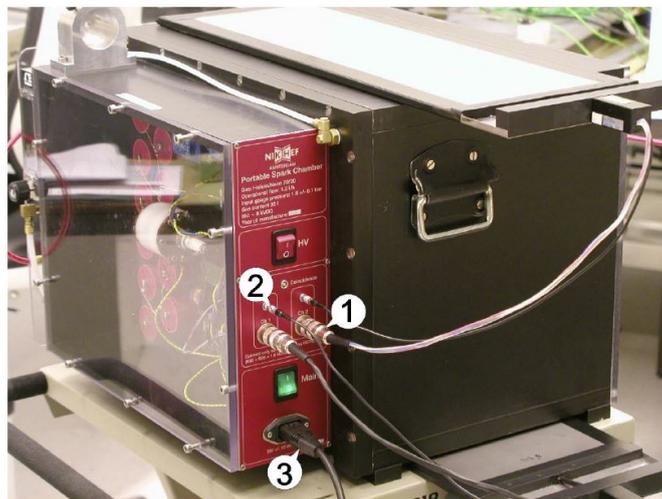


Anleitung für die tragbare Funkenkammer

Franco Laeri

5. Dezember 2016

Version 1



Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Physik
Hochschulstr. 12
D-64289 Darmstadt

Haftungsausschluss

Die Funkenkammer ist Eigentum des Fachbereichs Physik der Technischen Universität Darmstadt und wird ausschliesslich leihweise zur Verfügung gestellt. Die Technische Universität Darmstadt und da der Fachbereich Physik lehnt alle Ansprüche für Schäden ab, die aus unsachgemäßem Gebrauch der Funkenkammer resultieren.

Verwendung der Funkenkammer

Die Funkenkammer genügt folgenden Richtlinien:

- 1) Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU
- 2) Richtlinie 2014/68/EU über Druckgeräte
- 3) Richtlinie 2007/66/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2007 zur Änderung der Richtlinien 89/665/EWG und 92/13/EWG des Rates im Hinblick auf die Verbesserung der Wirksamkeit der Nachprüfungsverfahren bezüglich der Vergabe öffentlicher Aufträge.

Warnungen



Es ist nur qualifizierten Mitarbeitern des Fachbereichs Physik der Technischen Universität Darmstadt erlaubt, die Funkenkammer zu öffnen. Bei Öffnen der Funkenkammer besteht Lebensgefahr, denn sie enthält Teile, die unter einer Hochspannung von 6000 Volt stehen.



In der Funkenkammer entstehen elektromagnetische Pulse, die die Funktion von Herzschrittmachern negativ beeinflussen können. Die EMV-Richtlinie 2014/30/EU trifft nicht zu, da sie nicht auf Geräte für Lehrzwecke angewendet werden kann.



Die Funkenkammer wiegt mehr als 25 kg. Daher sollten jeweils zwei Personen zusammen die Funkenkammer heben, bzw. tragen.

