

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jan Hladký; Ivan Lehraus; P. Mokry  
Nové metody pro zobrazení drah částic

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 8 (1963), No. 2, 71--80

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138543>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1963

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

sorbované vrstvy plynu). Mnohem citlivější než spontánní magnetizace je magnetická anizotropie způsobená nižší symetrií v obklopení povrchových atomů stejnými sousedy (povrchová anizotropie). Existuje zatím teoretický odhad její předpokládané velikosti a první měření jsou s ním v řádovém souhlasu. Povrchová anizotropie se silně mění, jak se ukazuje, je-li na povrchu vrstva cizích atomů. Záleží přitom na složení povrchové vrstvy; zvláštní případy vznikají, je-li povrchem rozhraní feromagnetické a jiné krystalické fáze, např. antiferomagnetického oxydu. Studium povrchové anizotropie je však teprve v počátcích.

Důležité poznatky přináší srovnání strukturních, magnetických a elektrických vlastností tenkých vrstev. Vliv tloušťky vrstvy na elektrické vlastnosti je kvalitativně objasněn, kdežto o vlivu struktury, tj. zejména defektů, je známo dosud velmi málo.

Závěrem shrneme hlavní výsledky studia magnetických vlastností tenkých vrstev feromagnetických kovů:

1. Spontánní magnetizace dostatečně čistých tenkých vrstev prakticky nezávisí na tloušťce v oboru nad 20 Å v souhlase s teorií. Vrstvy tenčí než 20 Å se zatím nepodařilo připravit souvislé.

2. Užití nových metod, jako je transmisní elektronová mikroskopie a spinvlivná rezonance, umožnilo experimentálně řešit některé základní otázky, jako je rozložení magnetizace ve stěně a měření konstanty výměnné interakce.

3. Za určitých okolností je možno přemagnetovat tenké vrstvy homogenní rotací za doby řádově  $10^{-9}$  sec. K tomu poznamenejme, že nejrychlejší paměť s feritovými elementy má vybavovací dobu  $7 \cdot 10^{-7}$  sec a trvání přemagnetizace je při tom nejpodstatnějším omezením rychlosti. Paměť s tenkými vrstvami (je již v provozu v zahraničí) je téměř desetkrát rychlejší a trvání přemagnetizace je při tom jen 5 % celkové vybavovací doby.

#### Literatura

[1] H. MAYER: *Physik dünner Schichten*. Stuttgart, I (1950), II (1955).

[2] W. ANDRÄ, Z. FRAIT, V. KAMBERSKÝ, Z. MÁLEK, U. RÖSLER, W. SCHÜPPEL, P. ŠUDA, L. VALENTA, G. VOGLER: *Physica status solidi* 2 (1962).

[3] J. KACZÉR: *PMFA* 4, 54 (1959).

## NOVÉ METODY PRO ZOBRAZENÍ DRAH ČÁSTIC

JAN HLADKÝ, IVAN LEHRAUS, PŘEMYSL MOKRÝ, Praha

Studium základních vlastností elementárních částic a jejich vzájemného působení se provádí různými metodami zobrazujícími a detekčními. Tyto původně samostatně používané metody byly postupně zdokonalovány, doplňovány novými metodami a navzájem kombinovány. Z metod zobrazujících dráhy částic bylo nejdříve rozvinuto

použití nukleárních emulzí, později expanzní a difúzní mlžné komory. V nedávné době byly sestrojeny bublinkové komory, výbojková hodoskopická komora a konečně jiskrové a scintilační komory. Z detekčních metod se nejdříve používalo ionizačních komor, Geigerových-Müllerových počítaců, proporcionálních a jiskrových počítaců. S rozvojem rychlé impulsní elektroniky, fotonásobičů a zesilovačů obrazu se přesunuje těžiště práce zejména v oboru elementárních částic na scintilační a Čerenkovovy detektory.

Postupným vývojem přechází fyzika vysokých energií ke studiu řidce se vyskytujících jevů, zvyšují se nároky na přesnost měření a roste množství požadovaných informací o jednotlivých interakcích (např. při měření na 30 GeV urychlovači, které trvalo půl roku, byla registrována průměrně jedna interakce neutrína za tři dny). V současné době se obvykle studuje interakce způsobená jedinou rychlou částicí z intenzivního svazku urychlovače. Detekční metody se proto dnes kombinují tak, že detektory ovládají zařízení zobrazující dráhy částic. Je zde žádoucí zkrácení účinné detekční doby zobrazujících metod.

