

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta Jaderná a Fyzikálně Inženýrská
Katedra Fyziky

Conceptual Design Report

Detektor doby letu

PPRA kolaborace
zimní semestr 2013/2014

Pracovní skupina

Rozdělení experimentu

- Katarína Gajdošová – koincidence
- David Horák – návrh detekční části, simulace
- Kateřina Moudrá – návrh detekční části, simulace

Mluvčí projektu – David Horák

Koordinátor projektu – Kateřina Moudrá

Obsah

Úvod	1
1 Detektor	2
1.1 Scintilátor	3
1.1.1 Tvar	4
1.1.2 Rozměry	4
1.1.3 Povrch	4
1.1.4 Vzájemná vzdálenost	4
1.2 Simulace průchodu světla detekční částí	5
1.3 Simulace světla ve scintilátorech a světlovodech	8
1.4 Fotonásobiče	8
1.5 Časový průběh signálu	9
2 Koincidence	14
2.1 Frekvence triggeru	14
2.2 Vyčítání	17
Závěr	18
Literatura	19

Úvod

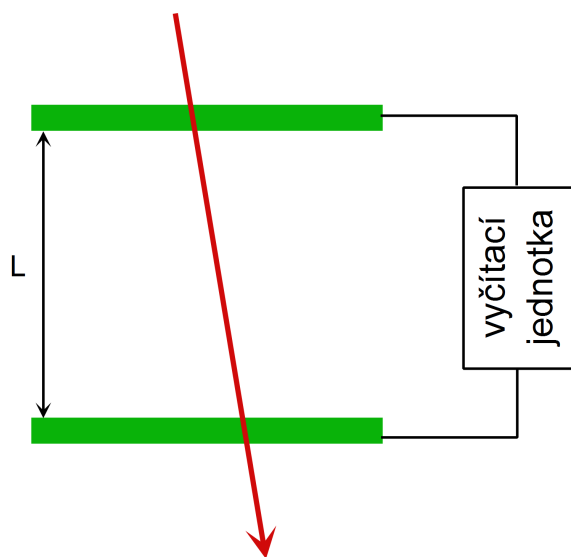
Naším cílem bylo navrhnout detektor *Time of flight*, tedy detektor doby letu. Takové detektory měří dobu letu částice jako čas průletu mezi dvěma detekčními jednotkami. Detektor bude sestávat ze dvou scintilačních detektorů a koincidenčního obvodu.

Realizace projektu je rozdělena na dvě hlavní části. V první části je třeba navrhnout samotnou detekční jednotku. To zahrnuje návrh scintilační části detektoru a části tvořené fotonásobičem. Z technického hlediska bude třeba stanovit vhodný materiál a rozměry obou scintilátorů a vyřešit jejich napojení na fotonásobiče. V části druhé je třeba navrhnout koincidenční část experimentu.

Kapitola 1

Detektor

Cílem námi navrhovaného detektoru je určit dobu letu částice mezi dvěma scintilačními detektory o vzdálenosti L (viz Obr.1.1). Doba letu je určena z časového rozdílu mezi signálem z prvního a druhého scintilačního detektoru. Konstrukce detektoru doby letu tedy sestává ze dvou scintilačních detektorů a vyčítací jednotky. Schéma konstrukce detektoru je na Obr.1.1.

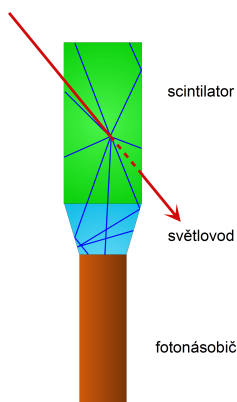


Obrázek 1.1: Zjednodušené schéma konstrukce detektoru

Scintilační detektor pracuje na principu převedení detekovaného signálu na světlo. Sestává ze dvou částí- scintilátoru a fotonásobiče. Ve scintilátoru se odehrává převod energie částice na energii světelného záření. Fotonásobič pak tento signál převádí na signál elektrický a navíc provádí jeho zesílení. Princip scintilačního detektoru ilustruje Obr.1.2. Částice (na obrázku zakreslena v červené barvě) vyvolá při průchodu scintilátorem scintilaci. Vzniklé fotony izotropně procházejí objemem scintilátoru. Na rozhraní stěn scintilačního materiálu a vzduchu buď unikají ven z objemu scintilačního materiálu, nebo se odrážejí zpět. Odrazem, který může být několikanásobný, se přes

světlovod dostávají do fotonásobiče. Mají-li vhodné vlastnosti (viz. dále), fotonásobič je pak může převést na elektrický signál.

Z popisu scintilačního detektoru je jasné, že při návrhu konstrukce jednoho detekčního celku není možné zabývat se zvlášť scintilátorem a fotonásobičem. Naopak je třeba sehrát několik konstrukčních prvků obou částí detektoru. Zaměříme se nyní na všechny tyto prvky.



Obrázek 1.2: Princip scintilačního detektoru

1.1 Scintilátor

Důležitým problémem, na který je třeba se při konstrukci detektoru zaměřit, je volba scintilačního materiálu. Za prvé je třeba, aby bylo technicky možné opracovat jej na námi požadovaný tvar. Ve shodě s obvykle používanou konstrukcí detektorů doby letu budeme vycházet z návrhu scintilátorů ve tvaru plochých desek, který bude možno konkretizovat s přihlédnutím k výsledkům simulací. To již omezuje náš výběr na scintilátory organické, které je možno na daný tvar opracovat. Dále je nutné, aby byl materiál scintilátoru spektrálně přispůsoben používanému fotonásobiči, tj. aby vyzařoval světlo o vlnové délce odpovídající citlivosti fotokatody. Těmto podmínkám vyhovuje plastový scintilátor, z polymethylmetakrylátu, od firmy Envinet [2]. Jeho parametry, uváděné výrobcem, jsou v tabulce na Obr.1.3.

Hustota	1,03 g/cm ³
Index lomu	1,57
Bod měknutí	70° C až 75° C
Světelný výkon	65 % (ve srovnání s antracemem)
Doba dosvitu	2,5 ns
Vlnová délka max.	vyzařování 420 až 440 nm

Obrázek 1.3: Parametry používaného scintilátoru

Při návrhu konstrukce scintilační části detektoru je třeba diskutovat následující problémy:

- Tvar scintilačních jednotek
- Rozměry scintilačních jednotek
- Povrch scintilačních jednotek
- Vzájemná vzdálenost scintilačních jednotek

Věnujme se nyní výše zmíněným problémům podrobněji.