1 Einleitung

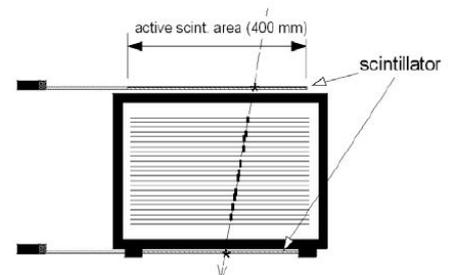
1.1 Zweck der Funkenkammer

Die Funkenkammer dient zum Sichtbarmachen der kosmischen Strahlung für Bildungszwecke. Im Ruhezustand ist die Kammer dunkel. Sie wird beim Durchgang eines geladenen Elementarteilchens aktiviert, das eine genügend hohe Energie hat, die Szintillatoren zu durchdringen. Elementarteilchen niedriger Energie, wie sie z.B. beim radioaktiven Zerfall entstehen (α -, β -, oder γ -Strahlung), können mit diesem Apparat nicht erfasst werden. Kosmische Strahlung hingegen kann gut registriert werden. Diese Art Strahlung erreicht die Erde hauptsächlich als hochenergetische Protonen (primäre kosmische Strahlung). In den hohen Schichten der Atmosphäre (30 km) erzeugen diese Protonen durch Kollisionen eine Vielfalt von Teilchen (sekundäre kosmische Strahlung), darunter auch Müonen, eine Art „schwerer Elektronen“. In der Sekundärstrahlung sind allein die Müonen in der Lage, die Atmosphäre und die Baumaterialien von Gebäuden zu durchdringen. Die Spuren, die in der Funkenkammer sichtbar werden, sind daher nahezu immer diesen Teilchen zuzuschreiben. Die Funkenkammer ist mit Edelgas gefüllt. Müonen, die die Kammer mit nahezu Lichtgeschwindigkeit durchfliegen, stoßen gelegentlich mit einem Edelgasteilchen zusammen und ionisieren dieses. So bleibt entlang der Flugbahn des Müons eine Spur geladener Edelgasionen und freier Elektronen zurück. Nach einigen Millionstelsekunden rekombinieren die Ionen wieder zu elektrisch neutralen Edelgasatomen und diese Spur ist verschwunden.

1.2 Funktion der Funkenkammer

Das Sichtbarmachen der Elementarteilchen in der Funkenkammer beginnt mit deren Detektion in den Szintillatoren, die über und unter der eigentlichen Funkenkammer angebracht sind. Die Szintillatoren bestehen aus einer dotierten Plexiglasplatte, die einen kleinen Lichtblitz abgibt, wenn ein geladenes Elementarteilchen durchfliegt. Dieser Lichtblitz wird mit optischen Fasern zu einem Fotomultiplier geführt, wo er in einen elektrischen Ladungspuls umgewandelt wird. Bis zu diesem Zeitpunkt liegt an den Platten in der Funkenkammer keine Spannung an. Wenn die Triggerelektronik feststellt, dass die Fotomultiplier gleichzeitig einen Puls registriert haben (Koinzidenzdetektor), werden die Platten schnell (100 ns) auf Hochspannung (6000 V) geschaltet.

Im Gas der Funkenkammer befinden sich zu diesem Zeitpunkt entlang dem Durchgangspfad des Müons noch Elektronen, die das Teilchen durch Stöße mit dem Kammergas erzeugt hat. Die nun eingeschaltete Hochspannung erzeugt ein elektrisches Feld, in dem diese Elektronen beschleunigt werden und an dieser Stelle eine Gasentladung initiieren, die als roter Funke sichtbar wird.



1.3 Das Füllgas

Für die gute Funktion der Funkenkammer wird diese mit einem Gemisch verschiedener Edelgase gefüllt. Als günstig für eine gute Zündung der Funken und einer guten Sichtbarkeit derselbigen hat sich ein Gemisch von 70% Helium und 30% Neon bewährt. Ähnlich wie in einer Neonröhre, sorgt hier das Neon für die rote Farbe des Funkens.

Wie schon erwähnt entsteht die Funkenentladung im hohen elektrischen Feld. Durch die durchfliegenden Müonen erzeugten Ionen und Elektronen bilden die Startpunkte der Entladung. Wenn zu viel Sauerstoff in der Kammer ist, werden diese freien Elektronen vorzeitig durch die O_2 Moleküle eingefangen wodurch ein O_2^- -Ion entsteht. Diese Ionen sind über 1000 Mal schwerer als Elektronen, können daher im elektrischen Feld nur sehr langsam Geschwindigkeit zulegen; so langsam, dass sie keinen Beitrag zur Funkenbildung leisten können. Im Gegenteil, sie „löschen“ so den Funken sehr effizient. Die Funkenkammer funktioniert daher nicht, wenn zuviel Sauerstoff im Gas ist.

