

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST 2009/2010

Obor 2 – Fyzika

Gama záblesky

Lukáš Fajt

Pardubice 2010

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST 2009/2010

Obor 2 – Fyzika

Gama záblesky

Gamma-ray bursts

Autor: Lukáš Fajt

Škola: Gymnázium Pardubice, Dašická 1083

Konzultant: RNDr. Vladimír Vícha

Pardubice 2010

1. Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Vladimíra Víchy, použil jsem pouze informační zdroje (literaturu, internetové stránky) citované v práci a uvedené v příloženém seznamu.

Postup při zpracování práce je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Pardubicích dne

Podpis autora:

2. Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kdo mi s prací na projektu pomáhají. Především panu RNDr. Vladimíru Víchovi za nedocenitelné nápady a připomínky, stejně jako za čas a podporu, které mi věnuje. Bez jeho usilovné práce bych nikdy nenašel cestu k fyzice a ani dost odvahy k vypracování podobného projektu a za to jsem mu velmi vděčný.

Děkuji také Ivovi Skalickému za programátorské rady a za zodpovězení dotazů týkajících se programu Pascal, které mi pomohly rychle vyřešit většinu problémů a umožnily posunout projekt o velký kus dál.

3. Anotace

Tato práce popisuje můj přínos ve výzkumu gama záblesků (dále jen GRB), které díky své tajuplnosti stojí v popředí zájmu astrofyziků na celém světě. Cílem této práce je potvrzení hypotézy, že GRB s sebou nesou gama fotony o dostatečně velkých energiích (alespoň 100 TeV), což by umožnilo pozemní detekci sekundárních spršek, které fotony způsobí svou reakcí s atmosférou, na měřících stanicích podobných projektu CZELTA. K tomuto účelu jsem použil tento druh měřící aparatury, který je umístěn na střeše našeho gymnázia.

První část se zabývá úvodem do tematiky GRB, jejich historií a popisuje způsoby detekce GRB. V další části je detailně popsán postup veškeré práce předcházející sepsání programu využívaného k analýze GRB zahrnující výpočet podstatných údajů o poloze a orientaci stanice CZELTA a nalezení optimálních hodnot vstupních parametrů, s kterými je výzkum prováděn. Třetí část obsahuje podrobný popis mnou vytvořeného programu, který slouží k dlouhodobější analýze dat, a dosavadní výsledky, kterých bylo pomocí programu dosaženo. Na závěr se věnuji přínosu a výhodám mého programu a dalšímu možnému pokračování a rozšiřování výzkumu GRB.

4. Klíčová slova

CZELTA, GRB, kosmické záření, BeppoSAX, Soft Gamma Ray Repeaters, BATSE, detekce gama záblesků

5. Obsah

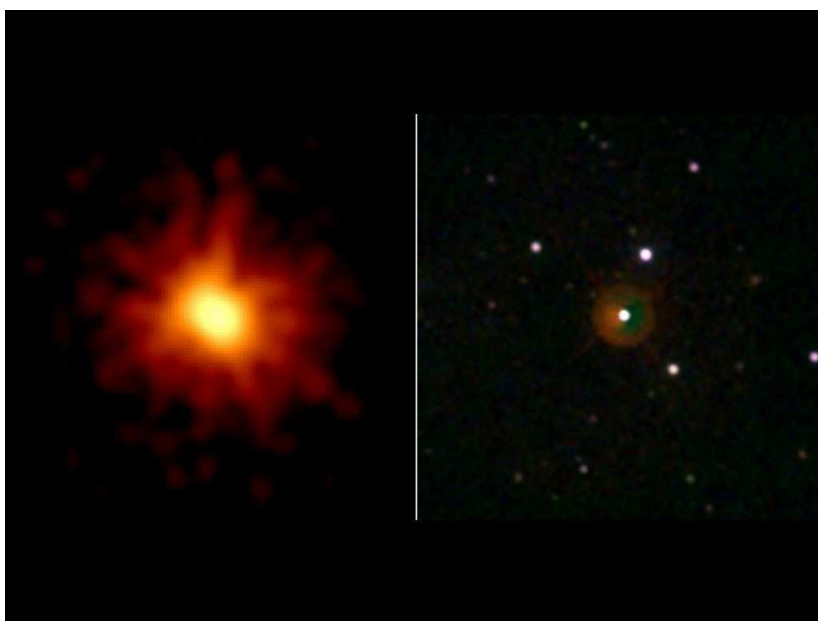
1.	Prohlášení.....	2
2.	Poděkování.....	3
3.	Anotace	4
4.	Klíčová slova	4
5.	Obsah	5
6.	Úvod	6
6.1	Historie	6
6.2	Charakteristika.....	7
6.3	Teorie vzniku.....	8
6.4	Projekty detekce GRB	9
6.5	Oficiální data o GRB	10
7.	Postup výzkumu	11
7.1	Princip výzkumu.....	11
7.2	CZELTA	11
7.3	Výpočet relativních vzdáleností detektorů.....	12
7.4	Vliv aproximace tvaru Země na přesnost přepočtu souřadnic GRB	13
8.	Program pro analýzu	15
8.1	Postup tvorby programu.....	15
8.2	Vyloučení prvotní hypotézy.....	15
8.3	Časové okno.....	15
8.4	Úhlový rozdíl.....	16
8.5	Množství GRB.....	17
8.6	Průběh Analýzy	17
8.6.1	Transformace rovníkových souřadnic do souřadnic obzorníkových.....	18
8.6.2	Porovnání se sekundárními sprškami	19
8.6.3	Výpočet pravděpodobnosti.....	19
8.7	Nalezené GRB	22
9.	Závěr	23
10.	Zdroje informací.....	24
11.	Seznam obrázků	25
12.	Seznam příloh	25
13.	Přílohy	26
14.	Zdrojový kód programu.....	27

6. Úvod

V této části bych chtěl uvést historický vývoj, který umístil gama záblesky do povědomí vědců a zapříčinil velmi rozsáhlý výzkum, který je GRB věnován. Dále chci uvést informace, které jsou doposud o gama záblescích známé, i ty, které jsou z velké části pouze v rovině teoretické.

6.1 Historie

Počátky objevu gama záblesků sahají až do období studené války, kdy v letech 1963-1965 vyslaly Spojené státy americké do kosmického prostoru 3 dvojice špionážních družic Vela, které měly detekovat možné zkoušky sovětských jaderných zbraní. Na konci 60. let opravdu došlo k detekci výbuchů o obrovských energiích, avšak o jaderné zbraně se nejednalo, tyto záblesky byly kosmického původu (příloha.1). Americká armáda tyto informace tajila až do roku 1973, kdy naměřená data poskytla ke studiu vědcům, kteří do té doby o podobných jevech neměli tušení. O to víc se poté věnovali následnému výzkumu, který se intenzivně snažil popsat mechanismus vzniku gama fotonů o tak vysokých energiích. Pomocí družic nebyl problém určovat přesný čas příchodu GRB, avšak s určením směru příchodu to již tak lehké nebylo, pro gama záření totiž neexistují dalekohledy podobné těm pro viditelné světlo. Elektromagnetické záření takovýchto energií se nedá soustředit čočkami ani odrážet zrcadly. Směry příchodu byly určovány z rozdílů časů zasažení jednotlivých detektorů, k určení polohy byly zapotřebí minimálně 4 družice nebo jedna družice se 4 detektory. Z počátku určování polohy nebylo příliš přesné a předání zjištěných dat pozemním observatořím se pohybovala v řádech dnů. Pro další rozvoj výzkumu bylo zapotřebí zpřesnit získanou polohu a zrychlit poskytování dat. V dnešní době stačí k detekci pouze jeden detektor, který se skládá z několika aktivních vrstev, které částice detekují. Z míst průletu, lze pak určit přichodí směr s vysokou přesností.



Obrázek 1 – Oblouha při a před GRB [3]

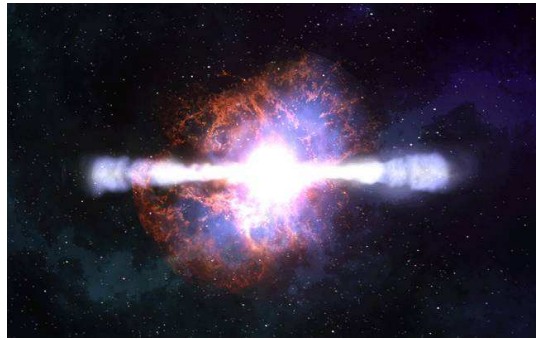
Místo výbuchu nejjasnějšího gama záblesku

západ 19. března 2008 ráno

Obrázek 2 – Umístění GRB na noční obloze [3]

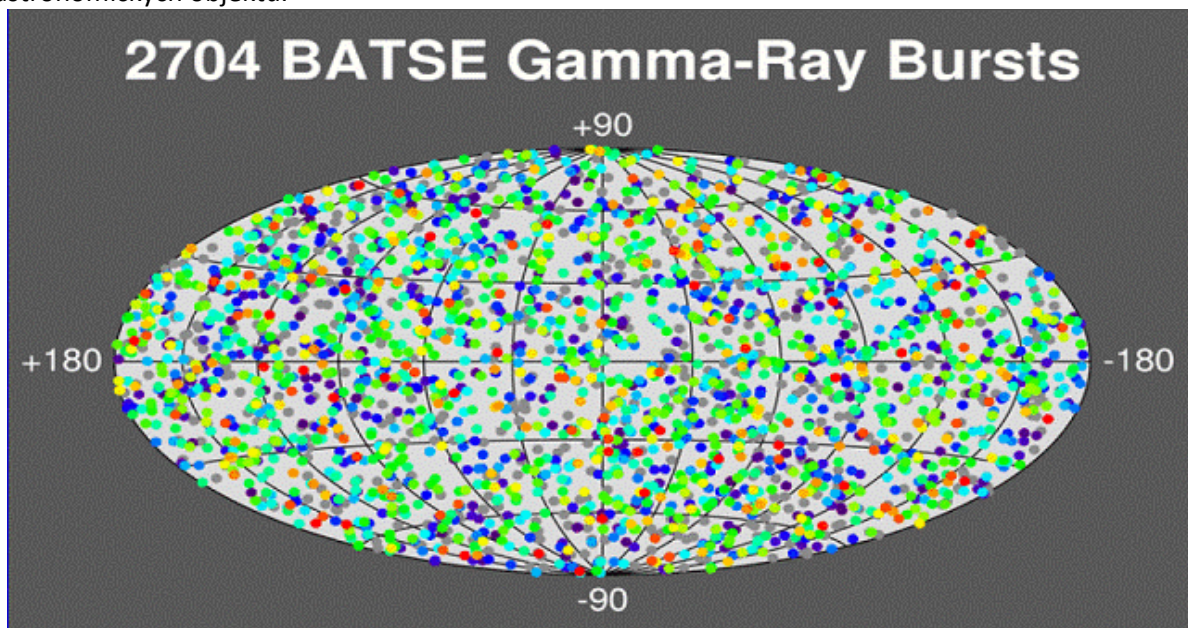
6.2 Charakteristika

Gamma ray bursts (GRB) jsou náhlá vzplanutí v oboru gama, které trvají od několika milisekund až po stovky sekund, přičemž dosvit může být vidět až několik dní, nejčastěji doprovázejí závěr života hvězdy. Gama záblesky dosahují enormních energií, tato energie je při výbuchu směřována do úzkého svazku, neboli jetu, proto se nám pozorovaný GRB jeví tak jasný. Jsou schopny na krátké okamžiky překonat svítivost celé galaxie Mléčné dráhy, kde je přibližně 10^{11} hvězd. Pozemní detekce gama fotonů není



Obrázek 4 - Umělecké ztvárnění možného vzniku GRB [3]

možná, protože fotony přicházející při záblesku jsou odstíněny zemskou atmosférou, proto jsme odkázáni na detekční stanice umístěné na orbitě. Tyto stanice detekují průměrně okolo 3 gama záblesků za den. Rozložení gama záblesků je na obloze izotropní, a tudíž vylučuje možnost vzniku v naší galaxii. GRB vznikají v obrovských vzdálenostech od Země, jsou pozorované i gama záblesky až od hranic pozorovatelného vesmíru, a tudíž musí vznikat při jedněch z nejenergetičtějších procesů v celém vesmíru. Doposud nejvzdálenější GRB, který byl detekován, pochází ze vzdálenosti 13 miliard světelných let a odehrál se v době, kdy byl vesmír starý pouhých 630 milionů let (obr.2). Gama záblesky stojí v popředí výzkumu moderní astronomie, neboť každý GRB s sebou nese cenné informace. Při rozložení světla na spektrum lze zjistit například teplotu zdroje, složení prachu v místě gama záblesku. Vzdálenost zdroje je možné určit z rudého posuvu. Umožňují nám také zjistit důležitá fakta a vlastnosti o prostředí, kterým gama záblesk při svém putování prošel. Záblesky nejsou viditelné jen v oboru gama, ale i v rentgenovém, ultrafialovém, viditelném, infračerveném i radiovém oboru, v případě nalezení některého z protějšků mluvíme o dosvitu (afterglow). Až díky pozorování ve viditelném oboru bylo možné zjistit vzdálenost zdrojů. Prozatím se předpokládá vícero druhů gama záření, krátkodobé záření, které je nižších energií, a záření dlouhodobé, které je nejspíše produkováno kolapsem extrémně hmotných hvězd, oba druhy jsou produkovány dvěma různými typy astronomických objektů.