1.1.1 Tvar

Jelikož na scintilátor budeme napojovat fotonásobič, je třeba jeho tvar uzpůsobit tak, aby toto napojení bylo možné. Za prvé je třeba uzpůsobit rozměry výstupní části scintilátoru rozměrům vstupní části fotonásobiče. Fotonásobič (podrobněji popsán v sekci 1.4) má tvar válce podstavou o průměru podstavy asi 5cm. Dále je třeba zvolením vhodného tvaru zařídit, aby na cestě emitovaných fotonů scintilátorem k fotonásobiči docházelo k co možná nejmenším ztrátám. Tímto problémem se zabýváme v sekci 1.3. Je také třeba vzít v úvahu, že scintilátor je z materiálu, který sice je možno opracovat, ale s určitými omezeními, danými například lámavostí materiálu. Proto bude vhodné nevolit příliš složité tvary. Pro případ, že by opracování scintilátoru na požadovaný tvar bylo během procesu seznáno technicky nemožným, je třeba vymyslet napojení scintilátoru na fotonásobič za pomoci světlovodu. To znamená sehnat vhodný materiál světlovodu a vhodné médium, které se nanese na rozhraní.

1.1.2 Rozměry

Thoušťka scintilátoru musí být alespoň tak velká, aby v něm prolétávající částice během průletu deponovala dostatečný počet fotonů. Tento počet bude určen vlastnostmi používaného fotonásobiče, jmenovitě kvantovou účinností fotokatody a zesílením. K měření doby letu potřebujeme signál z obou destiček. Proto je třeba, aby při průchodu částice první destičkou nedošlo k jejímu úplnému zabrzdění. Limity na rozměry destičky bude třeba určit pomocí simulací.

1.1.3 Povrch

Aby nedocházelo k úniku fotonů z fotonásobiče (a tedy ke ztrátě signálu), je třeba opracovat povrch scintilátoru tak, aby na něm docházelo k totálnímu odrazu. Toto jsme se v prvním návrhu rozhodli zajistit vyleštěním povrchu scintilačních jednotek. Případně můžeme povrch také polepit alobalem. Abychom zabránili vstupu fotonů ze spektra viditelného světla do objemu scintilátoru, je třeba jej polepit tmavou páskou, která denní světlo nepropouští. Detailněji je problém rozebrán v sekci 1.3, kde bylo nalezeno nejefektivnější řešení.

1.1.4 Vzájemná vzdálenost

Otázka vzájemné vzdálenosti desek je důležitá pro koincidenční obvod. Desky musí být od sebe tak daleko, aby se signály z jednotlivých scintilačních detektorů nepřekrývaly a my je tak dokázali od sebe odlišit. Nicméně stále je třeba brát v úvahu, že potřebujeme zabránit ztrátám signálu mezi destičkami, způsobeným například rozptylem částic na rozhraní 1. scintilátor- vzduch. Tento problém je diskutován v sekci 2.

typ částice	E [MeV]	E_{dep} v 1. scintilátoru [keV]	E_{dep} ve 2. scintilátoru [keV]
e	2	511	2
e	10	501	89
e	50	501	476
e	100	657	651
mu	4	501	501

Tabulka 1.1: Deponované energie elektronů a mionů pro energie, na které se zaměřily naše simulace

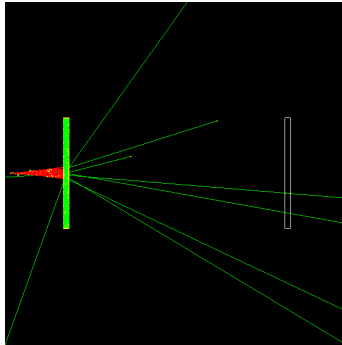
1.2 Simulace průchodu světla detekční částí

Jak bylo popsáno v předchozí sekci, důležitou součástí návrhu detektoru je zkoumání chování částic při průletu scintilátorem z hlediska deponované energie. Přesněji jde o stanovení spektra deponované energie v obou scintilátorech. Na základě znalostí materiálu scintilátoru a časového rozlišení osciloskopu můžeme stanovit nevhodnější tloušťku a vzdálenost destiček scintilátorů. K určení závislostí jsme použili simulaci v softwarovém nástroji Geant4, který slouží k simulaci průchodu částic hmotou.

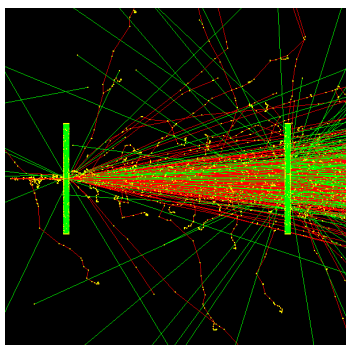
Na obrázcích 1.4, a jsou výsledky našich simulací. Detektor je umístěn v prostoru vyplněném vzduchem o rozměrech 100x100x50 cm. Scintilátory mají rozměry 20x20x2 cm. Vzdálenost mezi scintilátory je 75 cm, v souladu s vlastnostmi osciloskopu diskutovanými v sekci 2. Částice jsou vystřelovány z okraje proutoru do středu prvního scintilátoru. Jsou zde zobrazeny dráhy částic při průletu detektorem. Simulace jsme provedli pro elektrony o energiích 2,10,50 a 100 MeV. Simulace jsme provedli také pro miony o energii 4 MeV, jejichž zdrojem je kosmické záření.

V tabulce 1.1 jsou uvedeny deponované energie elektronů a mionů pro energie, na které se zaměřily naše simulace.

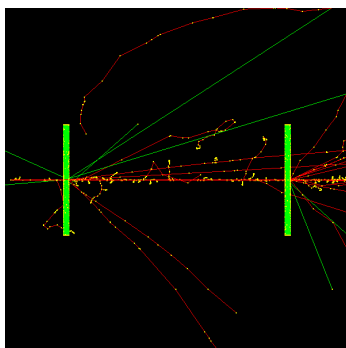
Vhodnými a snadno dostupnými částicemi k měření naším detektorem se ukázaly miony o energii 4 MeV z kosmického záření.