Sledované relativistické částice s kinetickou energií řádu až  $10^{10}$  eV (10 GeV) ztrácejí při průchodu hmotným prostředím jen nepatrný zlomek své původní energie; z něho lze pro detekční účely využít opět jen část (např. proton s kinetickou energií vyšší než 1 GeV ztratí v prostředí o hustotě  $1 \text{ g/cm}^3$  přibližně 2 MeV/cm dráhy). Energie částice předaná prostředí vyvolá jev, který zobrazí buď přímo dráhu částice, nebo jen indikuje průlet částice. V obou případech je nutné k záznamu jevu vnější zesílení. Tak ionty vytvořené v mlžných komorách podél dráhy částice v prostředí přesycených par se stávají centry pro tvoření kapalně fáze. Narůstání kapiček vede k zviditelnění dráhy prolétlé částice. Přibližně inverzní jev probíhá v prostředí přehřáté kapaliny v bublinkové komoře. V emulzích se vytvoří předáním části energie prolétlé částice dislokace v krystalové mříži AgBr. Vzniklý latentní obraz se vyvoláním chemicky zesílí tak, že podle dráhy částice se seskupí sled zrněk Ag. Podobně lze zobrazit dráhy částic i v monokrystalu AgCl/1/. Ve výbojkovém hodoskopu a jiskrové komoře se dosáhne zviditelnění dráhy částice zesílením vzniklým lavinovitou ionizací plynu, která vede ke vzniku viditelného výboje po aplikaci vysokonapětového impulsu na elektrodách. Na stejném principu zesílení pracuje Geigerův-Müllerův počítač, který indikuje pouze průlet částice.

Odlišným způsobem pracují scintilační a Čerenkovovy detektory, v nichž část energie, kterou částice předala detektoru, vystupuje z detekčního prostoru ve formě světla. Tento signál je převeden na elektrický impuls a pak zesílen ve fotonásobiči nebo elektronově optickým zesilovači obrazu (scintilační komory).

## NUKLEÁRNÍ EMULZE

Jak již bylo uvedeno, byla tato metoda nejdříve rozvinuta, protože je experimentálně nejméně náročná [1]. Přitom přesnost rekonstrukce drah je ze všech používaných metod nejlepší, protože prostorová rozlišovací schopnost emulze je řádu desetin

mikronu. Jisté omezení přesnosti je způsobeno smrštěním emulze při vyvolání (distorze drah), měřicí přesnost však zůstává alespoň o řád vyšší než u ostatních metod. Emulze poskytuje jako přímý údaj o částici její ionizaci, další údaje, jako velikost náboje, impuls a hmotu částice, je možno určovat pouze nepřímo. Pokud se studují interakce částic s jádry atomů prostředí, obsahuje emulze několik druhů poměrně složitých jader, což ztěžuje interpretaci jevu. Přímé rozlišení znaménka a velikosti náboje ve vnějším magnetickém poli si v emulzi vyžaduje intenzity pole, které se staticky nedají vůbec realizovat a v pulsním provozu elektromagnetů leží na hranici technických možností. Principiální vlastností emulze je, že nemůže poskytnout údaj o okamžiku průletu částice; emulze je citlivá nepřetržitě po dobu expozice, takže ve svém objemu zaznamenává všechny jevy, které v ní během expozice nastaly. Proto je emulze velmi obtížně použitelná pro studium řídkých jevů v hustém svazku primárních částic.

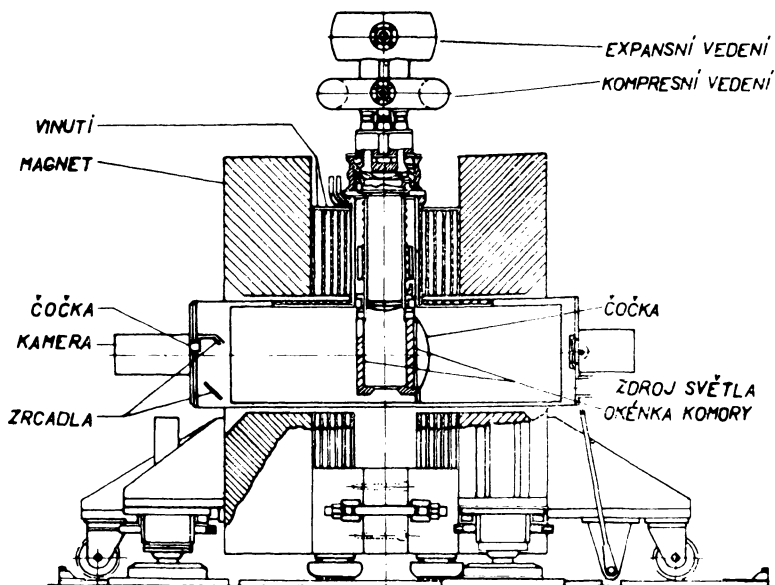
### MLŽNÁ KOMORA

Další metoda pro získání drah ionizujících částic je použití expanzních nebo difúzních mlžných komor, především vysokotlakých vodíkových. Expanzní komoru lze spouštět až po průletu částice systémem detektorů, které jsou uspořádány podle požadavků experimentu. Poměrně malá absorpce v plynné náplni komory se dá zvýšit buď zvyšováním tlaku plynu, nebo vkládáním desek absorbátoru do prostoru komory. Prostorové souřadnice zachycené dráhy částice se rekonstruuji z několika stereofotografií. Nevýhodou mlžných komor při použití u urychlovačů s intenzívními svazky částic je poměrně dlouhá citlivá doba komory (expanze 10—20 ms; růst kapek 50—250 ms) i zotavovací doba, po níž je možná další expanze (desítky vteřin). Rozměry a tvar komory, počet a vzájemné vzdálenosti absorpčních desek v prostoru komory jsou omezeny podmínkami, které jsou nutné pro správnou funkci komory. Mlžná komora musí být udržována na konstantní teplotě s přesností  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