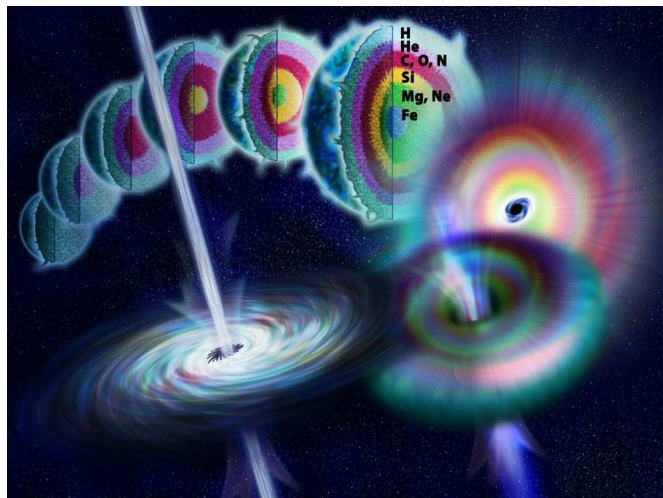
Obrázek 3 - Zobrazení izotropního rozložení poloh GRB. Tento obrázek vylučuje vznik GRB v naší galaxii [3]

6.3 Teorie vzniku

Je známo mnoho procesů, při kterých vznikají gama fotony o velmi vysokých energiích, a jejich znalost je důležitá pro pochopení toho, jak gama záblesky vznikají. Mezi ty základní patří :

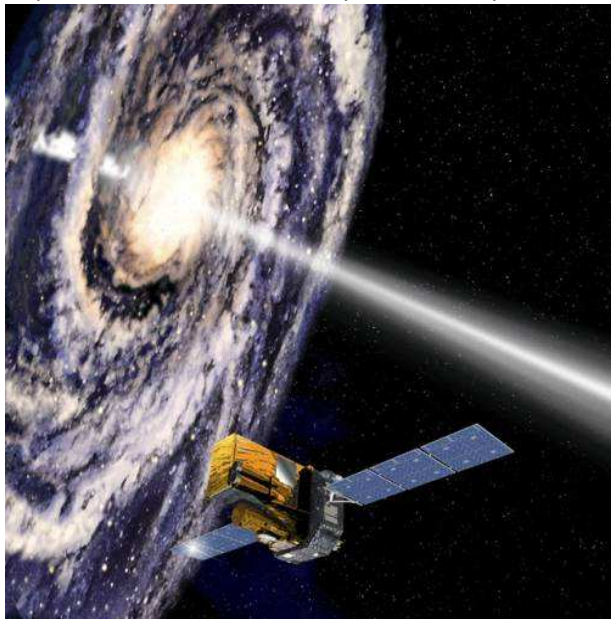
- radioaktivní přeměna (rozpad) gama, kdy dochází k vyzáření nadbytečné energie z jádra v podobě fotonu
- rozpad elementárních částic
- produkce brzděného záření v případě, že se nabitá částice pohybuje se zrychlením
- při anihilaci částice a antičástice
- inverzní Comptonův rozptyl, kdy elektron může předat značnou část své energie fotonu
- tepelné vyzařování objektu při extrémně vysoké teplotě

S dlouhodobými GRB se nejčastěji spojuje výbuch extrémně hmotných hvězd. Nejčastěji označovanými viníky těchto gama záblesků jsou exploze supernovy, nebo exploze hypernovy, při které dochází ke gravitačnímu kolapsu rychle rotující masivní hvězdy za vzniku černé díry doprovázeného uvolněním obrovského množství energie ve dvou výtryscích, tzv. jetech. Tato teorie byla v roce 2003 podpořena dalekohledy ESA, které naměřily podobnou povahu přicházejícího světla jako má světlo hypernovy.



Obrázek 5 - Umělecké ztvárnění vzniku GRB [3]

Krátkodobé gama záblesky jsou prozatím spojovány se splynutím dvou kompaktních útvarů, například neutronové hvězdy a černé díry. Jeden z modelů pracuje s neutronovou dvojhvězdou, která



Obrázek 6 - Umělecké ztvárnění vzniku GRB [3]

při své rotaci vyzařuje gravitační vlny, tím ztrácí moment hybnosti a při splynutí těchto dvou hvězd dojde k uvolnění enormního množství energie. V roce 2005 dalekohledy ESA prvně detekovaly optický dosvit přicházející po krátkém gama záblesku a vyvrátily možnost vzniku výbuchem hypernovy [17].

Ve spojení s gama záblesky se ještě hovoří o Soft Gamma Repeaters (SGR), neboli zdrojích, ze kterých bylo pozorováno více záblesků gama v měkkém RTG. Tyto GRB se vyznačují nízkými energiemi a předpokládáný vznik je spojován s magnetary, rychle rotující neutronové hvězdy s neobvykle vysokým magnetickým polem.

6.4 Projekty detekce GRB

Swift – jedinečná observatoř pod správou NASA, která byla na oběžnou dráhu vynesena 20. Listopadu 2004 (obr.3). Na rozdíl od ostatních detekčních stanic, kde je detekce GRB pouze druhotným úkolem, je družice Swift specializována na GRB, čemuž odpovídá i její technické vybavení, Burst Alert Telescope (BAT), který slouží k lokalizaci záblesků, rentgenový teleskop (XRT), který slouží k následnému pozorování, a ultrafialově-optický teleskop (UVOT). Již sekundy po detekci záblesku je schopna předat souřadnice a informace specifikující jednotlivé záblesky pozemským observatořím, které mohou zaměřit dalekohledy na určenou polohu a hledat případný optický protějšek. Přesnost určení polohy GRB se pohybuje v řádu úhlových vteřin.



Obrázek 7 - Družice Swift [3]

Firefly – speciální plánovaný typ satelitu (obr.8), který by se jako první v historii měl věnovat gama zábleskům pocházejícím z atmosféry Země, které by měly mít spojitost s nově objeveným typem blesků [16]. Palubní vybavení umožní sledování toku elektronů, gama záření, rádiových i optických vln.



Obrázek 8 - Družice Firefly [3]

INTEGRAL – cílem vyslání této družice na oběžnou dráhu byla detekce zvláště velkých gama záblesků a následná analýza jejich zdrojů (obr.9). Družice detekovala přibližně 1 gama záblesk za měsíc. Projektu INTEGRAL vedeného Evropskou kosmickou agenturou se účastnil i Astronomický ústav AV ČR.



Obrázek 9 - Družice INTEGRAL [6]

Compton – družice vypuštěná v dubnu 1991, na jejíž palubě se nacházela aparatura BATSE, která sice byla zatížena velkou chybou v určování polohy (až 7°), ale zato byla schopná postoupit získané informace pozemním observatořím ihned. Do roku 2000 detekovala 2700 záblesků a vyvrátila vznik GRB v sluneční soustavě (obr.4).

BeppoSax – zprovozněna v dubnu 1996. Poměrně vysoká přesnost určení polohy, v řádech úhlových minut, a navíc možnost použít její data na Zemi již po 2 hodinách od naměření. Umožnila nalezení prvního optického protějšku v dějinách.

Glast – plánovaná observatoř s mezinárodní spoluprací. Schopnost detekovat záření v rozsahu 8 KeV až 300 GeV. Detekci bude zajišťovat dvojice přístrojů, Large Area Telescope (LAT),

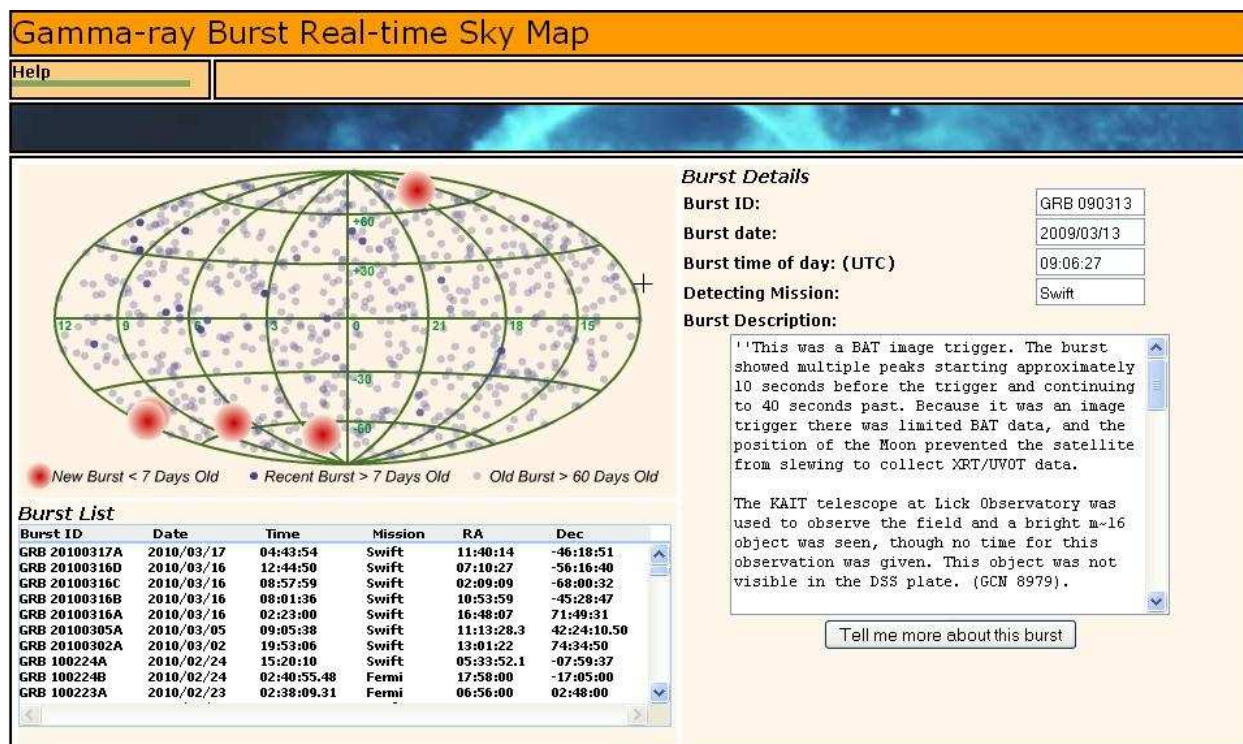
kteřý v daný moment pokrývá 20% oblohy a je 30x citlivější než jakýkoliv jiný přístroj v oboru gama zářeni, a GLAST Burst monitor (GMB), který bude výlučně zaměřen na záblesky gama.