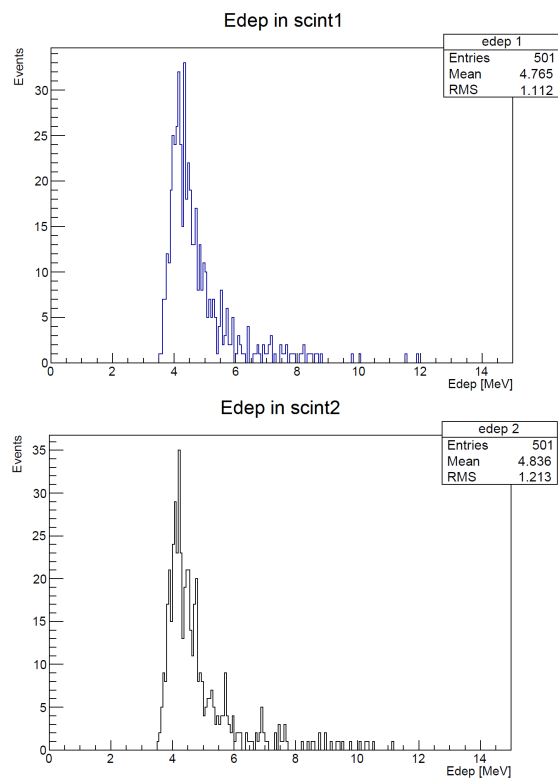
Obrázek 1.4: Simulace průchodu elektronů z beta spektra ($E=2$ MeV) scintilátory.



Obrázek 1.5: Simulace průchodu vysokoenergetických elektronů ($E=50$ MeV) scintilátory.



Obrázek 1.6: Simulace průchodu vysokoenergetických kosmických mionů ($E=4$ MeV) scintilátory.



Obrázek 1.7: Deponovaná energie kosmických mionů v 1. a 2. scintilátoru.

1.3 Simulace světla ve scintilátorech a světlovodech

Naším cílem dále bylo pochopit chování světla ve scintilátorech a světlovodech a navrhnout optimální tvar pro náš detektor. Důležitou vlastností optických materiálů je index lomu. Náš scintilační materiál má index lomu 1,57.

Použitím programu ROOT jsme naprogramovali vlastní 2D Monte Carlo simulaci, jejíž ilustraci lze vidět na Obr. 1.8. V simulaci můžeme definovat tvar scintilačního materiálu i tvar světlovodu. Poté je nagenеровáno místo průletu částice (případně více částic) a vytvoří se pevný počet fotonů náhodně do všech směrů. Program pak zjišťuje, na kterou stěnu foton dopadá a podle nastavené pravděpodobnosti odrazu na rozhraní generuje další směr či únik fotonu. Program dále umí spočítat kolik fotonů je registrováno v detektoru, vzdálenost, kterou jednotlivé fotony urazily, přepočítat ji na čas (rychlost fotonů je 30cm/ns) a zapsat do histogramu.

Pro návrh našeho detektoru bylo potřeba objasnit, kolik z celkového počtu fotonů dorazí do fotonásobiče a jaký vliv bude mít použití světlovodu. Porovnání bylo provedeno na dvou geometriích, které lze vidět na Obr. ?. Geometrie a) počítala s použitím světlovodu o délce 20 cm a zešíkmeném tak, aby zúžil boční plochu scintilátoru na okno fotonásobiče. Protože však šikmé plochy světlovodu mají tendenci odrážet fotony zpět do scintilačního materiálu, zkusili jsme nasimulovat i geometrii b), kde není světlovod použit a scintilační materiál je spojen přímo s fotonásobičem. Pro obě geometrie je použit scintilační materiál o rozměrech 20 x 20 x 2 cm.

Také je potřeba uvažovat dvě možnosti opracování povrchu - buď bude povrch vyleštěn, případně ještě opatřen další odrazivou vrstvou v podobě lesklého nátěru nebo vyleštěného kovu v podobě tenké hliníkové folie, nebo zdrsněn a opatřen černým nátěrem, aby fotony pohlcoval. Obr. 1.11. a Obr. 1.10 ukazují histogramy počtu zaregistrovaných fotonů v závislosti na čase příletu do fotonásobiče. Na Obr. 1.10. je porovnání geometrie a) bez světlovodu a b) se světlovodem pro úpravu povrchu, která bude fotony špatně odrážet. Na Obr. 1.11 je pak porovnání stejných geometrií pro dobře odrážející povrch. Z obou simulací lze učinit následující závěry:

- použitím světlovodu se počet detekovaných fotonů sníží přibližně na polovinu.
- použitím dobře odrážejícího povrchu je možné intenzitu světelného signálu až zdesetinásobit, nicméně na úkor delší doby pulzu, která by zhoršila časové rozlišení.

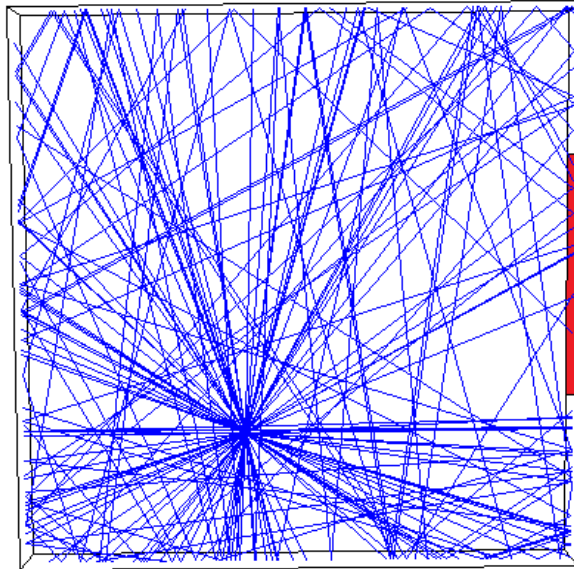
Dále jsme k simulaci použili knihoven SLitrany. Výsledek je možno vidět na Obr.1.12. Použitím čtvercové geometrie o rozměrech 20 x 20 x 2 cm bez světlovodu ukazuje na 5% efektivitu detektoru. To je v dobrém souladu s naší Monte Carlo simulací.