Durch die Kunststoffwände der Kammer kann außerdem das Helium hinausdiffundieren, und es kann auch Sauerstoff aus der Außenluft in die Kammer hineindiffundieren. Daher muss der Kammer kontinuierlich von Edelgas durchströmt werden. Die Erfahrung zeigt, dass etwa 1,3 Liter pro Stunde dafür ausreichen.

1.4 Die Druckflasche mit dem Edelgas

Für den Betrieb ist eine 10 Liter Druckflasche vorgesehen. Diese reicht für einen kontinuierlichen Betrieb von ca. 50 Tagen.

2 Anschluss und Einstellung des Gassystems

2.1 Anschluss der 10 Liter Druckflasche

Druckflasche stabil gegen Umfallen sichern. Danach kann die Schutzkappe abgeschraubt werden. Schutzkappe über dem Anschlussgewinde für den Druckregler entfernen. Das Gewinde und den Anschlussflansch auf Beschädigung und Sauberkeit kontrollieren. Beim Druckregler den Sitzflansch auf Beschädigung kontrollieren. Die Dichtfläche des Anschlussflansches muss absolut sauber, glatt und unbeschädigt sein. Die Dichtscheibe überprüfen, einsetzen und deren ordnungsgemäßen Sitz kontrollieren. Nun kann der Druckregler angeschraubt werden. Die Überwurfmutter mit einem Schraub Schlüssel festziehen. Das Druckflaschenventil langsam öffnen und dabei die Manometer am Druckregler beobachten. Das Druckflaschenmanometer sollte bei einer neuen Flasche mind. 150 bar anzeigen. Den Ausgangsdruck mit dem Regelventil auf $1,0 \text{ bar} \pm 0,1 \text{ bar}$ einstellen. Bei geschlossenem Ausgangsventil darf kein Geräusch hörbar sein. Ein leises Zischgeräusch deutet auf eine undichte Verbindung der Reglerarmatur mit der Druckflasche hin.



Nun kann die Verbindungsleitung mit der Funkenkammer verbunden werden (Messingschnellkupplung). Beim Einstecken der Verbindung muss das Einrasten durch ein leises Klicken hörbar sein. Mit dem Regelknopf am Omega-Rotameter kann der Durchfluss eingestellt werden. Mit dem Bubbler kann der Durchfluss überwacht werden. Bei einem Wasserstand von 15 mm über dem Einströmrohr und Rotameteranzeige 20 blubbert er etwa alle 30 Sekunden.

2.2 Vorbereitung der Funkenkammer

Wenn die Funkenkammer eine Zeitlang nicht mehr vom Edelgasgemisch durchflossen wurde, muss sie mit ca. 200 Litern durchgespült werden, damit die Sauerstoffkonzentration wieder auf unter 1‰ reduziert wird. Dreht man den Regelknopf am Rotameter voll auf, dauert das ca. 24 Stunden. Ob ausreichend Gas durch die Funkenkammer gespült wurde kann am Druckabfall in der Gasflasche erkannt werden. Bei einer 10 Liter Druckflasche muss der Druck dabei um 20 bar abgenommen haben. Bei diesem hohen Gasdurchfluss blubbert der Blubber etwa alle 5 Sekunden.