### BUBLINKOVÁ KOMORA

Novější, účinnější a dnes nejvíce používaná metoda pro zachycení drah ionizujících částic v urychlovačů je metoda bublinkové komory. Ionizující částice vytvoří v přehřáté kapalině podél své dráhy místa lokálního přehřátí, která jsou centry varu kapaliny, a tedy i centry tvoření a růstu bublin. Dráha částice, vytvořená sledem bublin, se fotografuje na dva nebo obvykle tři stereosnímky. Pro náplň komory lze použít celé řady kapalin ( $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$ , He,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{WF}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$ , Xe) vhodných pro studium různých typů interakcí přímo ve vnitřním prostoru komory. Použití kapalného vodíku, hélia nebo xenonu poskytuje interakce vždy s jedním typem jader. Hustoty těchto i dalších používaných prostředí a střední radiační délky leží mezi těmito hodnotami pro mlžné komory a emulze. Bublinková komora určuje dráhy částic s větší přesností než ostatní metody, vyjma nukleární emulze. Některé náplně komory dovolují vložit

komoru do magnetického pole běžných intenzit, takže lze ze zakřivení drah nabitých částic určit znamení náboje a moment hybnosti částice. Bublinková komora poskytuje rovněž informaci o ionizaci částice, i když s menší přesností než emulze a mlžná komora. Citlivá doba komory je kratší než 1 ms. Po expanzi snímek zachytí všechny

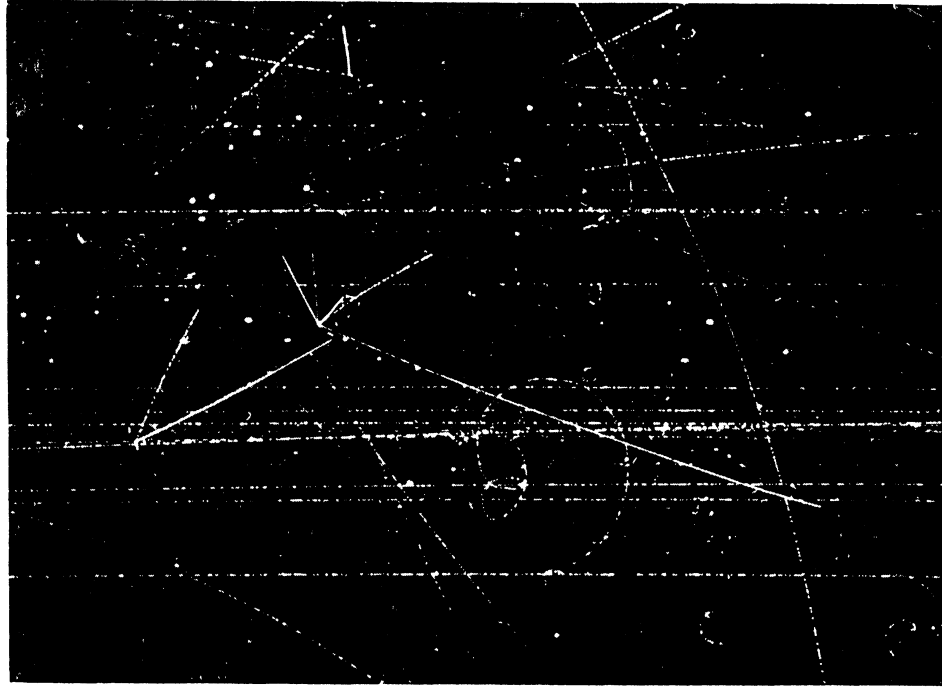


Obr. 1. Konstrukční schéma bublinkové komory s příslušenstvím a magnetem.