V nejbližší době bychom chtěli zkusit vylepšit naši simulaci a také naprogramovat jiné geometrie ve SLitrany. Také by bylo přínosné srovnat simulované geometrie experimentálně.

1.4 Fotonásobiče

Fotonásobiče jsou detektory, které převádějí slabé optické signály na signály elektrické. Zjednodušený náčrt fotonásobiče lze vidět na Obr. 1.14.

Světelné fotony dopadají průhledným okénkem na fotokatodu, kde dochází k fotoelektrickému jevu - vyrazení elektronu z povrchu katody. Ne všechny dopadající fotony uvolní elektron, proto se zavádí veličina zvaná kvantová účinnost fotokatody. Její běžná hodnota je okolo 20% [3]. Dále je elektron fokusován fokusační elektrodou.



Obrázek 1.8: Ilustrace MC simulace.

K zesílení signálu se využívá jevu sekundární emise. Dopadne-li elektron na povrch kovu z nízkou výstupní prací, vyrazí do okolí více než jeden sekundární elektron. Je-li tento proces opakován, je možné dosáhnout velkého zesílení (až 10^8) [3]. Elektronový násobící systém se skládá z 10-14 dynod, opatřených povlakem z materiálu s velkým součinitelem sekundární emise a je zakončen sběrnou elektrodou. Napětí na dynodách je rovnoměrně rozděleno, přičemž nejnižší napětí je obvykle přivedeno na první dynodu a nejvyšší na sběrnou anodu. Celkové napětí se obvykle volí 1-3 kV, rozdíl potenciálů mezi sousedními dynodami je pak zpravidla 100-200 V. Časové rozlišení fotonásobiče je dáno především fluktuacemi dob průchodů elektronů mezi dynodami a pohybuje se v řádu nanosekund. [3]

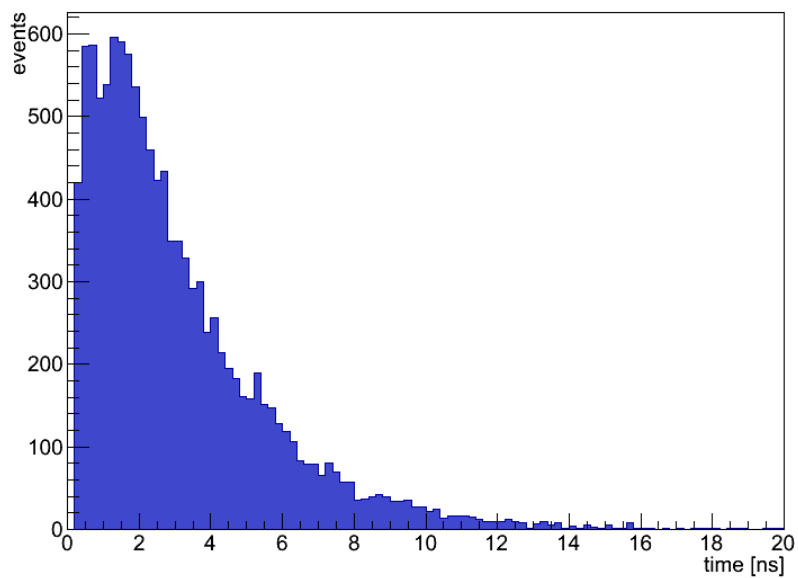
1.5 Časový průběh signálu

V této kapitole se pokusíme shrnout naše výpočty a simulace časového průběhu a velikosti výsledného signálu.

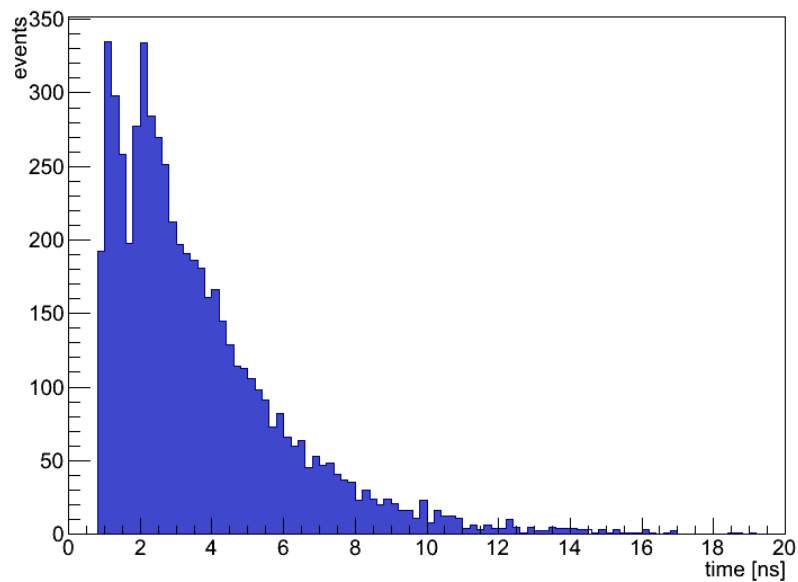
Podle simulací z Geant4 v sekci ? předpokládáme střední deponovanou energii 4 MeV. Pouze přibližně 20% této energie vytvoří fotony o vlnové délce 430 nm. Intenzita vysvícení scintilátoru v čase t je dána[3]:

