

Massen-Geschwindigkeitsfilter für künstlich beschleunigten Staub

V. RUDOLPH

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

(Z. Naturforschg. 21 a, 1993—1996 [1966] ; eingegangen am 3. August 1966)

Zur Massen-Geschwindigkeitsseparation von geladenem, künstlich beschleunigtem Staub wurde ein elektrostatisches Filtersystem entwickelt und erprobt. Der logische Teil dieses Filters kann auch zur Messung der Ladung und Geschwindigkeit von kosmischem Staub dienen.

Eine große Anzahl von Fragen, die im Zusammenhang mit dem kosmischen Staub stehen, können durch künstlich beschleunigten Staub geklärt werden. Zur Beschleunigung bedient man sich kernphysikalischer Hochenergiemaschinen, vor allem des Druck-Kessel-Bandgenerators mit einer Spezialausrüstung, wie Staubquelle und Detektor. Derartige Systeme wurden von SHELTON et al. ¹ und von FRICHTENICHT ² beschrieben.

In der Staubquelle wird der Staub durch Hochspannungsimpulse an einer Spitze stark positiv aufgeladen, durch das Feld des Generators im Beschleunigungsrohr beschleunigt und anschließend in einem elektronischen Detektor analysiert. Die Impulshöhe des dort influenzierten Impulses ist proportional der Ladung q_p des Projektils, und die Impulslänge ist umgekehrt proportional der Geschwindigkeit v_p des Projektils. Wegen

$$\frac{1}{2} m_p v_p^2 = q_p U$$

ist die Masse m_p des Projektils eindeutig durch q_p und v_p bestimmt, da die Generatorspannung U bekannt ist. Für die Endgeschwindigkeit eines sphärischen Teilchens gilt

$$V_p = (U E_p / \rho_p r_p)^{\frac{1}{2}},$$

wobei E_p die Feldstärke auf dem Projektil, ρ_p dessen Dichte und r_p dessen Radius ist. Der Maximalwert von E_p ist die Feldstärke, bei der Ionenemission am Projektil eintritt.

I. Das Problem der geeichten Teilchen

Da der Staub auf Grund seiner Herstellungsverfahren keine gute Homogenität bezüglich seiner Radien bzw. Massen hat, da Trennverfahren zur Homo-

genisierung sich äußerst schwierig gestalten und da diese Teilchen im allgemeinen nicht genau sphärisch sind, liefert ein Staubbeschleuniger ein Geschwindigkeit-Massenspektrum an Projektilen. Daher ist eine physikalische Untersuchung mit Hilfe solcher Teilchen insofern schwierig, als jedes Teilchen zwar definiert, aber von jedem anderen in Geschwindigkeit und Masse verschieden ist.

a) Koinzidenz zwischen Auffänger und Detektor

Erhält man bei einem Experiment ein elektrisches Signal am Auffänger, so kann man es einem bestimmten Detektorsignal zuordnen, und das Experiment ist definiert. Aber das zur Reaktion geführte Teilchen ist in seinem (m_p, v_p) -Wert von zufälliger Natur.

b) Möglichkeiten einer Separation

Ist eine solche Korrelation nicht möglich oder praktisch undurchführbar, wie z. B. bei den meisten Krater- und Folienexperimenten, so benötigt man geeichte Teilchen, die man sich durch Aussortieren gewünschter Teilchen aus dem „statistischen Strahl“ nach dem Beschleunigungsvorgang verschafft.

Eine Trennung auf magnetischem Wege oder durch ein PAULSches Filter scheidet wegen zu großen technischen Aufwandes aus. Mit Hilfe elektrostatischer Ablenkung ist eine Separation nur durch einen Kunstgriff möglich, da das elektrostatische Feld nicht nach e/m separiert. Um ein Teilchen mit gegebenem (q, v) auszusondern, wurde von FRICHTENICHT ein solches System entwickelt ³. Die nachstehend beschriebene Anordnung verwendet diese Methode in abgeänderter Form, die eine wesentliche Erweiterung des Arbeitsgebietes und Verfeinerung der Messungen erlaubt.

¹ H. SHELTON, C. D. HENDRICKS u. R. F. WUERKER, J. Appl. Phys. 31, 1243 [1960].

² J. F. FRICHTENICHT, Rev. Sci. Instr. 33, 209 [1962].

³ J. F. FRICHTENICHT, NASA Contractor Report, NASA CR-263 [1965].