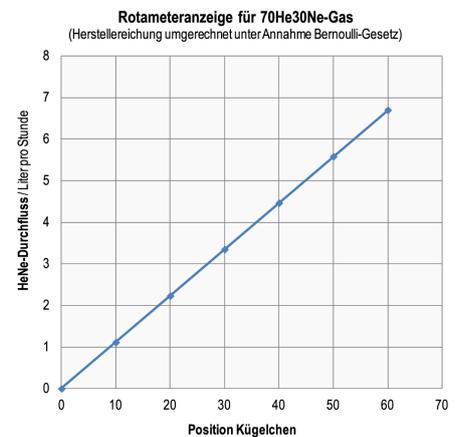
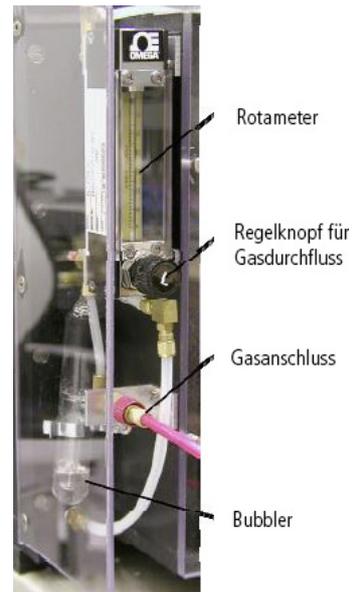
Wann immer die Funkenkammer schlecht funktioniert – wenig oder keine Funken – dann ist wahrscheinlich noch zuviel Luft im Kammervolumen. In diesen Fällen empfiehlt es sich, die Kammer wie oben beschrieben, für einige Zeit, maximal 24 Stunden, zu spülen.

2.3 Gastrom im kontinuierlichen Betrieb

Ist die Kammer gut gespült, kann mit dem schwarzen Regelknopf am Rotameter der Durchfluss auf Skala 20 reduziert werden. Das entspricht etwa einem Gasstrom von 1,3 l/h. Das entspricht etwa einem Gasaustausch von einem Kammervolumen pro Tag und einem Druckabfall in der Druckflasche um die 3 bar. Von Zeit zu Zeit ist der Durchfluss zu kontrollieren. Das schwarze Kügelchen im Rotameter sollte stabil auf dem Skalenwert 20 stehen und die Blasen sollten ungefähr alle 30 Sekunden bubbeln.

Am Gaseinlass auf der Rotameterrückseite befindet sich ein Nadelventil. Dieses Ventil ist eingestellt und darf nur vom Wartungspersonal des Fachbereichs Physik der Technischen Universität Darmstadt verstellt werden.

Wenn die Funkenkammer länger als 5 Tage nicht im Betrieb war, oder der Gasschlauch am Gasanschluss entfernt wurde, so sollte die Funkenkammer wieder wie oben beschrieben einen Tag lang gespült werden.



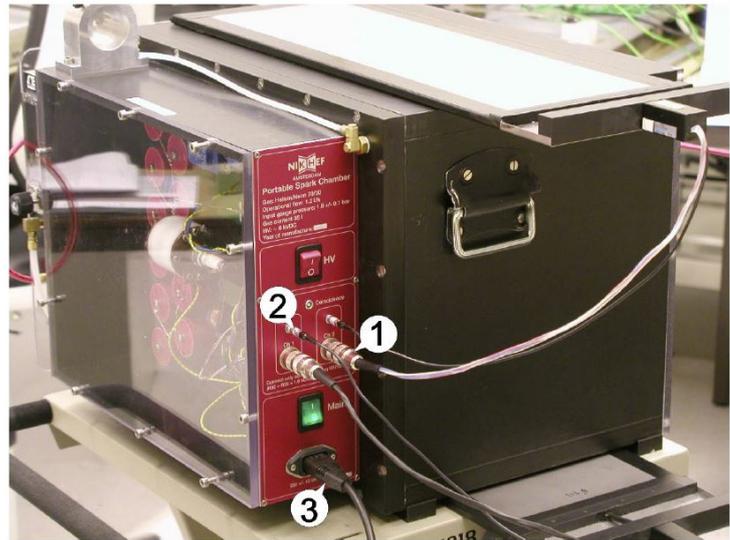
Der Druck in der Druckflasche ist mindestens zwei Mal täglich zu kontrollieren und zu protokollieren.

Die Gasflasche darf nur bis zu einem Restdruck von 5 bar entleert werden. Wird dieser Druck unterschritten, wird der Gaslieferant die Flasche nicht mehr zurücknehmen.

3 Elektrische Anschlüsse

Die Funkenkammern funktionieren nur mit ihrem angepassten Szintillator. Die Verwendung eines anderen Szintillators wird mit großer Wahrscheinlichkeit den dort eingebauten Fotomultiplier zerstören.