$$I = I_0 \exp(-t/\tau), \quad (1.1)$$

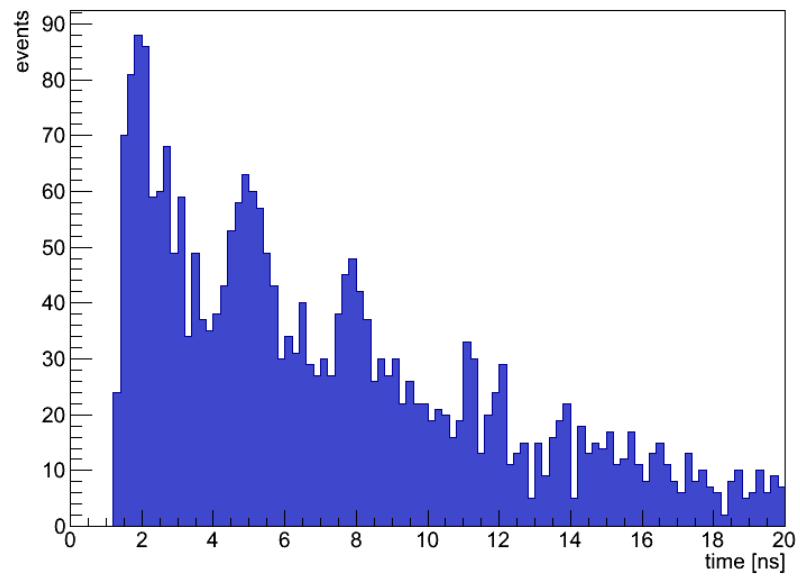
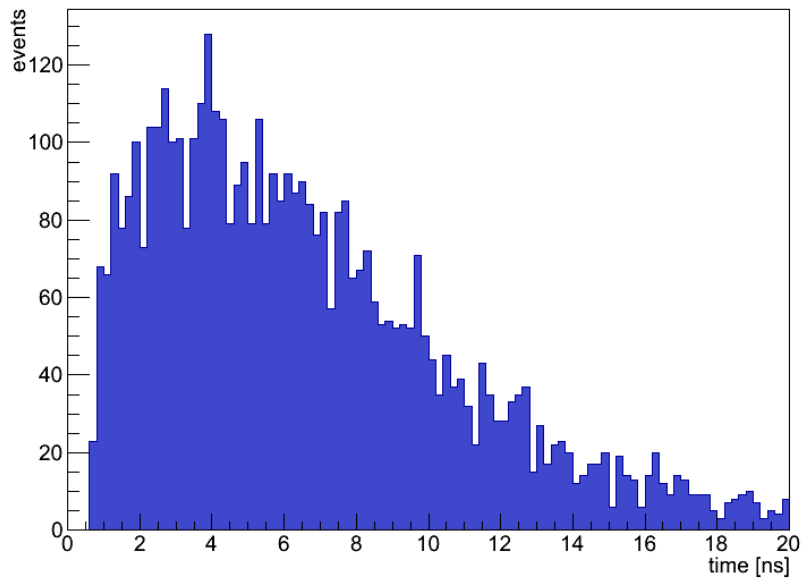
kde τ je doba dosvitu scintilátoru a I_0 je intenzita v čase $t = 0$. Scintilační materiál, který plánujeme použít, má dobu dosvitu 2,5 ns. Na základě simulací jsme dále předpokládali, že náš



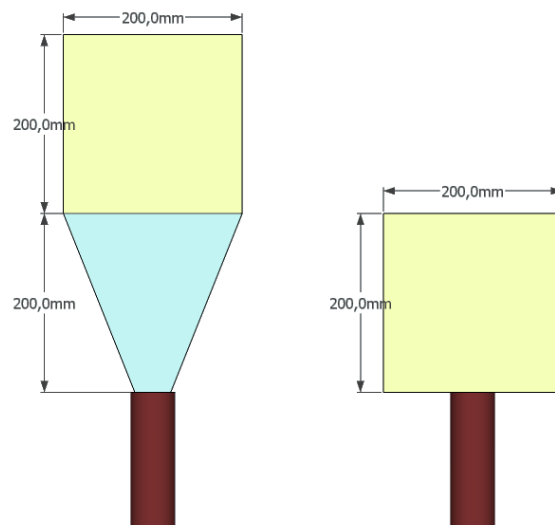
Obrázek 1.9: .



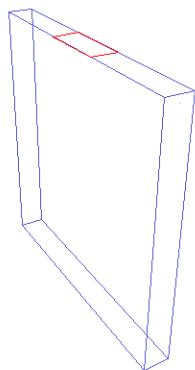
Obrázek 1.10: Počet zaregistrovaných fotonů v závislosti na čase přiletu do fotonásobiče při úpravě povrchu, která bude fotony špatně odrážet. Nahoře: bez světlovodu. Dole: se světlovodem.



Obrázek 1.11: Počet zaregistrovaných fotonů v závislosti na čase přiletu do fotonásobiče při úpravě povrchu, která bude fotony dobře odrážet. Nahoře: bez světlovodu. Dole: se světlovodem.



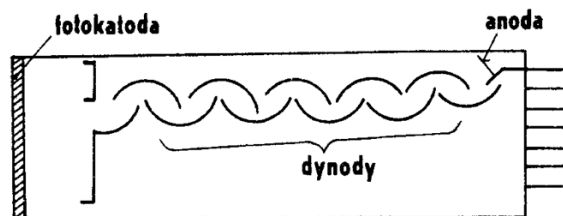
Obrázek 1.12: Použité geometrie, a) se světlovodem, b) bez světlovodu.



GlobStat

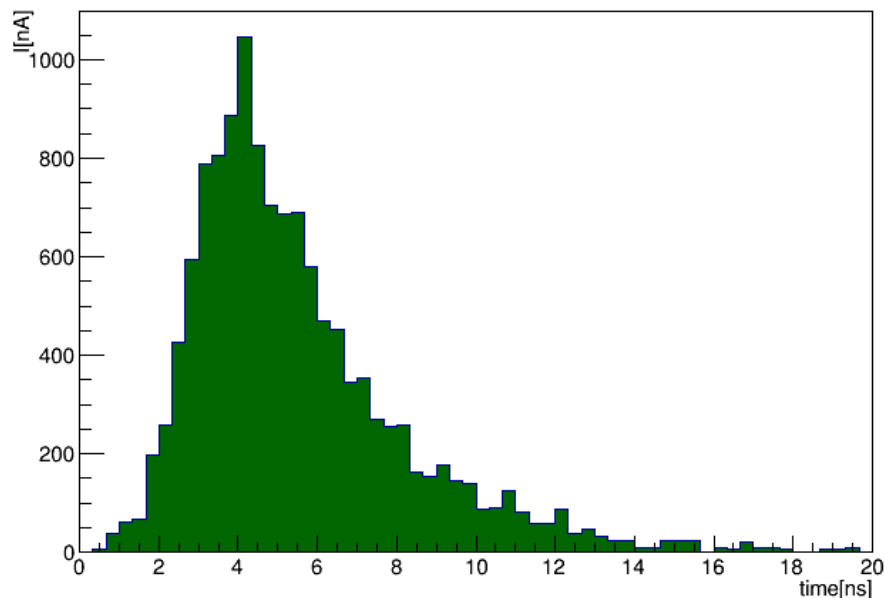
Nb. of photons generated	: 5000
Lost for abnormal reasons	: 0
Lost because abs. length 0	: 0
Eff. nb. of gen. photons	: 5000
Nb. of photons seen	: 217
Efficiency	: 0.0434
error	: +/-0.00288154
Lost for any reason	: 4783
Lost in materials	: 1828
Lost before wrapping	: 2955
Lost in wrapping	: 0
Lost leaving setup	: 0
Lost because too late	: 0
Lost b. too few e- in APD	: 0
Lost b. acceptance angle	: 0
Lost b. quantum efficiency	: 0

Obrázek 1.13: Simulace čtvercové geometrie ve SLitrany.