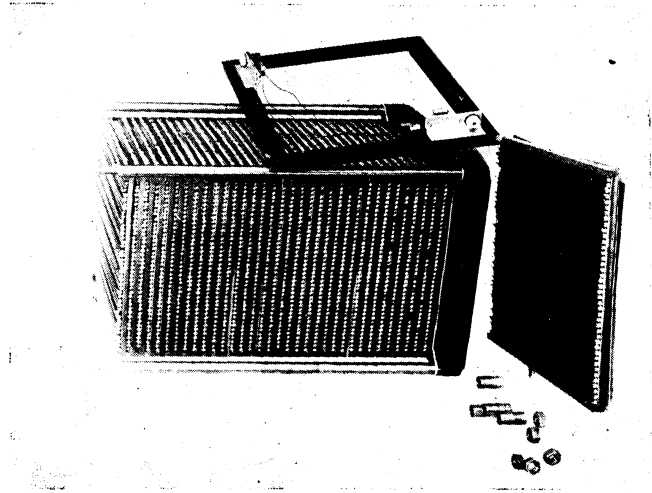
dráhy částic v jednom impulsu urychlovače, proto se bublinková komora příliš nehodí pro práci v intenzivních svazcích (obr. 2). Objem komory může dosáhnout řádu  $1 \text{ m}^3$ , avšak zejména velká komora musí mít jednoduchý tvar, aby byly splněny potřebné podmínky pro šíření tlakové vlny při expanzi. Vkládání hustých absorbátorů do detekčního prostoru komory je velmi obtížné. Toto omezení lze vykompenzovat možností dosti široké volby různě hustých náplní komory. Velký počet snímků vyžaduje náročné a nákladné automatické vyhodnocování. Aparatura bublinkové komory je konstrukčně velmi náročná a provozní náklady jsou značné. ALVAREZ uvádí pro vodíkovou komoru o rozměrech viditelného objemu asi  $180 \times 51 \times 38 \text{ cm}$  ( $520 \text{ l}$ ) v magnetickém poli s intenzitou  $18 \text{ kG}$  při 24hodinovém provozu s frekvencí pracovních cyklů  $11 \text{ min}^{-1}$  provozní náklady  $4\,300$  dolarů. Z toho připadá  $8,2\%$  na  $5\,500 \text{ l}$  kapalného vodíku,  $25,6\%$  na elektrickou energii pro napájení magnetu ( $2,3 \text{ MW}$ ) a příkon chladicího systému ( $175 \text{ kW}$ ),  $30,2\%$  na fotografický materiál, průměrně  $15,1\%$  na údržbu a opravy ( $14$  pracovníků) a  $20,9\%$  na mzdy  $15$  členů obsluhy. Pořizovací náklady této komory byly  $2\,100\,000$  dolarů.

Hlavní nevýhoda bublinkové komory je v tom, že se nedá spouštět po průletu ionizující částice vhodným systémem detektorů. Odpadá tak možnost registrace pouze

HLADKÝ, LEHRAUS, MOKRÝ:  
NOVÉ METODY PRO ZOBRAZENÍ DRAH ČÁSTIC

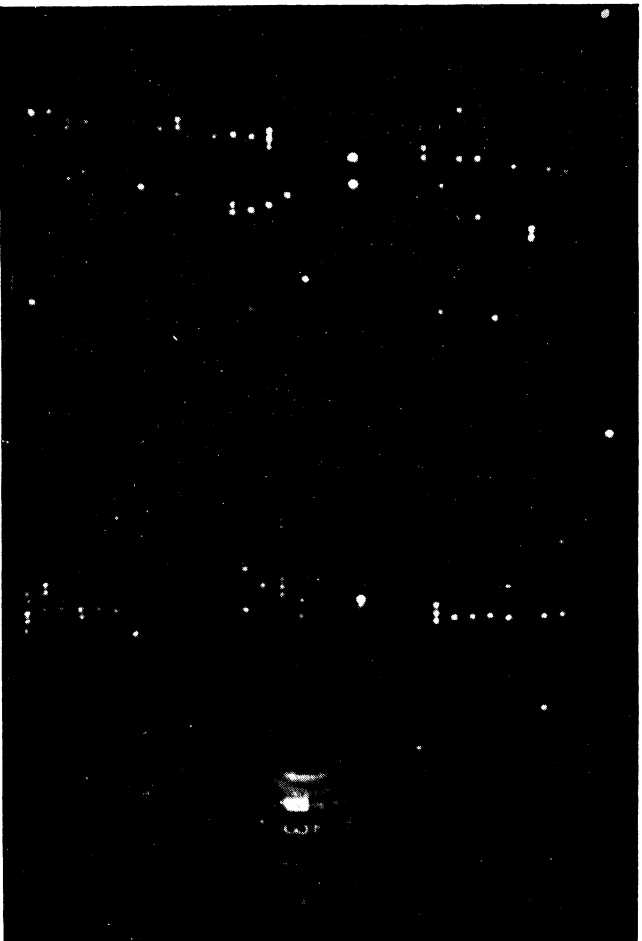


Obr. 2. Snímek z propanové bublinkové komory SÚJV Dubna, na kterém byl objeven vznik a rozpad  $\bar{\Sigma}^-$  hyperonu.