II. Das elektrostatische Filter

Ordnet man Ladungsintervallen $\langle q_i \rangle$ und Geschwindigkeitsintervallen $\langle v_j \rangle$ auf elektronische Weise eindeutig Spannungsimpulse an einem gekreuzten Plattenpaar zu, so erhält man auf Grund der Ablenkimpulse eine Brennfleckmatrix $\{\langle q_i \rangle, \langle v_j \rangle\}$, in der jedem Brennfleck eindeutig ein $(\langle q_j \rangle, \langle v_j \rangle)$ -Wert entspricht.

Eine andere Möglichkeit bildet ein System von zwei gekreuzten Plattensystemen aus n Ablenk-kondensatoren P_1 und m Ablenk-kondensatoren P_2 . Hierbei ordnet man den $(\langle q_i \rangle, \langle v_j \rangle)$ -Werten durch Schalten von festen Hochspannungsgrößen eine Brennfleckmatrix zu:

$$(\langle q_i \rangle, \langle v_j \rangle) \rightarrow (i P_1, j P_2) \rightarrow \begin{pmatrix} q_1 v_1 & \dots & q_1 v_m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_n v_1 & \dots & q_n v_m \end{pmatrix}$$

mit $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$.

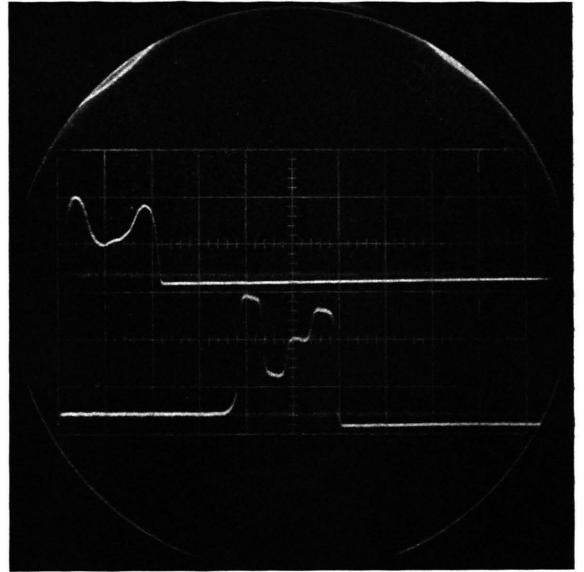


Abb. 1. Impulsform des Grobdetektors (oben), Impulsform des Feindetektors (unten).

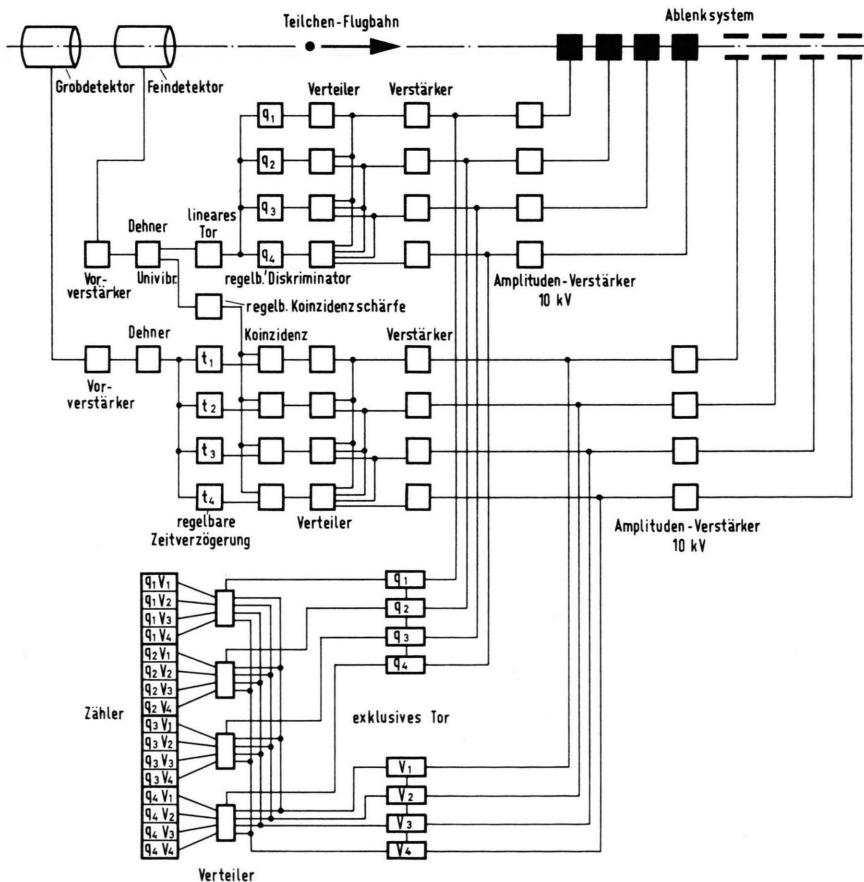


Abb. 2. Blockschaltbild des elektronischen Teils des Filters.