Obrázek 1.14: Zjednodušený nákres fotonásobiče [4]

scintilátor bude mít nízkou odrazivost povrchu a nebude použit světlovod. V takovém případě činí ztráty světelného signálu přibližně 95%. Dále jsme započítali typické hodnoty fotonásobičů - kvantovou účinnost fotokatody 20% a zesílení fotonásobiče 10^8 . Výsledný signál je pak fotonásobičem gaussovsky rozmazán se střední kvadratickou odchylkou $\sigma = 1$ ns. Tím je možno získat průběh počtu fotonů za jednotku času na anodě fotonásobiče. Přepočítáním na proud (náboj/čas) dostaneme výsledek ve formě grafu na Obr. 1.15.



Obrázek 1.15: Tvar a časový průběh signálu

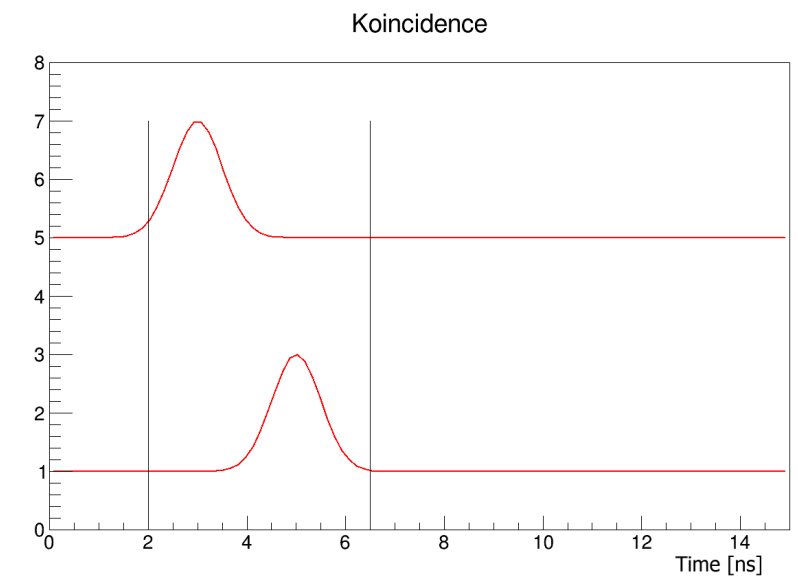
Kapitola 2

Koincidenca

2.1 Frekvencia triggeru

Pri zostavení scintilačného detektoru doby letu je dôležitou súčasťou koincidenca. Koincidenčný obvod pozostáva z dvoch vstupov a jedného výstupu, pričom výstup je aktivovaný keď sú signály zo vstupov prijaté v rámci určitého krátkého časového intervalu, kedy ešte povieme, že dorazili v zhodnom čase. Výstup potom zaznamená, ako často boli dva vstupné signály prijaté naraz, teda máme frekvenciu triggeru.

Na obrázku Obr. 2.1 je znázornené ako funguje koincidenca. Dva prichádzajúce signály z dvoch rôznych vstupov sú v koincidenzii (zaznamenali sme ich v rámci určitého časového intervalu).



Obrázek 2.1: Ilustrácia koincidence.

Ako už bolo spomenuté vyššie, detektor doby letu sa skladá z dvoch scintilátorov vzdialených od seba na určitú vzdialenosť. Pri prelete častice detektorom doby letu vzniknú dva signály spôsobené interakciou častice so scintilátormi. Pri vhodnom nastavení časového okna, kedy ešte uvažujeme, že sú signály v koincidencii, určíme jednotlivé udalosti a časový rozdiel medzi prichádzajúcimi signálmi.

Signál z fotonásobiča nie je ideálny pulz, ale má dlhšie doznievanie. Koincidencia bola vyskúšaná na ideálnom prípade, kedy generátor generoval dva signály v pulznom režime. Zostavenie aparatury je na Obr. 2.2. Bol použitý Digital Phosphor Oscilloscope Tektronix 4000 Series [1]. Oba výstupy boli vyvedené do osciloskopu. Cieľom bolo nájsť na osciloskope vhodné nastavenie tak, aby bolo možné zo signálov vyčítať plnohodnotné informácie.



Obrázek 2.2: Zostavenie aparatury.

V tabuľke Tab 2.1 sú zhrnuté nastavenia výstupných signálov z generátoru.

	1. signál	2. signál
režim	pulzný	pulzný
frekvencia	1 kHz	1,1 kHz
amplituda	100 mV	200 mV
duty	10 %	10 %

Tabulka 2.1: Nastavenia výstupných signálov z generátoru.

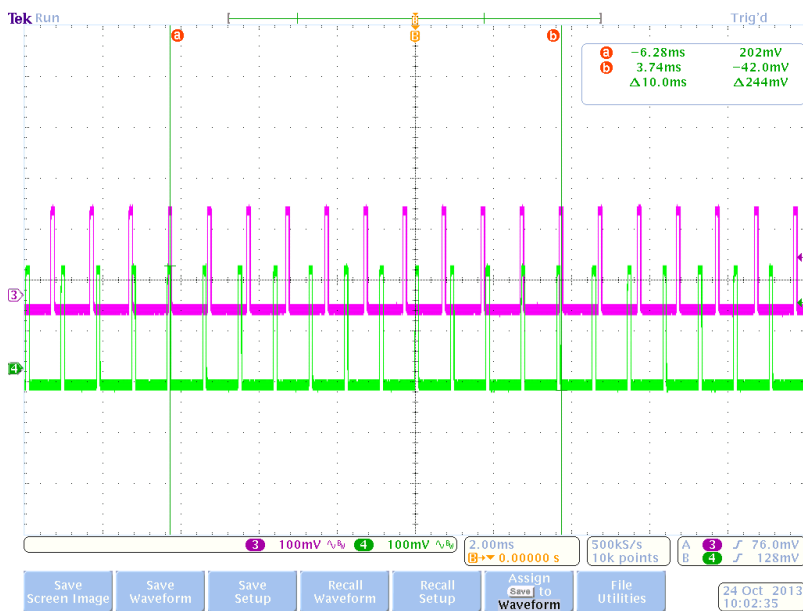
Osciloskop bol nastavený nasledovne: impedancia 1 M Ω , šírka pásma 20 MHz. Zobrazené boli oba vstupy. Bolo potrebné nájsť taký typ triggeru, aby z oboch vstupov boli zobrazené jasné pulzy a tým bolo možné odčítať plnohodnotné informácie.