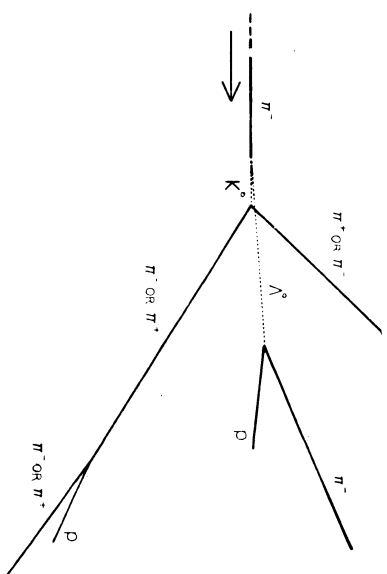
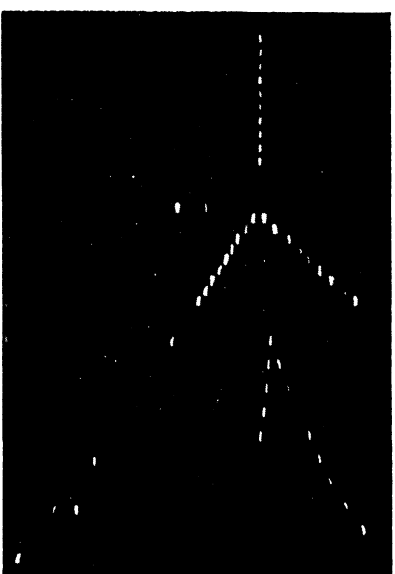


Obr. 3. Uspořádání neónových výbojek v hodoskopické komoře (Fyzikální ústav ČSAV, Praha).

HLADKÝ, LEHRAUS, MOKRÝ:  
 NOVÉ METODY PRO ZOBRAZENÍ DRAH ČÁSTIC



*Obr. 4.* Snímek dráh relativistických částic kosmického záření v hodoskopické komoře; jasný bod části obrázku je výboj v jiskrové komoře vložené do prostoru hodoskopické komory (Fyzikální ústav ČSAV, Praha).



*Obr. 6.* Snímek interakce  $\pi^-$  mezonu v jiskrové komoře (Brookhaven National Laboratory).

hledaného jevu. Několik zajímavých případů (např. nové částice) je potom nutno vybírat i z desítek tisíc snímků. Vyhodnocování snímků ze zmíněné vodíkové komory vyžaduje při plně automatizovaném proměřování drah a při výpočtu na velmi rychlých elektronických počítačích strojích (IBM 709) asi 10 minut na jeden snímek s průměrně 20 drahami.

Následující metody je možno (podobně jako dříve uvedenou expanzní mlžnou komoru) spouštět vhodným detekčním zařízením, které umožňuje vybírat a registrovat pouze hledané případy.

### HODOSKOPICKÁ KOMORA

Dráha ionizující částice, která prošla hodoskopickou komorou, je zobrazena sledem svítících neónových výbojových trubic (obr. 3). Záblesk ve výbojkách, z nichž je hodoskopická komora sestavena, je po aplikaci silného impulsního elektrického pole způsoben lavinovitou ionizací v těch výbojkách, ve kterých prolétlá částice vytvořila ionizaci elektrony. Hodoskopická komora se spouští systémem detektorů. Konstrukce komory je poměrně levná a jednoduchá. Aby byl získán průběh dráhy v prostoru, je možno systémy výbojek zkřížit a fotografovat je ze dvou pohledů (obr. 4). Střední hustota hodoskopické komory je takového řádu, že je možno použít magnetického pole. Nevýhodou komory je dlouhá zotavovací doba (až několik vteřin) a malá prostorová rozlišovací schopnost, závislá na rozměrech výbojek (minimální použitelný průměr je asi 3—4 mm). Pro tyto vlastnosti se hodoskopická komora uplatňuje spíše ve studiu kosmického záření. Její vývoj pro měření na urychlovačích dále nepokračoval, protože byl nahrazen jiskrovou komorou.

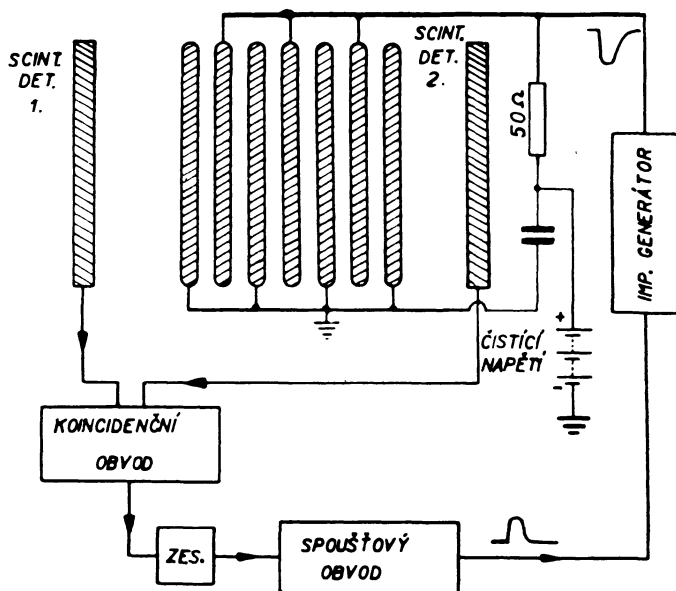
Přechod k jiskrovým komorám tvoří práce FUKUIOVA, kde je zkrácen elektrický impuls na vnějších elektrodách výbojek, takže je zamezeno rozšíření výboje po jejich celém objemu a dráha částice je pak tvořena sérií lokálních výbojů podobně jako u jiskrové komory.