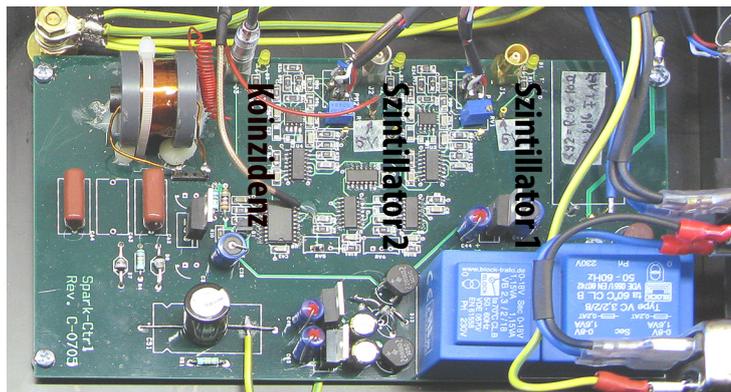
Die Szintillatoren werden mit einem Versorgungskabel (4-Pol Stecker) und einem Signalkabel (Koaxialstecker) mit der Funkenkammer verbunden. Die Szintillatoren sind gekennzeichnet (Ch. 1, Ch. 2) und werden an die entsprechend gekennzeichneten Eingänge angeschlossen. Für Überwachungszwecke kann an der Frontplatte das Koinzidenzsignal als TTL-Puls abgegriffen werden (Ruhe +5 V, Koinzidenz 0 V – 1 μ s).



4 Betrieb

Die Szintillatoren bis an den Anschlag in ihre Schubladen schieben – Ch. 1 oben, Ch. 2 unten – und anschließen. Der Anschlag sorgt dafür, dass die Detektionsflächen der Szintillatoren genau mit dem Funkenplattenstapel in der Kammer fluchten.

Nun kann die Netzspannung mit dem Schalter MAINS eingeschaltet werden. Die Funktion der Koinzidenzelektronik kann nun überprüft werden. Hinter der Plexiglascheibe befindet sich auf der unteren Platine die Triggerelektronik. Die gelben Leuchtdioden (LED), die den Szintillatoren zugeordnet sind, sollten beide sehr schnell blinken, während die Koinzidenz-LED langsam, ca. 1 Mal pro Sekunde, blinkt. Hat man sich davon überzeugt, kann die Hochspannung eingeschaltet werden –



HV-Schalter. Es dauert dann einige Sekunden, bis Funken sichtbar werden (die Kondensatoren müssen zuerst geladen werden).

Wenn der Betrieb der Funkenkammer einmal für kürzere Zeit unterbrochen werden soll reicht es aus, die Hochspannung auszuschalten. Für längere Unterbrechungen zuerst die Hochspannung ausschalten und einige Sekunden warten bis die Funken aufhören. Dadurch werden die Hochspannungskondensatoren entladen. Danach kann die Netzspannung ausgeschaltet werden (MAINS-Schalter).

5 Transport der Funkenkammer

Elektrische Anschlüsse

Vor dem Transport zuerst die Hochspannung ausschalten und einige Sekunden warten bis die Funken aufhören. Dadurch werden die Hochspannungskondensatoren entladen. Danach kann die Netzspannung ausgeschaltet werden (MAINS-Schalter). Nun können die Stecker der Szintillatoren abgezogen werden.