Takýto trigger je tzv. Sequence Trigger. Sú dva spôsoby ako takýto trigger funguje:

- po zameraní sa na jednu udalosť v prvom vstupe trigger spustí až po určitom počte udalostí v druhom vstupe
- po zameraní sa na jednu udalosť v prvom vstupe trigger zatriggruje na druhý vstupný signál až po určitom časovom intervale

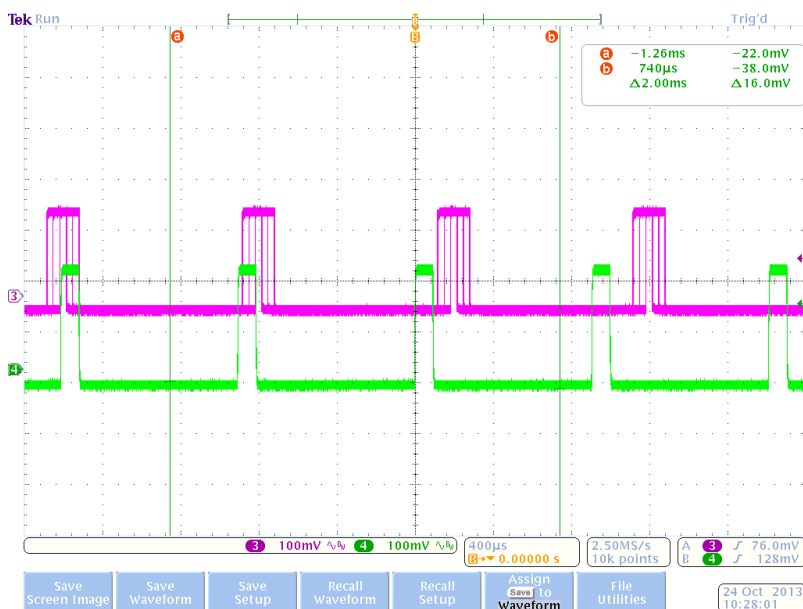
Pritom je potrebné dávať pozor, aby oba vstupy mali coupling DC a aby sa trigger spúšťal pri vzostupnom signále.

Na Obr. 2.3 je znázornená skúška prvého typu Sequence Triggru, teda oneskorený trigger po určitom počte udalostí, ktoré je možné nastaviť. V tomto konkrétnom prípade sa trigger spustí po 6 udalostiach. Po vhodnom nastavení horizontálnej škály je možné zistiť časový rozdiel medzi dvomi signálmi v koincidenii, tj. dvomi prekrývajúcimi sa signálmi. Rozdiel činil 10 ms, čo je presne prevrátená hodnota rozdielu frekvencií jednotlivých výstupov z generátoru. Frekvencia triggeru sa dá zistiť pripojením čítača k osciloskopu. Pri takomto zapojení sa trigger spúšťal s frekvenciou 100 Hz.



Obrázek 2.3: Záznam osciloskopu pri meraní koincidence dvoch signálov. Sekvenčný trigger nastavený po 6 udalostiach.

Nastavenie druhého typu sekvenčného triggeru bolo po čase 4,44 ms. Záznam z obrazovky pri tomto type zapojenia je možné vidieť na Obr. 2.4. Frekvencia triggeru pri tomto zapojení bola takisto približne 100 Hz. Najnižší čas, po akom je schopný tento typ osciloskopu zamerať sekvenčný trigger na udalosť z druhého vstupu, je 4 ns. Táto hodnota bude pre nás stále dosť vysoká, ako ukážeme v nasledujúcej časti.



Obrázek 2.4: Záznam osciloskopu pri meraní koincidencia dvoch signálov. Sekvenčný trigger nastavený po čase 4,44 ms.

2.2 Vyčítanie

Presnosť vyčítania pulzov závisí na vlastnostiach osciloskopu a na časovej charakteristike fotonásobiča. Doba dosvitu základného typu plastového scintilátoru činí 2,5 ns, teda trvá 2,5 ns kým signál z jedného pulzu odoznie [2]. Digital Phosphor Oscilloscope Tektronix 4000 Series [1] je schopný zaznamenať 2,5 GS/s, v prepočte 2,5 bodu/ns. Pretože doba dosvitu scintilátoru je 2,5 ns, čiže sme schopní rozlíšiť 6,25 bodu daného signálu.

Častice prilietajúce z vesmíru majú približne rýchlosť svetla. Rýchlosť svetla pri prepočte na vhodné jednotky činí $c = 30 \text{ cm/ns}$. Aby bolo možné dostať dva jasné signály pri prechode častice jedným a následne druhým scintilátorom, je potreba počkať kým pulz z fotonásobiča úplne odoznie. Keď uvažíme rýchlosť častíc rovnakú ako rýchlosť svetla a dobu dosvitu plastového scintilátoru, dva scintilátory vyššie diskutovaného návrhu detektoru doby letu musia byť od seba vzdialené aspoň 75 cm. Takáto vzdialenosť je príliš veľká. V priestore medzi scintilátormi častica môže stratiť dost energie na to, aby v druhom scintilátore už nezanechala dostatočne viditeľnú stopu, alebo aby sa rozpadla na menej energetické častice pred tým ako dorazí do druhého scintilátoru.