### JISKROVÁ KOMORA

Jiskrová komora vytváří obraz dráhy ionizující částice sledem jiskrových výbojů mezi několika paralelními elektrodami. Vznikla spojením jiskrových počítačů s detekčním systémem a elektronikou hodoskopické komory. Vhodnou volbou vzdáleností elektrod, tlaku plynu a tvarem i velikostí impulsu vysokého napětí lze dosáhnout lokalizování jiskrových výbojů mezi jednotlivými elektrodami pouze podél ionizované dráhy vytvořené částicí, která prolétla komorou. Prostorová rozlišovací schopnost je o něco horší než u bublinkových komor a je omezena v podstatě vzdáleností elektrod a úhlem dráhy částice vzhledem k rovině elektrod. Příčné rozměry jiskrových výbojů jsou asi 1 mm, prostorový rozptyl jisker napříč skutečné dráhy částice je asi  $\pm 0,5$  mm, tj. u komory o rozměrech  $1 \times 1$  m lze změřit dráhu částice



s přesností 0,1%. Funkce komory není závislá na materiálu, rozměrech nebo na geometrickém tvaru a na uspořádání elektrod. Podle povahy experimentu lze celkem snadno sestavit jednoúčelovou jiskrovou komoru, a to v krátké době s malými pořízovacími náklady. Výběrem materiálu (hliník, grafit, ocel atd.) a volbou tloušťky



Obr. 5. Blokové schéma zapojení jiskrové komory se spouštěcím systémem.

elektrod (fólie nebo masívní desky) lze dosáhnout v širokých mezích požadované absorpční vlastnosti. Aby nedocházelo k parazitním výbojům, postačí provést povrchovou úpravu elektrod leštěním (zaoblit nebo zakrýt hrany) a zamezit znečištění elektrod při sestavování komory. Obvykle má jiskrová komora elektrody ve tvaru paralelních desek. Pro rozptylové experimenty byly sestaveny komory s válcovými souosými elektrodami. Podobně pro mapování svazku urychlovače byly zhotoveny jiskrové komory s elektrodami uspořádanými do drátové mřížky, v nichž se snímek dráhy pořizuje ve směru průletu částice.

Jiskrová komora může být v principu plněna libovolným plynem. Dnes se však používá převážně neónu, argonu nebo jejich směsi, popřípadě s příměsí alkoholových par; v inertních plynech může být totiž zobrazeno několik drah současně. Na funkci komory mají vliv pouze elektronegativní příměsi v náplni ( $O_2$ ), jinak nejsou požadavky na čistotu náplně příliš přísné. Není proto třeba komoru při sestavování evakuovat, odplyňovat a plnit. Postačí např. po sestavení použít kontinuálního proudu příslušného plynu z tlakové nádoby. Proto se obvykle volí tlak náplně rovný tlaku atmosférickému.

Detekční účinnost jiskrové komory pro relativistické částice je téměř 100%; závisí na zpoždění mezi průletem částice komorou a aplikací elektrického impulsu, na tlaku náplně a na parametrech elektrického impulsu (amplitudě, šířce, náběhové hraně). Citlivá doba komory je závislá jednak na druhu náplně a poměru jejího tlaku ke vzdálenosti elektrod, jednak na intenzitě elektrického čistícího pole — může nabýt hodnot od několika desetin  $\mu\text{s}$  do více než  $10 \mu\text{s}$ . Čistící pole odstraňuje po výboji z výbojové dráhy zbylé ionty a elektrony. Volbou vhodné intenzity tohoto pole lze zkrátit zotavovací dobu (nejkratší časový interval mezi dvěma po sobě následujícími částicemi, které jsou ještě zaregistrovány) na méně než 1 ms.