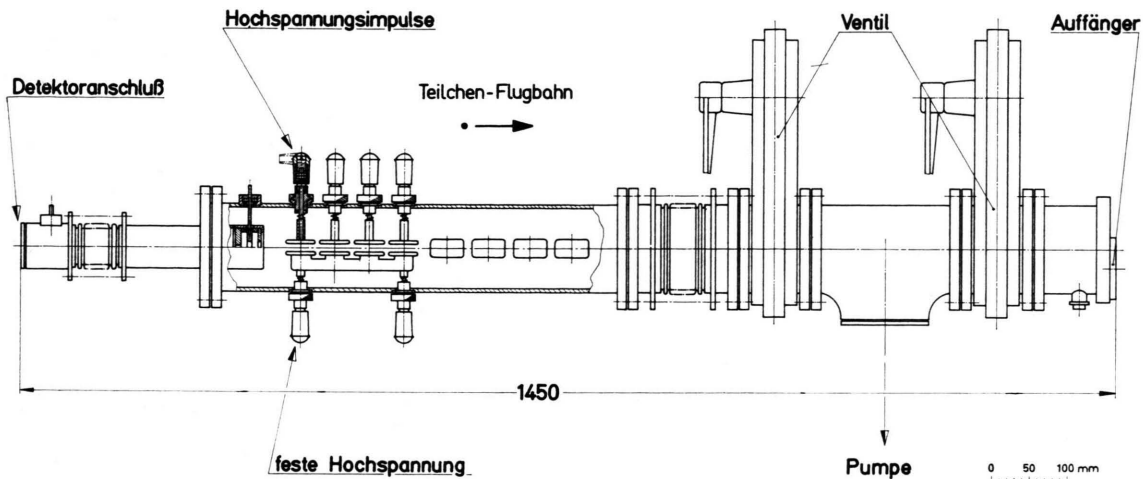


Abb. 3. Schematischer Aufbau des Filters.

Voraussetzung für die Operation eines solchen Filters ist die Kenntnis von q und v der Teilchen vor Eintreten in das Ablensystem.

Diese Daten können am Grob- und Feindetektor der Maschine entnommen werden. Sowohl der Grob- als auch der Feindetektor besteht aus zwei Zylinderkondensatoren, zwischen denen ein gekreuztes Plattenpaar angeordnet ist, das zur Bestimmung der Koordinaten des Teilchens dient. Daher erhält man einen komplizierten Impuls, dessen Form aus Abb. 1 zu entnehmen ist. Diese beiden Signale stellen die

Eingangssignale dar, mit denen das Filter betrieben wird.

Das Blockschaltbild Abb. 2 zeigt die elektronische Schaltung des Filters für ein spezielles System mit $i, j = 1, 2 \dots, 4$ (die technischen Größen sind aus Abb. 3 zu ersehen). Die beiden Eingangssignale werden mit der Amplitudenhöhe des ersten Teiles des Impulses über alle möglichen Impulslängen gestreckt, um eine einwandfreie Weiterverarbeitung der Impulse zu gewährleisten. Dann wird mit Hilfe dieser beiden Impulse die Ladung und Geschwindigkeit der