6.5 Oficiální data o GRB

Při své práci jsem potřeboval seznam již detekovaných GRB, které bych podrobil analýze pomocí mého programu. Podobný seznam jsem našel na stránce <http://grb.sonoma.edu/> [10], kde jsou volně přístupná data o gama záblescích (obr.10) z družic Swift, Fermi, INTEGRAL a HETE-2. Každý GRB má své speciální označení, začíná zkratkou GRB a následuje šestimístné číslo vytvořené z data, ve kterém došlo k detekci. První dvojčíslí zastupuje poslední dvě číslice roku, druhé dvojčíslí představuje měsíc a poslední udává den v měsíci. Celé označení uzavírá písmeno, které určuje pořadí záblesku v daném dni. Název GRB 100316C označuje třetí zaznamenaný záblesk 16.3.2010. U každého GRB, také můžeme zjistit přesný čas detekce, jméno družice, která detekci provedla, a deklinaci a rektascenzi polohy na obloze. U některých GRB lze nalézt i podrobnější informace ohledně pozorování dosvitů, hodnotě rudého posuvu, závislosti energie na čase, magnitudě a o délce trvání. Tyto podrobnější informace by v delším časovém horizontu mohly sloužit k vytvoření skupin GRB na základě konkrétních odlišností a mohlo by se přistupovat k výzkumu jednotlivých skupin.

Takto vypadají jednotlivé záznamy GRB :

Název GRB	Datum	Čas	Stanice	REK	DEK
GRB 20100316A	2010/03/16	13:37:41	Swift	22:01:01	-52:12:09
GRB 20100302A	2010/03/02	19:53:06	Swift	13:01:22	74:34:50
GRB 20100205A	2010/02/05	04:18:43	Swift	09:25:37	31:44:21



Obrázek 10 - Webové stránky GRB záblesků, z kterých čerpám data pro můj výzkum [10]

7. Postup výzkumu

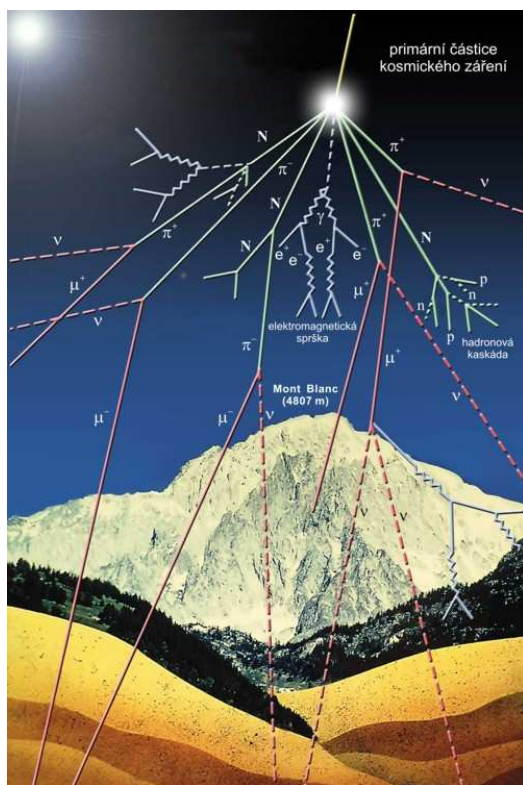
Zde bych chtěl nastínit postup své práce, myšlenkové postupy a princip celého výzkumu, který spojuje dvě záhady moderní astronomie a mohl by být prvního svého druhu v tomto rozsahu.

7.1 Princip výzkumu

Mou snahou bylo potvrzení či vyvrácení hypotézy:

GRB vyvolávají sekundární spršky detekovatelné na stanicích CZELTA. To znamená, že fotony emitované při GRB dosahují energií vyšších než 100 TeV.

Stanice CZELTA jsou uzpůsobeny pro detekci sekundárního kosmického záření, které je převážně způsobováno protony (přes 90%), dále atomovými jádry a nepatrně také gama fotony. Tyto fotony jsou z hlediska výzkumu zajímavé tím, že nejsou vychylovány magnetickými poli galaxií. Prozatím nebyla prokázána spojitost mezi GRB a sekundárními sprškami detekovanými stanicemi CZELTA, v tomto ohledu se jedná o prvotní výzkum tohoto typu. Snažil jsem se o nalezení sekundárních spršek, které by časově i úhlově odpovídaly gama zábleskům a tudíž by mohly potvrdit vznik sekundární spršky i u gama záblesků.



Obrázek 11 - Schéma vzniku sekundární spršky [7]

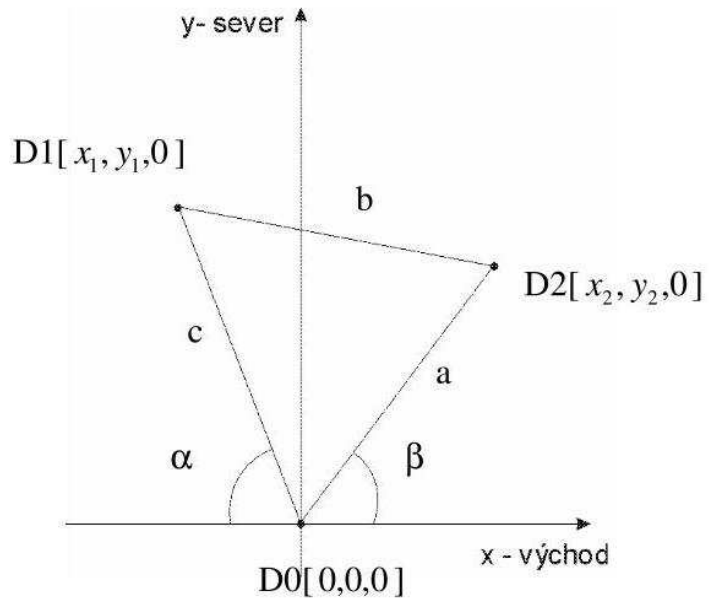
7.2 CZELTA

Projekt zabývající se detekcí kosmického záření (obr.11). Cílem projektu je vytvoření rozsáhlé sítě detekčních stanic, která by byla schopna detekovat kosmické záření různých energetických řádů a detekce prozatím neznámých jevů. Stanice jsou umísťovány především na střední školy, aby studenti mohli okusit část opravdového vědeckého výzkumu.

Detekční stanice se skládá ze tří scintilačních detektorů, vyhodnocovací elektroniky a GPS přijímače pro přesný záznam času UTC, který následovně využívám pro porovnávání s GRB. Celý princip měřící aparatury spočívá v zasažení všech tří scintilačních detektorů sekundární sprškou s téměř rovinným čelem. Z rozdílů časů jednotlivých zásahů detektorů a známosti vzdáleností detektorů, které se budu věnovat v další části, lze zpětně spočítat souřadnice příchozího směru. Tyto azimutální souřadnice lze posléze transformovat i do rovníkových souřadnic, které používám pro výpočet úhlové vzdálenosti GRB a spršky na obloze.

7.3 Výpočet relativních vzdáleností detektorů

Jelikož se sekundární spršky pohybují téměř rychlostí světla, je na stanici CZELTA kladen velký důraz na přesnost všech parametrů, které vystupují ve výpočtech. Jedním z těchto parametrů je relativní vzdálenost mezi jednotlivými detektory (obr.12), jakožto dráha, kterou musí sprška putující rychlostí světla urazit. Abychom dodrželi co nejvyšší přesnost, dochází k zaměření detektorů pomocí diferenciální GPS, která určí polohu s přesností stotisícin úhlových vteřin. Ze známých hodnot zeměpisné šířky a zeměpisné délky jednotlivých detektorů, jsem schopen dopočítat orientaci detektorů vůči severu a vzdálenosti detektorů. Tímto výpočtem jsem překontroloval vzdálenosti prozatím používané na naší stanici a dále jsem určil tyto vzdálenosti pro stanici umístěnou v Kladně. Výpočet jsem plně automatizoval (obr.13), takže v budoucnu je možné provést tento výpočet pro jakoukoli jinou stanici, která vznikne kdekoli na světě. Hodnoty vypočtené mým programem se od dosavadních hodnot lišily v řádu centimetrů.



Obrázek 12 - Orientace detektorů vůči severu a vzdálenosti detektorů



Obrázek 13 - Ukázka mnou vytvořeného programu na výpočet vzdáleností mezi detektory

Výpočet musí transformovat zadané zeměpisné souřadnice do relativních vzdáleností x_1, y_1 charakterizující detektor D1 a vzdáleností x_2, y_2 charakterizující D2 a následně do úhlů vypovídajících o orientaci trojúhelníku a do velikostí stran trojúhelníku. Výpočet zabývající se osou y je jednoduchý, stačí zjistit rozdíly zeměpisných šířek a ze znalosti poloměru Země zjistím, jaká část obvodu náleží

získanému úhlu. U výpočtů zabývajících se osou x jde o velmi podobný případ, avšak poloměr kružnice potřebné pro výpočet se bude lišit pro různé zeměpisné šířky. Tento poloměr lze získat použitím funkce kosinus.

Vstupní hodnoty:

D0 : lat. 50 02 9,48846 N, lon. 15 47 22,04649 E

D1 : lat. 50 02 9,80786 N, lon. 15 47 21,95535 E

D2 : lat. 50 02 9,67093 N, lon. 15 47 22,43190 E

Výsledné vypočtené hodnoty:

$a = 9.509 \text{ m}$

$c = 10.041 \text{ m}$

$\alpha = 79.6^\circ$

$\beta = 36.4^\circ$

$x_1 = -1.810 \text{ m}$

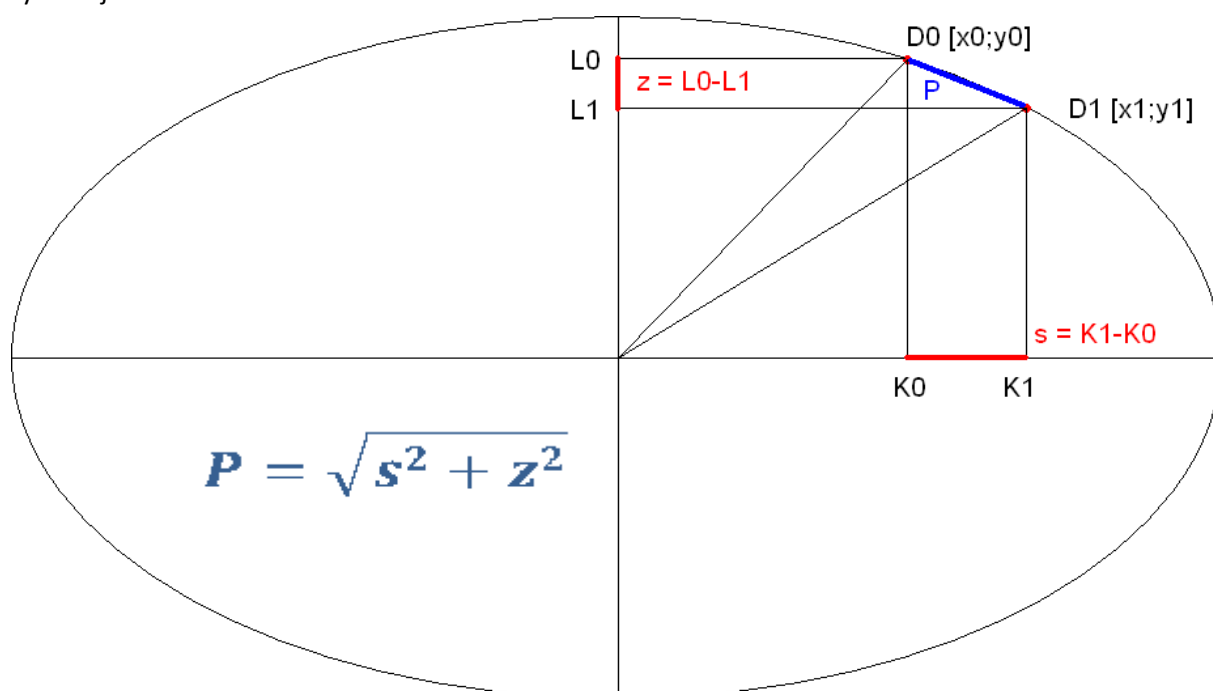
$y_1 = 9.876 \text{ m}$

$x_2 = 7.655 \text{ m}$

$y_2 = 5.642 \text{ m}$

7.4 Vliv aproximace tvaru Země na přesnost přepočtu souřadnic GRB

V předchozím případě určování relativních vzdáleností jsou vzdálenosti počítány s předpokladem, že Země je dokonalá koule o poloměru *R*. Mě zajímalo, do jaké míry ovlivní výsledné hodnoty varianta, která bude Zemi považovat za rotační elipsoid, a tím se více přiblíží skutečnosti. Velikosti vzdáleností vztahující se k ose x neboli pracující se zeměpisnou délkou by se měly změnit pouze minimálně a to na základě jiného poloměru, který pro danou zeměpisnou délku vyjde, avšak změny velikostí vzdáleností vztahujících se k ose y neboli pracující se zeměpisnou šířkou by měly být výraznější.