Zásadní použití jiskrových komor je stejné jako u expanzní mlžné komory, tj. zobrazuje dráhy částic, které jsou určeny systémem detektorů s výběrovým zařízením (obr. 6). Podstatná výhoda ve srovnání s mlžnou komorou je především v tom, že citlivá i zotavovací doba jiskrové komory je o několik řádů kratší ( $1 \mu\text{s}$  a 1 ms) hustota prostředí a absorpční vlastnosti obou komor jsou obdobné. Zvyšování absorpce je u jiskrové komory nepoměrně snazší. Použití magnetického pole pro určování znaménka náboje a momentu hybnosti částic je v obou případech stejné — stačí magnetická pole technicky běžně dosažitelná. Jiskrová komora může mít větší rozměry a její pořizovací náklady ve srovnání s mlžnou komorou jsou zanedbatelné; také udržování pracovních podmínek je v tomto srovnání velmi snadné. Tyto vlastnosti — především časová rozlišovací schopnost — činí z jiskrové komory detektor, který je účinně použitelný u urychlovačů. Umožňuje zaznamenat v intenzivním svazku částic během jednoho impulsu urychlovače i více interakcí předem vybraných, bez rušivého pozadí.

V jiskrové komoře na rozdíl od mlžné komory nelze měřit ionizaci částice. Existují sice určité rozdíly v intenzitě jisker podél drah různě ionizujících částic, dosud jich však není možno využít k měrným účelům.

Snímky z jiskrových komor se vyhodnocují obdobně jako u komor bublinkových. Měření dvou snímků stereopáru na poloautomatickém projekčním zařízení ve spojení s elektronickým počítačím strojem trvá asi 4 minuty. Zcela novou možností registrace údajů jiskrových komor ve srovnání se všemi dříve popsány detektory je přímý údaj o dráze částice v digitálním tvaru na vstup počítačím stroje nebo ve formě magnetického záznamu.

Při zmíněné prostorové rozlišovací schopnosti jiskrové komory je pro automatické vyhodnocování výhodné, že komora pracuje prakticky bez šumu. Výběr pozorovaných jevů se uskutečňuje již detekčním zařízením, které spouští komoru. Prostorová rekonstrukce dráhy je velmi jednoduchá (v jedné mezeře mezi elektrodami se obvykle vyskytnou nejvýše tři jiskry; jiskry příslušející různým drahám mají na snímku i různé intenzity).

Předpokládáme-li použití jiskrové komory o účinné ploše  $1 \times 1 \text{ m}$  se 100 elektrodami a žádáme-li určení dráhy částice s přesností 0,1% při zpracování asi 100 000 případů za den (zotavovací doba komory je 10 ms, impuls urychlovače je dlouhý 100 ms, meziimpulsový interval 3 s; pro odhad potřebné kapacity počítačím stroje se

předpokládalo maximálně 5 jisker v jedné mezeře) bylo by třeba 7 bitů (binárních znaků) pro určení polohy jiskry v systému elektrod, 10 bitů pro určení polohy jiskry v mezeře a asi 3 bity pro další použitelné informace, např. pro intenzitu výboje. Pro snazší rekonstrukci dráhy se používá 3 pohledů, tj. může se celkem získat až 30 000 bitů na jedno spuštění komory. Při použití rychlého elektronického počítačového stroje s dostatečnou kapacitou paměti je možno průběžně zpracovávat uvedených 100 000 případů za jeden den provozu jiskrové komory u urychlovače např. pomocí televizního rozkladu; u komor s drátovými elektrodami lze k převedení informací o místě průletu částice na elektrický výstupní signál do feritové paměti použít přímo proudy jiskrového výboje v příslušné elektrodě.

### SCINTILAČNÍ KOMORA

Z principu scintilačních počítačů vychází scintilační komora. Byla vyvinuta teprve nedávno, protože její funkce byla umožněna teprve rozvojem fotoelektrických zesilovačů obrazu. Scintilační komory jsou tvořeny svazkem vláken scintilátoru navzájem opticky izolovaných. Světlo je vlákny přivedeno na fotokatodu fotoelektrického zesilovače obrazu a po zesílení registrováno fotograficky nebo televizním systémem. Nové typy zesilovačů obrazu umožňují použít monokrystalu (NaI, CsI) jako scintilačního detekčního prostoru. Funkci zesilovače obrazu je možno ovládat detektory, jejichž uspořádání definuje předem hledanou interakci. Současný stav fotoelektrických zesilovačů obrazu znemožňuje vložit scintilační komoru do magnetického pole. Prostorová rozlišovací schopnost scintilační komory je stejná jako u jiskrové komory, dosažitelný detekční objem je asi 1 litr. Časová rozlišovací schopnost je řádově  $10^{-6}$  až  $10^{-8}$  s; zotavovací doba je stejného řádu, a je tedy podstatně kratší než u jiskrové komory.

### ZÁVĚR

Přehled nejdůležitějších vlastností uvedených detektorů je udán v tabulce.

Popsané vlastnosti určují obor účinného použití jednotlivých metod. Ekonomické zhodnocení, které rovněž rozhoduje o použití, nelze dosti přesným způsobem do tabulky zahrnout. Do tohoto hlediska patří pořizovací a provozní náklady, způsob získání informací a jejich obsah, možnost zpracování informací na počítačích automatech a způsob výběru hledaných interakcí. Tyto specifické vlastnosti jednotlivých metod jsou obsaženy v jejich popisu.