Z týchto dôvodov je nutné zmierniť naše podmienky. Prvá možnosť je, že sa nebude čakať kým signál na osciloskope úplne odoznie, ale bude stačiť zaznamenať len nábeh pulzu. Tým by sa vzdialenosť medzi scintilátormi značne zmenšila. Druhá možnosť je, že sa budú detekovať len ťažšie častice, ktoré k nám neletia rýchlosťou svetla, ako napríklad jadrá hélia, α . Tu je ale problém, že častice α sa pravdepodobne úplne zastavia hneď v prvom scintilátore.

Pri vyčítaní signálu budeme používať osciloskop Digital Phosphor Oscilloscope Tektronix 4000 Series [1]. Ak sa bude používať sekvenčný trigger ktorý zameriava signál z druhého vstupu po časovom intervale, najnižšia možná hodnota je 4 ns. Takýto časový rozostup medzi signálmi v

scintilátoroch je príliš dlhý. Ak uvažujeme prelet častice s rýchlosťou svetla, vzdialenosť medzi scintilátormi by musela byť približne 120 cm, čo je už nepriaznivá hodnota pre účel merania na detektore doby letu.

Z vyššie diskutovaných bodov vyplýva, že koincidenčné zapojenie pomocou osciloskopu nie je vhodné pre konštrukciu detektoru doby letu. K dispozícii sú ďalšie možnosti, ako napríklad koincidenčný obvod pomocou modulov, ktoré oneskorovacím vedením umožňujú neskoršie vyčítanie signálu z druhého scintilátoru, čím by sa mohla predĺžiť doba po ktorej sa má sekvenčný trigger zopnúť, teda bude mať dost času na vyhodnotenie koincidence dvoch prichádzajúcich signálov.

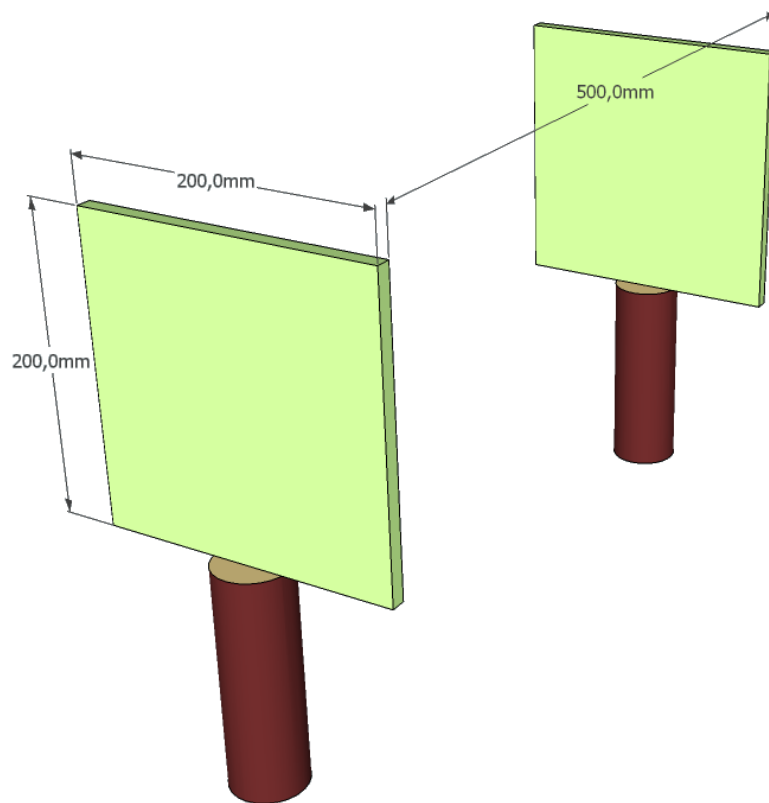
Závěr

Naším cílem bylo navrhnout detektor doby letu pro částice předem nespécifikovaného typu. V souladu s obvyklou konstrukcí takovýchto aparatur jsme navrhli detektor sestávající ze dvou scintilačních detektorů a koincidenčního obvodu.

Dle našich požadavků na tvar a vlastnosti scintilátoru, s ohledem na rozměry a spektrální citlivost běžně používaných fotonásobičů, jsme zvolili organický scintilátor z polymethylmetakrylátu. Přesné rozměry scintilátoru jsme získali na základě našich výpočtů a simulací. Z technického hlediska bylo třeba zabránit zabrzdění částice v prvním scintilátoru a také příliš velkému rozptylu svazku vylétávajícího z prvního scintilátoru. Tato kritéria byla také klíčová při určení částic, které budeme aparaturou detekovat. Za vhodné kandidáty jsme prohlásili kosmické miony o energii 4 MeV.

Dále bylo potřeba objasnit, kolik z celkového počtu fotonů dorazí do fotonásobiče, přesněji jaký vliv bude mít použití světlovodu a případná úprava povrchu scintilátoru. Na základě dalších simulací bylo zjištěno, že použitím světlovodu se počet detekovaných fotonů sníží přibližně na polovinu a použitím dobře odrážejícího povrchu je možné intenzitu světelného signálu až zdesetinásobit, nicméně na úkor delší doby pulzu, která by zhoršila časové rozlišení. K používanému scintilátoru jsme také určili vhodný fotonásobič a vypočetli jsme tvar a časový průběh signálu na výstupu jedné scintilační detekční jednotky. Celkově byla konstrukce dvou scintilačních detekčních jednotek stanovena dle Obr.2.5.

Řešení uvedených parametrů detektoru bylo třeba provádět současně s řešením koincidenčního obvodu, který limituje minimální vzdálenost mezi scintilačními detekčními jednotkami. Nejnižší možný rozestup mezi dvěma signály dosažitelný pomocí osciloskopu nedosahuje pro naše účely ideálních hodnot, nicméně je třeba ještě provést konkrétní testy. V budoucnu zkusíme zapojit scintilační jednotku do osciloskopu a podle výsledků měření budeme parametry našeho detektoru upřesňovat, případně bude třeba zvolit jiný typ koincidenčního obvodu.



Obrázek 2.5: Konstrukce aparatury

Literatura

- [1] Digital Phosphor Oscilloscopes User Manual, <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/7293027.PDF>
- [2] Envinet, www.envinet.cz [30.11.2013]
- [3] Knoll, G. F. *Radiation Detection and Measurement*, 3rd ed. John Wiley and Sons, 2000.
- [4] Pruša, P., and Gerndt, J. *Detektory ionizujícího záření*. Česká technika, 1995.