Obrázek 14 - Znárodnění výpočtu zohledňujícího Zemi jako rotační elipsoid

Vycházím z rovnice elipsy umístěné v počátku soustavy souřadnic, jejíž vzorec je:

$$\left(\frac{K}{a}\right)^2 + \left(\frac{L}{b}\right)^2 = 1$$

a z rovnice pro přímku procházející počátkem, jejíž vzorec je:

$$L = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot K$$

Řešením soustavy těchto dvou rovnic získáme průsečík polopřímky a elipsy:

$$K = \frac{a \cdot b}{\sqrt{b^2 + \operatorname{tg}^2(\alpha) \cdot a^2}}$$

Díky tomuto vzorci jsem schopen pomocí hlavní a vedlejší poloosy elipsy a zeměpisné šířky schopen spočítat souřadnice K a L jednotlivých detektorů a pomocí Pythagorovy věty dopočítat jejich vzdálenost na ose y .

Ze stejných vstupních hodnot použitých v prvním případě mi vyšly tyto údaje:

$$\begin{aligned} a &= 9.491 \text{ m} \\ c &= 10.021 \text{ m} \\ \alpha &= 79.6^\circ \\ \beta &= 36.4^\circ \\ x_1 &= -1.807 \text{ m} \\ y_1 &= 9.857 \text{ m} \\ x_2 &= 7.640 \text{ m} \\ y_2 &= 5.631 \text{ m} \end{aligned}$$

Jak můžeme vidět, jedná se znovu pouze o odchylku v řádu centimetrů, která při určení polohy na obloze způsobuje odchylku v řádu setin stupně, a proto je přiblížení s dokonalou koulí dostatečné a není nutné používat rotační elipsoid.

V případě těchto výpočtů jsem zkoumal i možnost Země jako dokonalé koule, ale o poloměru R_1 , který vznikl jako průměr poloměru rovníkového a poloměru k pólu. Výsledné hodnoty byly opět v tolerované odchylce.

	Dosavadní výpočty	Koule o poloměru R	Rotační elipsoid	Koule o poloměru R_1^*
x_1 (m)	-1,811	-1,810	-1,807	-1,807
y_1 (m)	9,869	9,876	9,857	9,860
x_2 (m)	7,672	7,655	7,640	7,642
y_2 (m)	5,636	5,642	5,631	5,633
h (°)	74,365	74,373	74,342	74,347
A (°)	342,442	342,381	342,380	342,381
* $R_1 = (R(\text{rovníkový}) + R(\text{polární}))/2$				

8. Program pro analýzu

Pro vytvoření korektních závěrů, které by mohly zvažovanou hypotézu potvrdit či vyvrátit, bylo potřeba zpracování obrovského množství dat. Jenom za rok 2009, který jsem podrobil detailní analýze, bylo zapotřebí pracovat s 237 gama záblesky a téměř 600 tisíci sekundárními sprškami, které byly detekovány pomocí měřící stanice CZELTA umístěné v Pardubicích. Zpracování velkého množství dat s sebou nese vysoké nároky na výpočty. V programech podobných Microsoft Excel, by analýza tak obsáhlého souboru dat nebyla možná a obzvláště u podobného výzkumu, který klade důraz na dlouhodobé sledování, by znemožňovala kontinuální práci. A proto jsem vytvořil počítačový program, který by měl řešit problém efektivního a rychlého zpracování takto velkých datových souborů. Výhodou mého programu je univerzálnost zpracování dat z vícera stanic umístěných na různých světadílech.

8.1 Postup tvorby programu

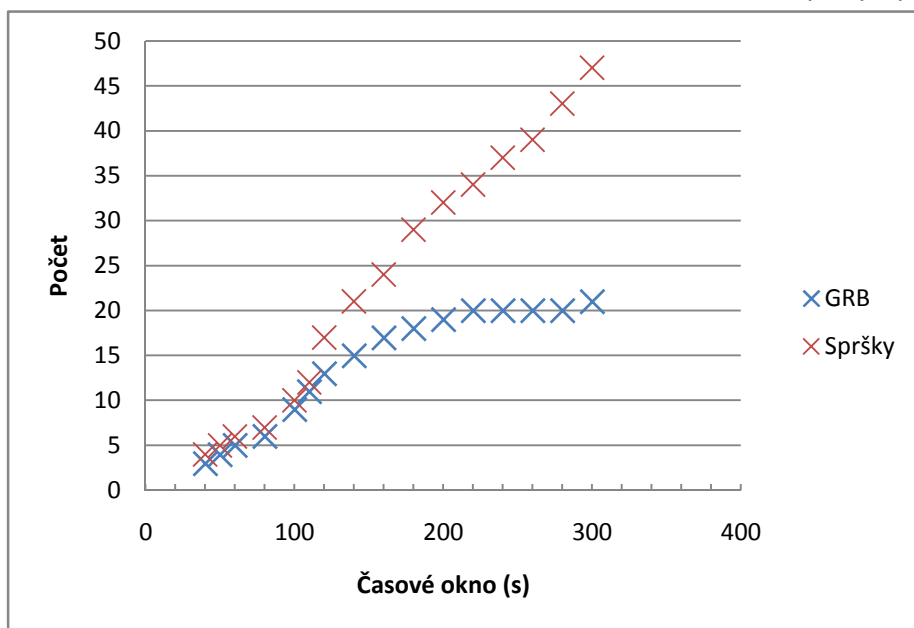
Na začátku jsem stál před rozhodnutím, v jakém programovacím jazyce bych měl svůj program napsat. Jelikož jsem nikdy předtím neprogramoval, zvolil jsem programovací jazyk Pascal, jakožto jeden z nejsnáze pochopitelných jazyků. Velkou výhodou pro mě byl i programovací seminář, který letos navštěvuji v mé škole, kde nás programovací jazyk Pascal učí. Za vývojové prostředí jsem zvolil FREE Pascal IDE, který vyniká svou jednoduchostí, ale zároveň disponuje dostatkem veškerých potřebných funkcí.

8.2 Vyloučení prvotní hypotézy

Již v počátku celého výzkumu jsem mohl vyloučit hypotézu, že každý gama záblesk, který nastane v pro mě příznivé době na mnou viditelné části oblohy, s sebou nese dostatečně energetické fotony a vytvoří sekundární spršku, která bude detekována. Tento závěr mě vedl k úpravě zkoumané hypotézy, že pouze některé GRB s sebou mohou nést hledané fotony.

8.3 Časové okno

Velikost časového okna, ve kterém budou sekundární spršky vyhledávány, je proměnná a

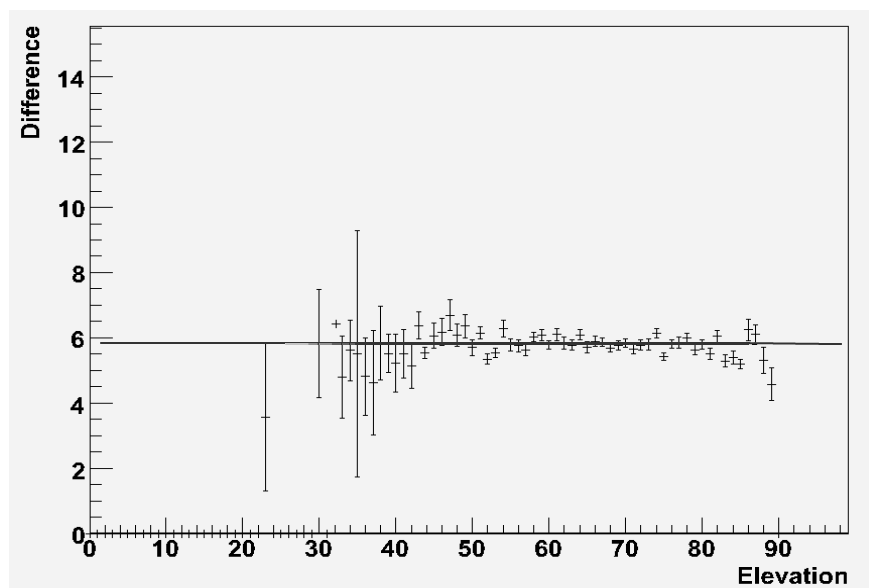


graf 1 - Závislost množství GRB a spršek na velikosti časového okna (Pardubice)

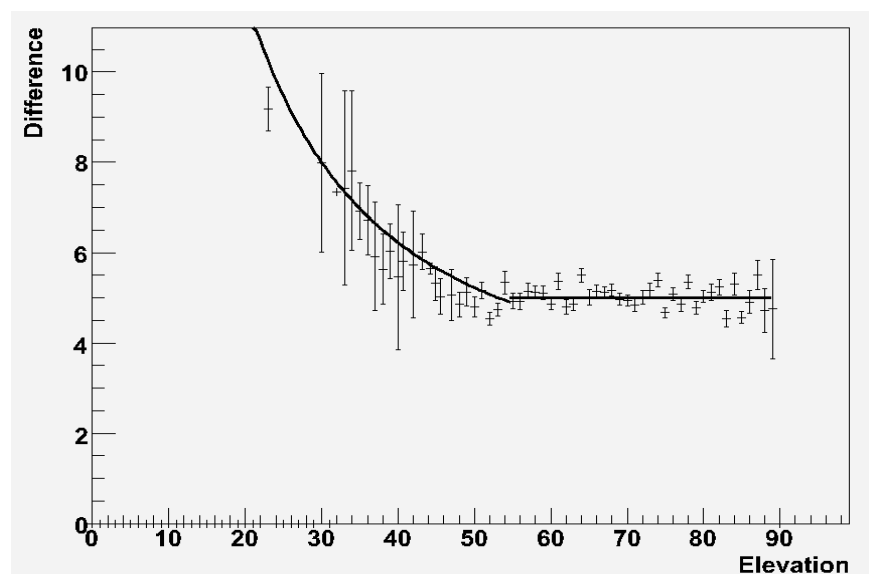
závisí pouze na požadavcích uživatele. Já všechny své výzkumy provádím s časovým oknem 60 s okolo GRB, tudíž 60 s před a 60 s po GRB. Velikost časového okna ovlivňuje nejenom množství pozitivních GRB, ke kterým byla nalezena alespoň jedna sprška, ale i samotný počet nalezených spršek u jednotlivých GRB.