V současné době se ve více než polovině měření ve fyzice vysokých energií používá u urychlovačů bublinkové komory, zbylá necelá polovina měření se dělí mezi nukleární emulze a jiskrovou komoru. Každá z těchto metod je schopna podat určité omezené informace, popřípadě někdy je lze rozšířit spojením s dalším detekčním systémem. O použití metody rozhoduje nejen tento fakt, ale i hledisko ekonomické a v ne-

Detektor	Čas. rozliš. schopnost s	Max. objem l	Prostor. rozl. schop. mm	Hustota g/cm <sup>3</sup>	Přesnost měř. rychl. nebo momentu	Stejný druh jader (v det. prostředí)	Max. počet registr. částic za jeden impuls urychlovače	Vnější spouštění	Použití
Vysokotlaká mlžná komora H <sub>2</sub>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup>	0,5	0,03	2%	přibližně	< 30	ano	Interakce; produkce částic v komoře
Difúzní mlžná komora H <sub>2</sub>	10 <sup>-1</sup>	< 10 <sup>2</sup>	0,5	0,002	2%	přibližně	< 30	ne	Interakce; produkce částic v komoře
Bublínková komora H <sub>2</sub>	> 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>3</sup>	0,1	0,05	2%	ano	< 30	ne	Interakce; produkce částic v komoře
Jiskrová komora	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>4</sup>	1	10 <sup>-2</sup> ÷ 10	dobrá	přibližně	10 <sup>4</sup>	ano	Interakce; produkce částic v elektrodách
Scintilační komora organická anorganická	10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-6</sup>	1 < 1	1 1	1 4	malá malá	ne ne	10 <sup>5</sup> > 10 <sup>3</sup>	ano ano	Detekce rychlých částic; interakce v detektoru
Nukleární emulze	žádná	> 1	0,001	4	velká	ne	~ 10 <sup>6</sup>	ne	Detekce rychlých částic; interakce v detektoru

poslední řadě též okamžitý stav jejího technického vývoje. Současné rozšíření nemusí být proto přesnou mírou možností a výhod metody. To platilo před deseti lety o bublinkových komorách a zdá se, že to platí v současné době o komorách jiskrových. Naopak nelze očekávat, že by se všeobecně rozšířilo používání scintilačních komor, které prakticky vznikly současně s jiskrovými komorami; jejich použití zůstane asi omezeno na speciální případy.

Uvedené detektory využívají ionizace v plynu, ionizace a termických účinků v kapalinách a v krystalech a vytváření vzbuzených stavů s emisí fotonů v některých optických prostředích. Ze známých účinků rychlých částic nebylo dosud využito pro zobrazování dráhy částic např. jevů v polovodičích, neboť samo jejich použití pro detekci je ještě v počátcích. Srovnáme-li množství energie částice potřebné pro vytvoření jednoho „kvanta informace“ o pozorovaném jevu, je to pro ionizaci plynu asi 20 až 50 eV, pro centrum bublinky nebo zrno emulze řádově  $10^3$  eV, na jeden emitovaný foton ve scintilátoru řádově  $10^2$  eV. Na zaregistrovaný foton připadá asi  $10^3$  eV, protože optické systémy zachytí asi 10% emitovaných fotonů. O několik řádů nižší (0,5 až 1 eV) je energie potřebná pro vytvoření páru elektron-díra v polovodiči. Toto malé „kvantum informace“ umožňuje přesnější informaci celkovou. Lze proto očekávat, že se zejména v oboru polovodičů budou hledat nové možnosti využití.

Popsané metody pro zobrazování drah rychlých částic jsou schopny podat určité množství přesných informací o studovaných částicích a jejich interakcích; tyto informace mají od případu k případu různou formu a lze jich podle toho více nebo méně účinně využívat. Proto se budou stále hledat nové a účinnější metody, např. nelze vyloučit, že i ve fyzice vysokých energií se bude používat polovodičových detektorů a že na jejich principu se vytvoří zařízení registrující dráhy částic v prostoru.

#### Literatura\*

[1] J. PERNEGR, V. PETRŽÍLKA, L. TOMÁŠKOVÁ: *Kosmické záření*. NČSAV, 1953; str. 52.

#### Ultrazvukové zařízení pro hledání poruch

v kovových součástech je známá věc: piezoelektrický krystal vytváří ultrazvukové pulsy, které se šíří známou rychlostí, na poruše se odrážejí, odraz se zachycuje a pomocí obrazovky se určuje poloha a odhaduje tvar poruchy. Ve Švédsku úspěšně použili téhož principu k diagnóze vad lidského srdce.

Ivan Soudek

\*) Původní seznam literatury byl podle redakčních zvyklostí podstatně zkrácen. Redakce jej však zašle zájemcům na požádání.