkum zaření Slunce, dva české přístroje pak pro studium plazmatu v okolí družice. Družice je od dubna 2010 v plném provozu. Experimenty s přístroji umístěnými na palubě družice probíhají podle letového plánu, který je vypracován zpravidla na období tří měsíců a mění se operativně na základě požadavků vědeckých týmů. Přístroje DSLP a TPMU jsou zapínány v pravidelných intervalech a přijatá data se průběžně zpracovávají.

Obr.1. Přístroj TPMU v letovém provedení, rovinná čidla jsou umístěna na horní straně přístroje, konektory pro připojení do telemetrického systému družice a připojení čidel DSLP jsou na přední boční straně.



Obr.2. Pracovníci Ústavu fyziky atmosféry při oživování letového vzoru přístroje TMPU na pracovišti CSRC v Kroměříži.

(1) http://iri.gsfc.nasa.gov/