8.4 Úhlový rozdíl

Maximální úhlový rozdíl na obloze, při kterém by ještě stále mohla být sekundární sprška způsobena GRB, je také volitelný na začátku celého programu. Pro tuto hodnotu však existuje doporučená hodnota, která vznikla pomocí simulací provedených Jakubem Čermákem v Ústavu technické a experimentální fyziky, prostřednictvím programu Corsika. Z jeho práce je vidět (obr.14 a obr.15), že stanice CZELTA umožňuje přesnost detekce příchozího směru se směrodatnou odchylkou $\sigma = 6^\circ$. V mém případě, kdy požaduji, aby ve zmíněném okolí ležela většina dat, jsem se rozhodl použít směrodatnou odchylku $2\sigma = 12^\circ$ (95% pravděpodobnost výskytu), kterou doporučuji jako výchozí při dalších testech. Simulovaná odchylka je nezávislá na azimutu, avšak je proměnná vzhledem k výšce nad obzorem, z které sekundární sprška přichází. Výše zmíněnou směrodatnou odchylkou jsou zatíženy spršky, které pocházejí z výšky 40° a více, spršky, které přijdou blíže od obzoru, již nemá smysl sledovat, jelikož chyba, kterou jsou zatíženy, dosahuje příliš velkých hodnot.



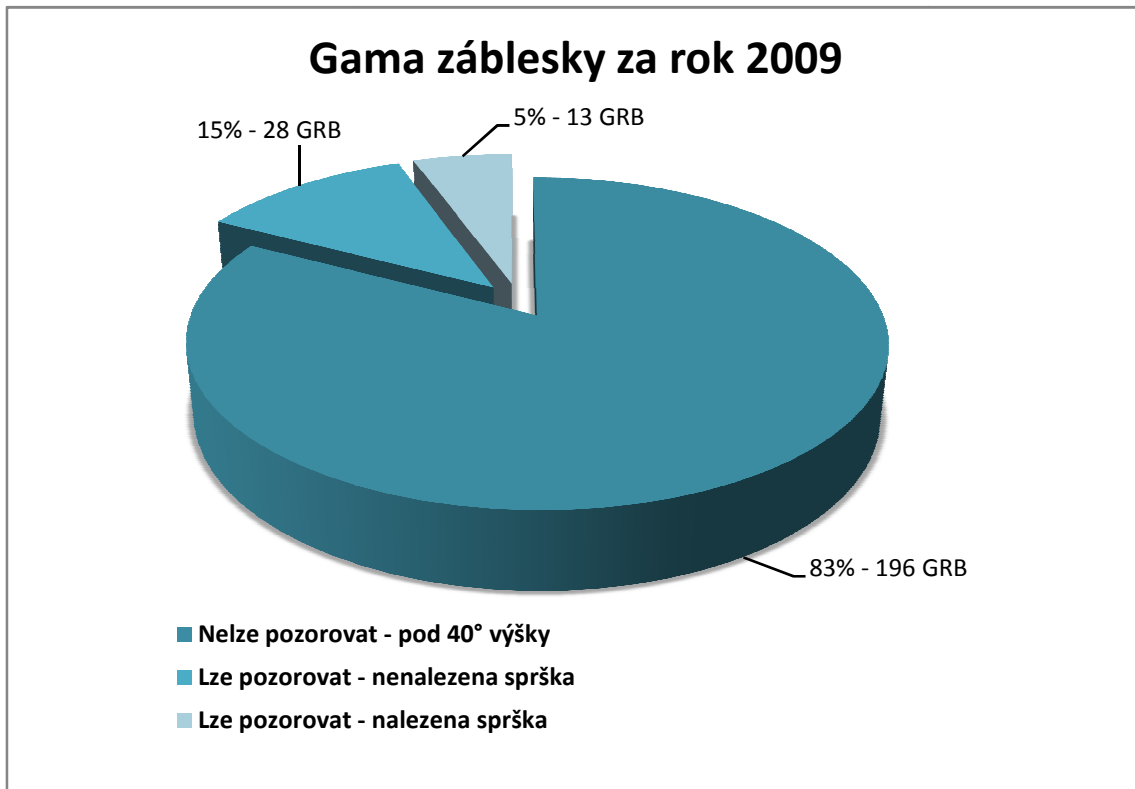
Obrázek 15 - Velikost chyby v určení azimutu v závislosti na výšce přicházející spršky [1]



Obrázek 16 - Velikost chyby v určení výšky v závislosti na výšce přicházející spršky [1]

8.5 Množství GRB

Z předchozího odstavce nepřímo vyplývá, že GRB, které jsou „viditelné“ v Pardubicích a v Kladně, ale odehrají se níže než ve 40° výšky, není zapotřebí analýze podrobovat, jelikož by jejich úhlový rozdíl na obloze již nebyl prokazatelný. Touto filtrací, která je zapojena v mém programu, je za rok 2009 vyřazeno 196 GRB z celkového počtu 237, přicházím tedy o možnost analýzy přibližně 83% dat. Zbýlých 41 GRB bylo detekováno v příznivý čas na viditelné části oblohy a může být podrobena další analýze. Zde bych chtěl poukázat na nově vznikající stanice typu CZELTA umístěné na jiných kontinentech, které by mi umožnil sledovat více „neviditelných“ GRB a zrychlily by tak postup celého výzkum.



Obrázek 17 - Graf zobrazující množství GRB podle jejich výšky nad obzorem

8.6 Průběh Analýzy

Již v počátcích tvorby programu jsem se rozhodl vytvořit načítání dat ze souboru, které velmi urychluje a usnadňuje práci. Při spuštění programu dojde k načtení sekundárních spršek z cílové složky do paměti. Není obtížné tuto cílovou složku měnit přepsáním jejího názvu ve struktuře programu. Poté je uživatel vyzván k zadání požadované velikosti časového okna a úhlového rozdílu, podle kterých bude veškeré třídění probíhat. Následuje samotné zpracování dat, které na základě vstupních parametrů GRB mezi které patří čas, deklinace a rektascenze, provede výpočty, na jejichž základě je každému GRB dopočítána jeho výška nad obzorem a azimut vzhledem k naší stanici. K těmto výpočtům je třeba podrobné znalosti transformací mezi jednotlivými stanicemi.

8.6.1 Transformace rovníkových souřadnic do souřadnic obzorníkových

K tomuto přepočtu je třeba znát několik vstupních hodnot. Patří mezi ně deklinace a rektascenze, dále zeměpisná šířka a délka místa, ke kterému chceme výpočet vztahovat, juliánské datum události.. Veškeré tyto výpočty jsem v pozdější době práce podrobil kontrole pomocí appletů důvěryhodných astronomických stránek.

Výpočet juliánského data:

$$JD = D + \left\{ \frac{153f - 457}{5} \right\} + 365g + \left[\frac{g}{4} \right] - \left[\frac{g}{100} \right] + \left[\frac{g}{400} \right] + 1\,721\,118,5$$

Pro $M < 3$: $f = M + 12$, $g = R - 1$.

Pro $M \geq 3$: $f = M$, $g = R$.

R – rok

M – měsíc

D – občanský den

JD – juliánské datum

$[a]$ vyjadřuje celou část čísla a , tedy nejbližší menší celé číslo

$\{a\}$ vyjadřuje číslo a bez své desetinné části

Ze známosti JD můžeme postoupit k výpočtu místního hvězdného času θ :

$$\theta = 6,697\,374\,558 + 2400,051\,337 * \frac{JD - 2\,451\,545}{36525} + 24 * JD + 0,5 - [JD + 0,5] + \phi$$

ϕ - zeměpisná délka pozorovacího místa v hodinách

JD – Juliánské datum

$[a]$ vyjadřuje celou část čísla a

Ted' můžeme spočítat velikost hodinového úhlu t :

$$t = \theta - \alpha$$

θ – místní hvězdný čas

α – rektascenze GRB

Tím již známe všechny potřebné údaje pro výpočet požadované výšky h a azimutu A :

$$\sin A \cdot \cos h = \cos \delta \cdot \sin t$$

$$\cos A \cdot \cos h = -\cos \varphi \cdot \sin \delta + \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

δ – deklinace GRB

t – hodinový úhel

φ - zeměpisná šířka pozorovaného místa

Výšky nad obzorem se pohybuje v rozmezí -90° až 90° a je jednoznačně určena jednou rovnicí. U výpočtu azimutu již není výpočet tak jednoduchý a je zapotřebí vypočítat jak hodnotu $\sin(A)$ tak hodnotu $\cos(A)$, abychom mohli určit jeho správnou hodnotu.

V tuto chvíli jsme schopni na základě výpočtu výšky rozhodnout, jestli jde o GRB viditelný a jestli splňuje náš přísný požadavek $h > 40^\circ$. Proběhne filtrace GRB a gama záblesky, které filtrem neprojdou, již nejsou dále analyzovány.

8.6.2 Porovnání se sekundárními sprškami

Po výpočtu výšky a azimutu GRB můžeme postoupit v analýze k dalšímu kroku, který zahrnuje porovnávání všech sekundárních spršek s každým z GRB. Toto porovnávání je dvojího typu a záleží na hodnotách parametrů, které si uživatel zvolil na počátku programu. První porovnání se uskuteční na základě časů detekce a má za cíl odhalit spršky, které vznikly nejdéle ve vzdálenosti časového okna od GRB. Provést toto porovnávání na základě jednotlivých roků, měsíců, dnů, hodin, minut a vteřin by bylo nepředstavitelně zdlouhavé a vytvoření algoritmu takového rozsahu, který by počítal i s přestupnými roky, by zabralo spoustu času, a proto jsem se rozhodl pro elegantnější řešení v podobě porovnávání jednotlivých juliánských dat, kde celé datum vystupuje v podobě jediného čísla a umožňuje proto mnohem lehčí zpracování. Na základě výpočtů jsem zjistil, že jedna vteřina je v juliánském čase zastoupena hodnotou 0,00001157. Tento výpočet mi umožnil velmi rychle rozhodnout, jestli sprška nastala v časovém okně okolo GRB, či nikoli. Postačí k tomu pouhá znalost obou Juliánských dat, které odečteme a tento rozdíl podělíme výše zmiňovanou hodnotou a ta nám určí časovou vzdálenost obou jevů. Případné nepřesnosti spojené s necelou hodnotou jedné vteřiny v JD by se mohly projevit až v řádech 10 000 vteřin, kde již přesnost jedné vteřiny, nehraje žádnou roli.

V případě, že sprška splňuje první kritérium, je postoupena dále k výpočtu úhlové vzdálenosti mezi ní a GRB. Úhlová vzdálenost Δ je zjištěna pomocí vzorce:

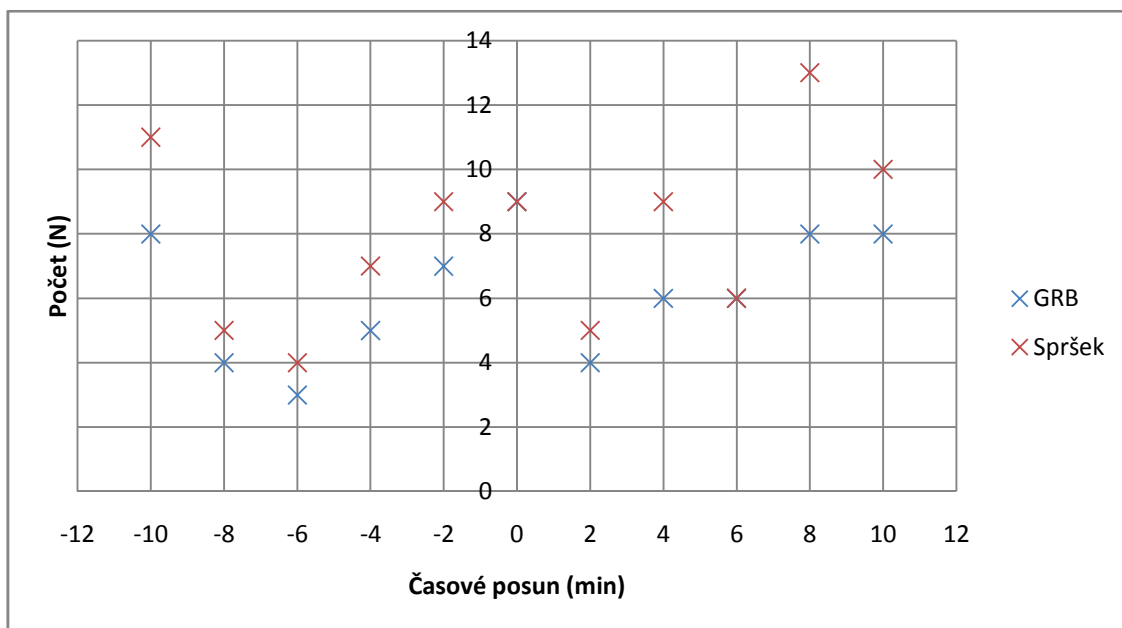
$$\cos \Delta = \sin \delta_1 \cdot \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_2 \cdot \cos (\alpha_2 - \alpha_1)$$

Pokud je velikost Δ menší než uživatelem zvolený úhlový rozdíl, je sprška připsána ke zkoumanému GRB a poukazuje na možnost, že tento GRB způsobil sekundární spršku podobně, jako ji způsobuje kosmické záření. Ve výpočtu nezáleží na tom, zdali jsou vstupní data v obzorníkových či rovníkových souřadnicích.