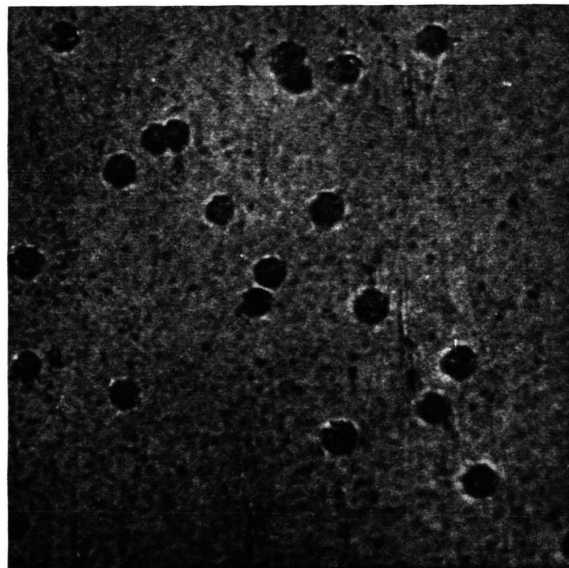
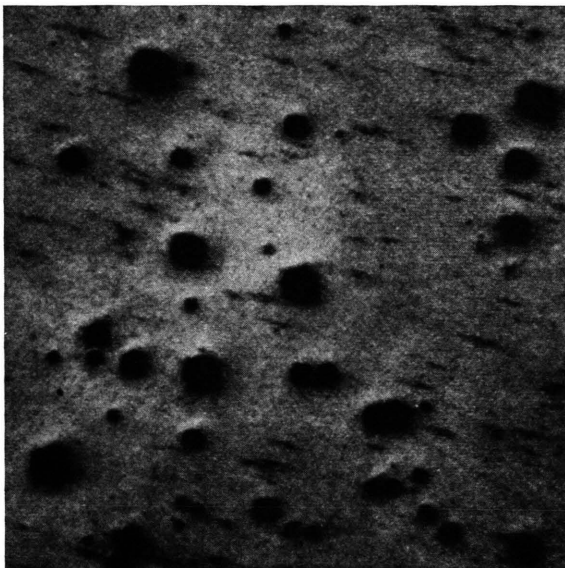


Abb. 4. Ausschnitt aus dem statistischen Brennfleck a) der unsortierten Teilchen, b) der sortierten Teilchen.

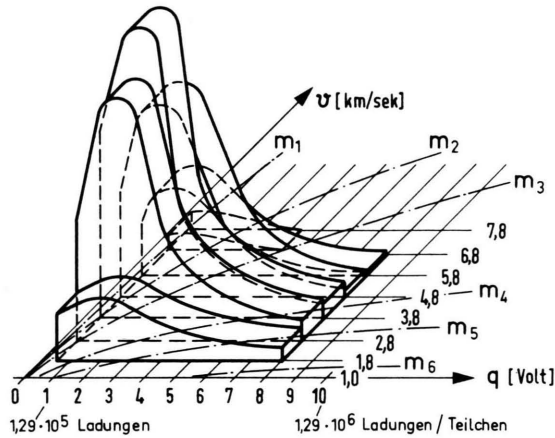


Abb. 5. (q, v) -Spektrum von Carbonyleisen bei 1,9 MV gemessen mit dem logischen Teil des Filters, q =Ladung, v =Geschwindigkeit der Teilchen.

	Masse m in g	Radius r in μ		Masse m in g	Radius r in μ
m_1	$8,8 \cdot 10^{-13}$	0,30	m_4	$4,4 \cdot 10^{-11}$	1,10
m_2	$4,4 \cdot 10^{-12}$	0,51	m_5	$8,8 \cdot 10^{-11}$	1,39
m_3	$8,8 \cdot 10^{-12}$	0,65	m_6	$4,4 \cdot 10^{-10}$	1,76

Teilchen analysiert, d. h. nur bei Übereinstimmung des (q, v) -Wertes des Detektorsignals mit einem der

vorgewählten $(\langle q_i \rangle, \langle v_j \rangle)$ -Werte schalten iP_1 und jP_2 Kondensatoren, und gleichzeitig wird der Impuls am Zählwerk angezeigt.

Durch einen elektronischen Vergleich der am Zählwerk angezeigten Signale mit den Detektorsignalen wurde der logische Teil des Filters überprüft, und durch die Gleichheit der Krater in einem Brennfleck der Brennfleckmatrix konnte die Funktionstüchtigkeit des Ablenkteils des Filters festgestellt werden (siehe Abb. 4 a und 4 b). Mit Hilfe des logischen Teiles des Filters wurde nach Abb. 5 das (q, v) - bzw. das (m, v) -Spektrum von Carbonyleisen bei 1,9 MV aufgenommen (die Durchmesser-Verteilung des Staubes hat bei ca. 2μ ein Maximum und reicht von $0,1 - 5 \mu$). Aus diesem Spektrum läßt sich der Arbeitsbereich dieses Pulvers angeben.

Herrn Prof. W. GENTNER möchte ich für sein förderndes Interesse danken. Zu besonderem Dank bin ich Herrn Prof. K. SITTE verpflichtet für viele anregende Diskussionen und seine Hilfe bei der Beschaffung der technischen und elektronischen Ausrüstung des Beschleunigers und des Filters. — Die vorliegende Arbeit wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung (WRK-59 und WRK-71) gefördert.