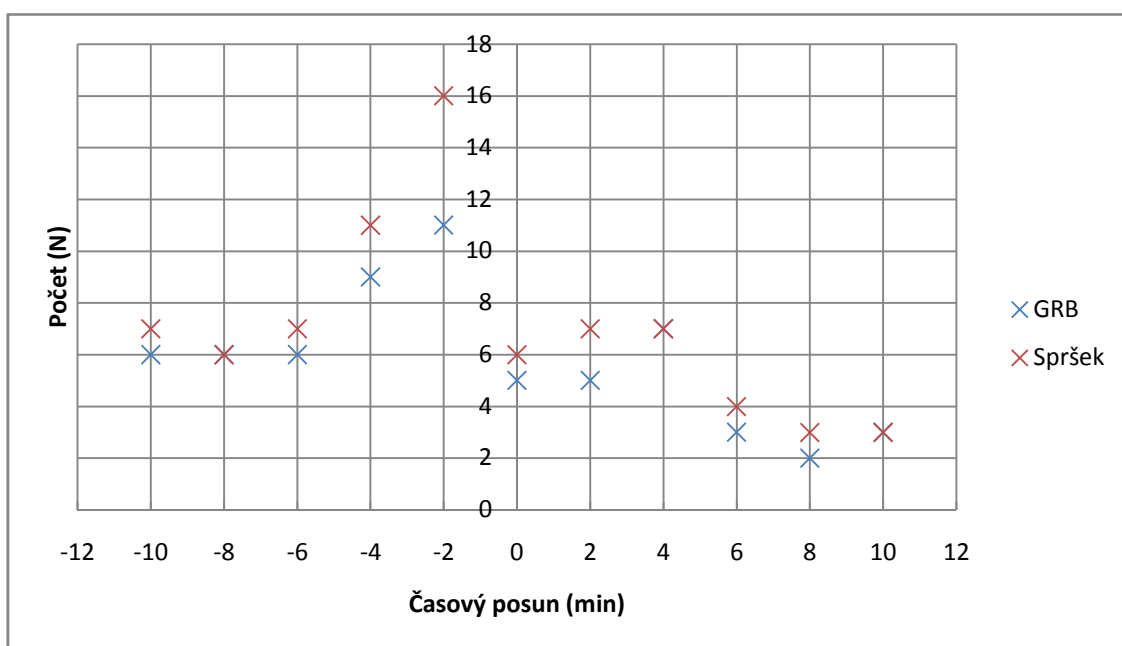
8.6.3 Výpočet pravděpodobnosti

Při prvotní analýze dat, při které byly objeveny spršky vztahující se k GRB, jsem byl přesvědčen o jejich nezpochybnitelné provázanosti a nepochyboval jsem o potvrzení hypotézy. Při další práci s daty jsem byl již více skeptický a snažil jsem se o nalezení metody, která by můj výpočet podpořila. Po výše popsané filtraci jsem pracoval s 41 GRB. Při volbě časového okna 60 s jsem našel u stanice v Pardubicích 5 GRB (viz graf 1) a u stanice v Kladně 9 GRB, ke kterým existuje alespoň 1 sprška. Spršky však přicházejí neustále a většina není spojena s GRB, mohlo by tedy jít o náhodnou časovou shodu. Rozhodl jsem se ponechat všem 41 GRB jejich prostorově souřadnice a změnit časovou souřadnici UTC a znovu prozkoumat, ke kolika z nich v časovém okně 60 s existuje alespoň 1 sprška. Napsal jsem krátký program, který jednotlivým GRB posune UTC o stejnou hodnotu (maximálně o ± 10 min). Pro každý časový posun jsem vyhodnotil počet GRB, ke kterým se našla sprška. Grafy č. 2 a 3 ukazují množství nalezených GRB a spršek (k některým GRB se v časovém okně

nalezlo více spršek). Z grafů je vidět, že při každém časovém posunu se najdou teď již „zdánlivé“ GRB, ke kterým jsou nalezeny spršky. Tento výsledek vyvrátil hypotézu, že velká část gama záblesků způsobuje sekundární spršky.



graf 2 - Závislost počtu nalezených GRB a spršek na časovém posunutí (Kladno)



graf 3 - Závislost počtu nalezených GRB a spršek na časovém posunutí (Pardubice)

V tuto chvíli jsem musel zvolit jinou metodu, která by se věnovala jednotlivým GRB a byla schopna zjistit míru, s jakou byla sprška doopravdy způsobena zábleskem. Touto metodou se pro mě stal výpočet pravděpodobnosti, s kterou byla sprška způsobena zcela náhodně, a tudíž by nemohla být produktem GRB. K výpočtu používám Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti, které by mělo nejlépe popisovat pravděpodobnost příchodu spršek.

V případě, že máme děj, který nastává zcela náhodně v čase s četností f (v mém případě se jedná o příchod kosmického záření), tak počet událostí, které nastanou ve zvoleném časovém okně o délce T označíme k . Počet událostí k je náhodná veličina, která se řídí Poissonovým rozdělením. Pravděpodobnost pozorování k událostí v časovém intervalu je rovna:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}$$

λ – střední hodnota veličiny k

$$\lambda = f \cdot T$$

Rád bych přiblížil význam tohoto vzorce ve spojení s daty a parametry, které používám. Časové okno T , které vystupuje ve vzorci, je v mém programu zastoupeno dvojnásobnou hodnotou časového okna, kterou uživatel zvolil, a to z toho důvodu, že spršky jsou vyhledávány v této vzdálenosti jak před příchodem GRB, tak i po něm. Obtížnější je to bohužel s parametrem f , který potřeboval detailnější prozkoumání. Původně jsem výpočet této četnosti prováděl pomocí deklinace a rektascenze, přesněji řečeno jsem spočítal spršky, které se za celý rok vyskytly maximálně v zadané úhlové vzdálenosti od GRB a tento počet vydělil obdobím, v kterém toto počítání probíhalo. Zde se ovšem objevil problém. Příchod spršky je ovlivňován tloušťkou atmosféry, spršek detekovaných v oblasti zenitu je nejvíce a směrem k obzoru tento počet klesá. V případě, že budeme sledovat rovníkové souřadnice, a tedy jedno místo ve vesmíru, může se nám stát, že toto místo klesne vzhledem k měřicí stanici pod obzor a stanice nebude moci v tuto chvíli detekovat žádné spršky. Dochází tak k falešnému zvýhodňování určitých směrů, kde je uměle vytvořen menší tok spršek. Proto jsem musel zvolit jinou metodu, která pracuje podobně, avšak se souřadnicemi obzorníkovými, které nezohledňují rotaci Země a proto vypočítaná frekvence, opravdu charakterizuje souřadnice, vůči kterým je spočtena.

Se znalostí těchto dvou veličin a veličiny k , která ve skutečnosti zastupuje počet spršek, které byly k jednotlivým gama zábleskům nalezeny, je možné spočítat pravděpodobnost, s jakou tyto spršky nastaly zcela náhodně. V případě, že provedeme dopočet do 100%, zjistíme míru, s jakou byly tyto spršky způsobeny nenáhodně, tedy zřejmě GRB.

8.7 Nalezené GRB

Po této analýze pardubické a kladenské stanice CZELTA, které jsou jako jediné zaměřeny, a tudíž je u nich možnost výpočtu směrů, jsem za rok 2009 objevil 5 GRB z Pardubic a 9 GRB z Kladna, ke kterým byla nalezena vždy alespoň jedna sekundární sprška, která splnila jak časovou tak úhlovou podmínku. U těchto spršek je podezření na vznik z gama záblesku a vypočítal jsem pro ně pravděpodobnosti. Výsledek můžete vidět v tabulkách uvedených níže.

Přehled GRB podezřelých ze způsobení sekundární spršky na stanici v Kladně

R	M	D	H	M	S	DEK	REK	VYS	AZI	Družice	Pravděpodobnost
2009	11	4	8	49	22	47,4	208,8	78,6	276,9	Fermi	74,6
2009	8	17	0	51	33	44,1	63,8	44,0	249,3	INTEGRAL	96,1
2009	8	2	5	39	3	37,9	51,0	77,9	1,9	Fermi	75,0
2009	7	27	22	42	18	64,9	315,8	73,5	200,6	Swift	78,4
2009	5	19	11	5	28	56,7	106,0	62,0	238,2	Fermi	87,3
2009	4	3	18	15	36	10,9	97,8	46,1	35,4	Fermi	96,3
2009	3	20	19	13	46	57,5	183,8	54,4	233,8	Fermi	92,2
2009	3	8	17	36	25	58,1	22,5	53,1	127,7	Fermi	93,2
2009	3	5	1	14	36	68,1	155,0	62,6	146,8	Fermi	87,2

Z těchto 9 GRB bych rád upozornil na 4 z nich, jejichž pravděpodobnost přesahuje 90% a jsou proto výraznými kandidáty na způsobení sekundární spršky.

Přehled GRB podezřelých ze způsobení sekundární spršky na stanici v Pardubicích

R	M	D	H	M	S	DEK	REK	VYS	AZI	Družice	Pravděpodobnost
2009	6	21	22	7	25	69,0	313,3	57,8	213,6	Swift	87,3
2009	6	21	4	22	43	61,9	11,0	73,8	215,3	Swift	70,5
2009	6	10	15	33	26	35,4	84,3	42,3	97,6	Fermi	96,8
2009	3	8	17	36	25	58,1	22,5	53,1	127,7	Fermi	90,8
2009	1	26	5	52	34	39,2	223,0	78,2	25,8	Fermi	92,3

Zde si můžeme povšimnout tři GRB, jejichž pravděpodobnost přesahuje 90% a poukazuje na možnou příčinu vzniku spršky pomocí gama záblesku.

Nejzajímavějším GRB ze všech je gama záblesk s označením GRB 090308B, ke kterému byly nalezeny odpovídající spršky na obou stanicích, což ještě více potvrzuje vznik pomocí gama fotonů. Jelikož jet obsahuje těchto gama fotonů obrovské množství, při zasažení zemské atmosféry, by mělo dojít ke vzniku většího množství sekundárních spršek, a proto by mohlo dojít k detekci na více stanicích současně. Pravděpodobnost, že pardubická sprška spojená s tímto GRB vznikla náhodně, je 9,2%. Pravděpodobnost té kladenské je 6,8%. Jestliže budeme předpokládat nezávislost jevů, můžeme vypočítat, jaká je pravděpodobnost, že takovéto dvě spršky nastanou současně: $0,092 \cdot 0,068 = 0,006256$. S 0,63% pravděpodobností vznikly tyto dvě spršky zcela náhodně, to znamená, že s 99,37% pravděpodobností způsobil tyto dvě spršky náš nalezený GRB.

9. Závěr

V závěru bych chtěl zhodnotit úspěchy i mezery mého ročního úsilí, nutnost dalšího pokračování a rozšiřování tohoto projektu a celkově shrnout veškerou vykonanou práci.

Snahou celého projektu bylo potvrzení počáteční hypotézy, že GRB mohou způsobovat sekundární spršky. V této fázi výzkumu nejsem schopen tuto hypotézu potvrdit ani vyvrátit, ale zajistil jsem dostatečný softwarový základ, který při dlouhodobém používání a analýze stále nových dat, může vytvořit prokazatelné podklady pro další práci s touto hypotézou. Dále jsem vytvořil několik jedinečných programů, kterými jsem se snažil přispět svým skromným dílem k poodhalení doposud neznámých informací ohledně GRB.

Zkontroloval jsem relativní vzdálenosti detektorů stanice CZELTA v Pardubicích a vytvořil jsem automatizovaný software, který dokáže tyto vzdálenosti vypočítat pro nově vznikající stanice. Také jsem vypočítal chybu v určení vzdáleností pro mnoho různých jiných variant a prokázal, že varianta, která považuje Zemi za dokonalou kouli je pro naše výpočty dostačující.

Zanalyzoval jsem dostupné GRB za rok 2009. Nalezl jsem několik zajímavých GRB, u kterých je poměrně vysoká pravděpodobnost na způsobení sekundární spršky. Mezi těmito gama záblesky dominuje gama záblesk ze dne 8.3.2009, který byl detekován dvěma CZELTA stanicemi umístěnými v ČR. Mohl by tak být důkazem příchodu většího množství fotonů o energiích nejméně 100TeV v jednom záblesku.

Pro další možný výzkum by bylo obrovským přínosem další rozšiřování stanic CZELTA, které by přinesly více naměřených dat a tedy i větší množství párů sprška – GRB. Více dat by znamenalo více informací a na jejich základě, by se mohl výzkum ubírat tím správným směrem, například analýzou pouze některých GRB, na základě určitých specifik. Proto bych jako jedno z možných pokračování v tomto výzkumu přivítal komunikaci s kanadským projektem ALTA, který projekt CZELTA zastřešuje, a navázání možné spolupráce, která by umožnila zpracovat zaměření kanadských detektorů a využívat jimi naměřená data, která by umožnila analyzovat doposud „neviditelné“ gama záblesky.

V případě, že by v budoucnu opravdu došlo k potvrzení zmiňované hypotézy, tak by důsledky měly pozitivní vliv na obě strany projektu, jak na GRB, tak i na detekční síť CZELTA. Stanice CZELTA je zatížena značnou chybou v určování polohy příchozí spršky, avšak při prokázání úzké souvislosti mezi GRB a sekundárními sprškami by mohlo dojít k zpřesnění výpočtu polohy, jelikož detekce GRB probíhající na orbitě dosahuje přesnosti úhlových vteřin. Ve výzkumu GRB by práce pomohla potvrdit existenci gama fotonů o vyšších energiích, než je prozatím předpokládáno, a tím zpřesnit odhad energií potřebných pro vznik výbuchů takovýchto rozměrů.

I nadále bych se chtěl tomuto výzkumu věnovat a budu se snažit stále vylepšovat jednotlivé funkce programu a vytvářet nové.

10. Zdroje informací

- [1] ČERMÁK, Jakub. Microsoft PowerPoint: Simulace spršek pomocí programu Corsika
- [2] ALTA, CZELTA [online]. 2008 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://regulus.utef.cvut.cz/~jcermak>>.
- [3] OSEL [online]. 2007 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.osel.cz>>.
- [4] ALTA, CZELTA [online]. 2008 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.czelta.utef.cvut.cz/>>.
- [5] Farkašová, Blanka, Krčál, Martin. CITACE: projekt Bibliografické citace [online]. Verze 2.0. Brno: BB Group, c2004-2009 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.citace.com/index.php>>.
- [6] Wikipedia [online]. 2001 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.wikipedia.org/>>.
- [7] Google search [online]. 1997 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.google.com/>>.
- [8] Heavens above [online]. 2008 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.heavens-above.com>>.
- [9] Transformace souřadnic [online]. 2007 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <http://www.asu.cas.cz/~bezdek/fyzika/trf_astro_souradnic.html>.
- [10] GRB Real Time Sky Map [online]. 2008 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://grb.sonoma.edu>>.
- [11] IT portál o programování, grafice a webdesingu [online]. 2006 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://programujte.com/>>.
- [12] Programování v jazyku Turbo Pascal [online]. 1993 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://home.pf.jcu.cz/~edpo/program/program.html>>.
- [13] Pascal pro začátečníky [online], PAUŠ, Petr. 2006 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://geraldine.fjfi.cvut.cz/~pausp/cs/pascal>>.
- [14] Zpracování dat z experimentů fyziky vysokých energií, RNDr. KODYŠ Peter, CSc.
- [15] Škola mladých fyziků – Hodnoty a chyby veličin měřených a vypočtených. RNDr. KOŠŤÁL Rostislav.
- [16] Štefánikova hvězdárna [online]. 2007 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.observatory.cz/news/detail.php?page=&id=242&pda=>>>.
- [17] Evropská jižní observatoř [online]. 2007 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.eso-cz.cz/astronomie-v-eso/zablesky-gama>>.
- [18] Česká astronomická společnost [online]. 2001 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.eso-cz.cz/astronomie-v-eso/zablesky-gama>>.
- [19] HUBÍK, Jan. Hromadné zpracování dat o kosmickém záření, 2009. SOČ.

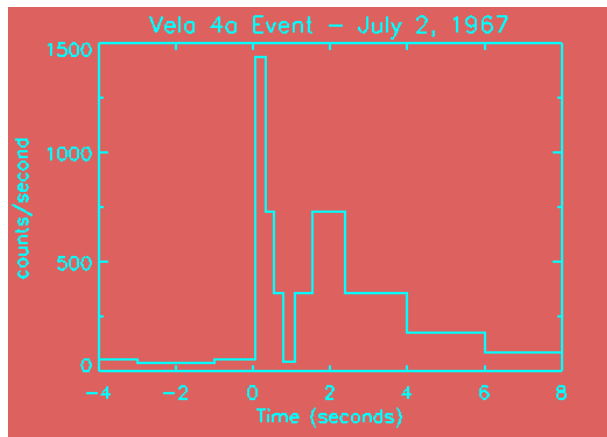
11. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Obloha při a před GRB [3]	6
Obrázek 2 – Umístění GRB na noční obloze [3].....	6
Obrázek 3 - Umělecké ztvárnění možného vzniku GRB [3]	7
Obrázek 4 - Zobrazení izotropního rozložení poloh GRB. Tento obrázek vylučuje vznik GRB v naší galaxii [3]	7
Obrázek 5 - Umělecké ztvárnění vzniku GRB [3]	8
Obrázek 6 - Umělecké ztvárnění vzniku GRB [3]	8
Obrázek 7 - Družice Swift [3]	9
Obrázek 8 - Družice Firefly [3]	9
Obrázek 9 - Družice INTEGRAL [6]	9
Obrázek 10 - Webové stránky GRB záblesků, z kterých čerpám data pro můj výzkum [10].....	10
Obrázek 11 - Schéma vzniku sekundární spršky [7]	11
Obrázek 12 - Orientace detektorů vůči severu a vzdálenosti detektorů	12
Obrázek 13 - Ukázka mnou vytvořeného programu na výpočet vzdáleností mezi detektory	12
Obrázek 14 - Znázornění výpočtu zohledňujícího Zemi jako rotační elipsoid.....	13
Obrázek 15 - Velikost chyby v určení polohy v závislosti na azimutu [1]	16
Obrázek 16 - Velikost chyby v určení polohy v závislosti na výšce nad obzorem [1]	16
Obrázek 17 - Graf zobrazující množství GRB podle jejich výšky nad obzorem.....	17

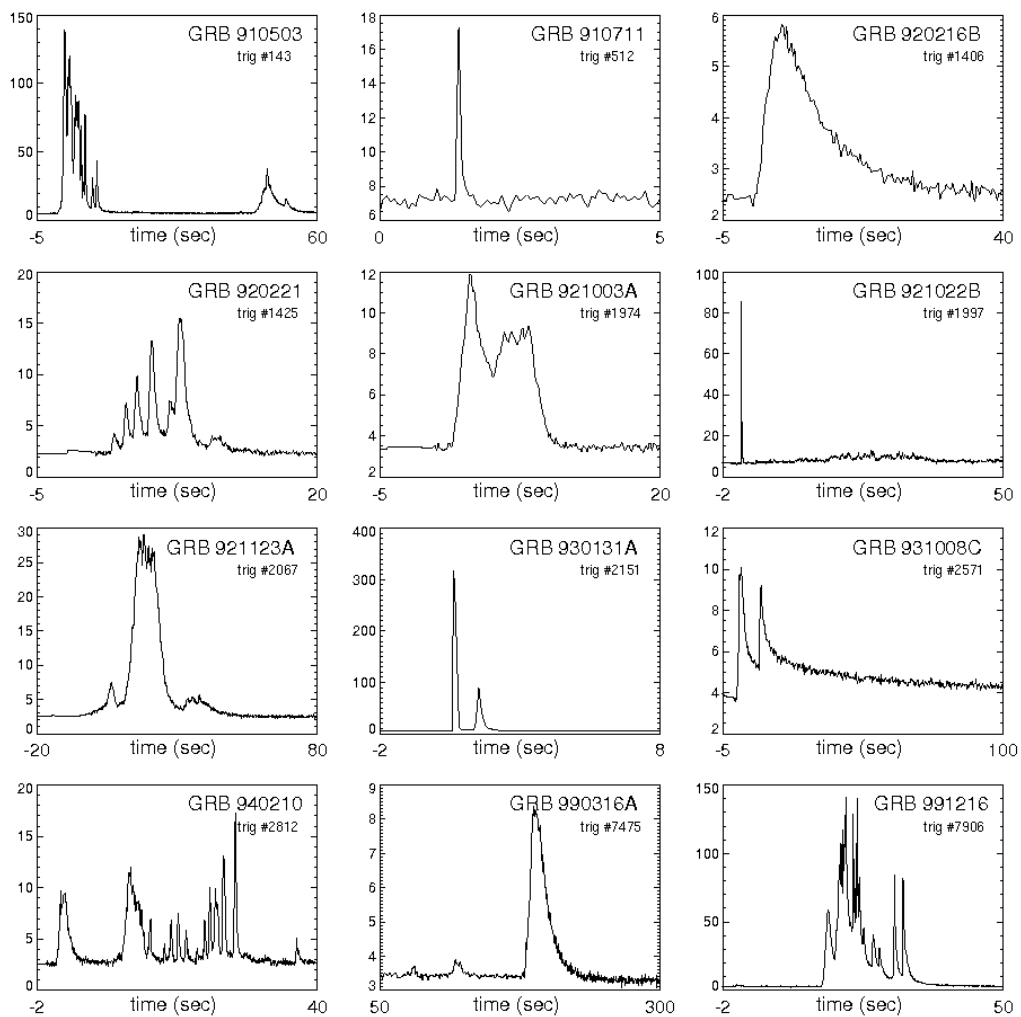
12. Seznam příloh

Příloha 1 - Záznam prvního detekovaného GRB.....	26
Příloha 2 - Průběhy různých typů GRB	26

13. Přílohy



Příloha 1 - Záznam prvního detekovaného GRB [18]



Příloha 2 – Závislost energie na čase u různých typů GRB, měřeno na orbitálních stanicích [18]

14. Zdrojový kód programu

program Analyza;

uses crt,math;

const DATAcesta = 'data\pardubice\p_data.txt';
GRBcesta = 'data\GRB.txt';

type

TZaznam = record
rok,mesic,den,hodina,minuta:integer;
deklinace,rektascenze,sekunda,azimut,vyska:real;
end;

var sprsky:array of TZaznam;
pocetSprsek:cardinal;

function vrat_sloupec1(var text:string;oddelovac:string):string;

var l,a:integer;
begin
a:=pos(oddelovac,text);
if a>=1 then vrat_sloupec1:=copy(text,1,a-1)
else vrat_sloupec1:=text;
a:=pos(oddelovac,text);
if a>=1 then delete(text,1,a);
end;

function OrezRadek(text:string):string;

begin
while (length(text)>0) and (text[length(text)]=' ') do delete(text,length(text),1);
while (length(text)>0) and (text[1]=' ') do delete(text,1,1);
OrezRadek:=text;
end;

procedure PrevodUhlu(var uhel:double);

begin
uhel:=(uhel*pi)/180;
end;

function RozdilNaObloze(dekData,rekData,dekGRB,rekGRB:double):double;

var x:double;
begin
prevodUhlu(dekGRB);
prevodUhlu(dekData);
prevodUhlu(rekGRB);
prevodUhlu(rekData);
x:=(sin(dekData)*sin(dekGRB))+cos(dekData)*cos(dekGRB)*cos(rekGRB-rekData);
if x>0 then RozdilNaObloze:=(arccos(x)*180)/pi
else RozdilNaObloze:=180+(arccos(x)*180)/pi;
end;

function JulDat(rok,mesic,den,hodina,minuta,sekunda:double):double;

var g,f:double;
begin
den:=den+(hodina/24)+(minuta/(24*60))+(sekunda/(24*3600));
if mesic<3 then begin
f:=mesic+12;
g:=rok-1;
end;
if mesic>=3 then begin
f:=mesic;

```

        g:=rok;
    end;
    Juldat:=den+int((153*f-457)/5)+365*g+int(g/4)-int(g/100)+int(g/400)+1721118.5;
end;

```

```

function nactiRadek(var t:text;var data:TZaznam):boolean;
var
    radek:string;
    i,code:integer;
begin
    if not eof(t) then begin
        readln(t,radek);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.rok,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.mesic,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.den,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.hodina,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.minuta,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.sekunda,code);
        for i:=1 to 11 do vrat_sloupec1(radek,' ');
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.vyska,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.azimut,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.deklinace,code);
        Val(vrat_sloupec1(radek,' '),data.rektascenze,code);
        nactiRadek:=true;
    end else nactiRadek:=false;
end;

```

```

procedure nactiDatum(var datum:string;var GRB:TZaznam);
var
    code:integer;
begin
    datum:=OrezRadek(datum);
    Val(vrat_sloupec1(datum,'/'),GRB.rok,code);
    Val(vrat_sloupec1(datum,'/'),GRB.mesic,code);
    Val(vrat_sloupec1(datum,'/'),GRB.den,code);
end;

```

```

procedure nactiCas(var cas:string;var GRB:TZaznam);
var
    code:integer;
begin
    cas:=OrezRadek(cas);
    Val(vrat_sloupec1(cas,':'),GRB.hodina,code);
    Val(vrat_sloupec1(cas,':'),GRB.minuta,code);
    Val(vrat_sloupec1(cas,':'),GRB.sekunda,code);
end;

```

```

procedure nactiRektascenzi(var rektascenze:string;var GRB:TZaznam);
var code,minuty:integer;
begin
    rektascenze:=OrezRadek(rektascenze);
    Val(vrat_sloupec1(rektascenze,':'),GRB.rektascenze,code);
    Val(vrat_sloupec1(rektascenze,':'),minuty,code);
    GRB.rektascenze:=(GRB.rektascenze*15)+(minuty/4);
end;

```

```

procedure nactiDeklinaci(var deklinace:string; var GRB:TZaznam);
var code,minuty:integer;
begin
    deklinace:=OrezRadek(deklinace);
    Val(vrat_sloupec1(deklinace,':'),GRB.deklinace,code);
    Val(vrat_sloupec1(deklinace,':'),minuty,code);
end;

```

```

if GRB.deklinace>=0 then GRB.deklinace:=GRB.deklinace+(minuty/60)
    else GRB.deklinace:=GRB.deklinace-(minuty/60);
end;

```

```

function NactiGRB (var s:text;var GRB:TZaznam):boolean;
var radek,sloupec:string;
begin
if not eof(s) then begin
    readln(s,radek);
    vrat_sloupec1(radek,#9);
    sloupec:=vrat_sloupec1(radek,#9);
    nactiDatum(sloupec,GRB);
    sloupec:=vrat_sloupec1(radek,#9);
    nactiCas(sloupec,GRB);
    vrat_sloupec1(radek,#9);
    sloupec:=vrat_sloupec1(radek,#9);
    nactiRektascenzi(sloupec,GRB);
    sloupec:=vrat_sloupec1(radek,' ');
    nactiDeklinaci(sloupec,GRB);
    nactiGRB:=true;
end else nactiGRB:=false;
end;

```

```

function zjistiPocetRadku(soubor:string):cardinal;
var radek:string;
    pocet:cardinal;
    t:text;
begin
pocet:=0;
assign(t,soubor);
reset(t);
while not eof(t) do begin
    readln(t,radek);
    pocet:=pocet+1;
end;
close(t);
zjistiPocetRadku:=pocet;
end;

```

```

procedure nactiSoubor(DataCesta:string;var spr:array of TZaznam);
var t:text;
    idx:cardinal;
begin
assign(t,DataCesta);
reset(t);
idx:=0;
while nactiRadek(t,spr[idx]) do idx:=idx+1;
close(t);
end;

```

```

procedure ZjistiTok(var spr:TZaznam;var GRB:TZaznam;var TokZaRok:longint;uhlovyRozdil:integer);
var UhlovyRozdilGRBSprska:double;
begin
if RozdilNaObloze(spr.vyska,spr.azimut,GRB.vyska,GRB.azimut)<=uhlovyRozdil then begin
    inc(TokZaRok);
end;
end;

```

```

procedure VypocetAzVys(GRB:TZaznam;var Azimut,vyska:double);
const zemDel=1.05263230703703;
var hvezdnyCas,JD,HodUhel,x,y,z,zemsir:double;

```

```

begin
zemSir:=50+(2/60)+(9.65575/3600);
JD:=JulDat(GRB.rok,GRB.mesic,GRB.den,GRB.hodina,GRB.minuta,GRB.sekunda);
HvezdnyCas:=6.697374558+(2400.051337*((JD-2451545)/36525))+(24*(JD+0.5-INT(JD+0.5)))+ZemDel;
while HvezdnyCas>=24 do HvezdnyCas:=HvezdnyCas-24;
GRB.rektascenze:=GRB.rektascenze/15;
HodUhel:=HvezdnyCas-GRB.rektascenze;
HodUhel:=HodUhel*15;
PrevodUhlu(GRB.deklinace);
PrevodUhlu(GRB.rektascenze);
PrevodUhlu(zemSir);
PrevodUhlu(HodUhel);
x:=(Sin(zemSir)*sin(GRB.deklinace))+cos(zemSir)*cos(GRB.deklinace)*cos(HodUhel));
x:=arcsin(x);
y:=((-cos(zemSir)*sin(GRB.deklinace))+sin(zemSir)*cos(GRB.deklinace)*cos(HodUhel))/cos(x);
y:=arccos(y);
z:=(cos(GRB.deklinace)*sin(HodUhel))/cos(x);
z:=arcsin(z);
if z>0 then azimut:=(y*180)/pi
else azimut:=360-(y*180)/pi;
vyska:=(x*180)/pi;
end;

```

```

function VypocetPravdepodobnosti1(lambda:double;pritomnostSprsky:integer):double;
var citatel:double;
faktorial,I,J:integer;
begin
VypocetPravdepodobnosti1:=1;
for J:= 0 to pritomnostSprsky-1 do begin
faktorial:=1;
if J<>0 then For I:=1 to J do faktorial:=faktorial*I;
citatel:=1;
if J<>0 then for I:=1 to J do citatel:=citatel*lambda;
VypocetPravdepodobnosti1:=VypocetPravdepodobnosti1-((citatel*exp(-lambda))/faktorial);
end;
VypocetPravdepodobnosti1:=VypocetPravdepodobnosti1*100;
end;

```

```

function VypocetPravdepodobnosti2(lambda:double;pritomnostsprsky:integer):double;
var citatel:double;
faktorial,I:integer;
begin
if pritomnostsprsky=0 then VypocetPravdepodobnosti2:=100
else begin
faktorial:=1;
For I:=1 to pritomnostsprsky do faktorial:=faktorial*I;
citatel:=1;
For I:=1 to pritomnostSprsky do citatel:=citatel*lambda;
VypocetPravdepodobnosti2:=((citatel*exp(-lambda))/faktorial)*100;
end;
end;

```

```

procedure ObsahujeSprsku(GRB,spr:TZaznam;JulCasGRB:double;var pocetPozSpr:integer;UhlovyRozdil,casoveOkno:integer);
var cas:longint;
JulCasSPR,rozdilUhlu:double;
begin
if (spr.mesic<=grb.mesic+1) and (spr.mesic>=grb.mesic-1) then begin
JulCasSPR:=JulDat(spr.rok,spr.mesic,spr.den,spr.hodina,spr.minuta,spr.sekunda);
cas:=round(((julCasSPR-julCasGRB)/(0.0001157)));
cas:=abs(cas);
if cas<=CasoveOkno then begin
rozdilUhlu:=RozdilNaObloze(spr.deklinace,spr.rektascenze,GRB.deklinace,GRB.rektascenze);

```

```

    if rozdilUhlu<=UhlovyRozdil then begin
        inc(pocetPozSpr);
    end;
end;
end;
end;

```

```

procedure Settings(var uhlovyRozdil,casoveOkno:integer);
begin
    write('Zadejte maximalni uhlovy rozdil na obloze : ');
    readln(uhlovyRozdil);
    write('Zadejte maximalni casove okno : ');
    readln(CasoveOkno);
    writeln('-----');
end;

```

```

procedure zpracujSoubor(var sprska:array of TZaznam;pocetSprsek:longint);
var s:text;
    GRB:TZaznam;
    l,TokZaRok:longint;
    JulCasGRB,Azimuth,Vyska,lambda,pravVicNezJedna,PravPraveJedna:double;
    PocPozSpr,UhlovyRozdil,CasoveOkno:integer;
begin
    assign(s,GRBcesta);
    reset(s);
    settings(UhlovyRozdil,CasoveOkno);
    clrscr;
    writeln(' R M D H M S DEK REK VYS AZI Lambda Pravdepodobnosti');
    while nactiGRB(s,GRB) do begin
        VypocetAzVys(GRB,Azimuth,Vyska);
        if vyska<40 then continue;
        GRB.Vyska:=vyska;
        GRB.Azimuth:=azimuth;
        JulCasGRB:=JulDat(GRB.rok,GRB.mesic,GRB.den,GRB.hodina,GRB.minuta,GRB.sekunda);
        TokZaRok:=0;
        PocPozSpr:=0;
        for l:=0 to pocetSprsek-1 do begin
            ZjistiTok(sprska[i],GRB,TokZaRok,UhlovyRozdil);
            ObsahujeSprsku(GRB,sprska[l],JulCasGRB,PocPozSpr,UhlovyRozdil,CasoveOkno);
        end;
        if PocPozSpr<>0 then textcolor(yellow)
            else textcolor(7);
        lambda:=TokZaRok*2*CasoveOkno/(365*24*60*60);
        PravVicNezJedna:=VypocetPravdepodobnosti1(lambda,PocPozSpr);
        PravPraveJedna:=VypocetPravdepodobnosti2(lambda,PocPozSpr);
        if pocPozSpr<>0 then
            writeln(GRB.rok:5,GRB.mesic:3,GRB.den:3,GRB.hodina:3,GRB.minuta:3,GRB.sekunda:3:0,GRB.deklinace:5:1,GRB.rektascenze:6:1,GRB.vyska
            :5:1,GRB.azimuth:6:1,lambda:10:6,100-pravVicNezJedna:9:1,100-pravPraveJedna:7:1,PocPozSpr:3);
            textcolor(7);
        end;
        readkey;
    end;

begin
    writeln('Nacitam...');
    pocetSprsek:=zjistiPocetRadku(DATAcesta);
    SetLength(sprsky,pocetSprsek+1);
    nactiSoubor(DATAcesta,sprsky);
    writeln('OK');
    clrscr;
    zpracujSoubor(sprsky,pocetSprsek);
end.

```