Druckflasche

Druck auf der Druckflaschenseite ablesen und protokollieren. Zusätzlich Notiz mit diesem Druck, Datum und Namen an der Flasche befestigen. In der Regel ist um die Flasche ein gelbes Netz gelegt hinter das die Notiz geschoben werden kann. Danach das Hauptventil an der Druckfläche und das Ventil am Druckregler schliessen. Der Gasfluss in die Funkenkammer sollte somit unterbrochen sein. Dementsprechend sollten die Blasen am Bubbler nicht mehr erscheinen – kontrollieren. Nun kann an der Funkenkammer der Gasschlauch an der roten Schnellkupplung entfernt werden. Diese schließt automatisch wenn der Schlauch entfernt wird. Am Druckregler nun durch kurzes Öffnen des Ausgangsventils den im Regler gespeicherten Druck ablassen. Jetzt sollten beide Manometer auf 0 bar stehen. Der Druckregler ist jetzt druckfrei und kann von der Druckflasche abgeschraubt werden. Aufpassen, dass dabei die Dichtscheibe nicht verloren geht. Die Schutzkappe auf die Druckflasche schrauben. Die Druckflasche darf nur mit der aufgeschraubten Schutzkappe transportiert und aufbewahrt werden. Sie darf niemals mit noch befestigtem Druckregler transportiert werden. Falls die Druckflasche in einem Auto transportiert werden muss, so muss sie so sicher befestigt werden, dass sie selbst bei einer Notbremsung fest mit dem Auto verbunden bleibt.

Versorgen des Zubehörs

Netzkabel, Anschlusskabel, Szintillatoren, Gasflasche, Druckregler, 30-mm-Gabelschlüssel, Klemmen, usw. sorgfältig verwahren.

6 Warnungen

Da bei jeder Funkenentladung ein elektromagnetischer Puls (EMP) entsteht, ist der Gebrauch der Funkenkammer nur bei Ausstellungen und Vorführungen mit Bildungscharakter erlaubt, bei denen die Bedienung durch einen Nutzer gewährleistet ist, der

die Sicherheitsaspekte, insbesondere im Hinblick auf Personen mit Herzschrittmacher, einschätzen kann.

7 Sicherheitsaspekte

Gas

Das eingesetzte Edelgasgemisch (70% Helium 30% Neon) ist ungiftig und kann ohne Bedenken in kleinen Mengen eingeatmet werden. Um einer Erstickungsgefahr vorzubeugen sollte die Funkenkammer aber nicht in einem kleinen, schlecht durchlüfteten Raum betrieben werden.

Hochspannung

Im Inneren der Funkenkammer stehen Teile unter einer lebensgefährlichen Hochspannung von über 5000 V. Diese lebensgefährliche Hochspannung liegt selbst nach dem Ausschalten des Geräts noch über mehrere Minuten an. Die Funkenkammer darf deshalb NICHT geöffnet werden. Reparaturen an der Funkenkammer dürfen nur durch das zuständige Fachpersonal des Fachbereichs Physik der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt werden.

Elektromagnetische Störungen

Als Folge der Funken entstehen unvermeidlich kräftige, elektromagnetische Pulse. Diese Pulse können in der Nähe stehende Funkempfänger (Radio, TV) und mobile elektronische Geräte stören (Knackgeräusche). Mit Computern sind bisher jedoch keine Probleme bemerkt worden.

Elektromagnetische Pulse (EMP) können ein Risiko für Personen mit einem Herzschrittmacher darstellen. Ein EMP kann die Funktion eines Herzschrittmachers negativ beeinträchtigen.

8 Wartung

Äusserliche Reinigung

In einem Gehäuse, das größtenteils aus Kunststoff (PVC, Acrylglas), Glas und Edelstahl (Szintillatoren) besteht, enthält die Funkenkammer elektronische und optische Komponenten und einen Hochspannungsgenerator. Zum Reinigen des Gehäuses dürfen daher kein Wasser oder organische Lösungsmittel wie Alkohol, Aceton, verwendet werden. Das Gehäuse sollte mit einem höchstens leicht angefeuchteten Mikrofasertuch abgestaubt werden.

Periodische Wartung

Das Bubblerglas sollte regelmäßig mit destilliertem Wasser befüllt werden. Der Wasserpegel sollte zwischen 10 und 15 mm über dem Auslassröhrchen liegen.

Einmal im Jahr muss die Funkenkammer im Fachbereich Physik gewartet werden.

Skalierung Gas: <http://www.omega.com/pptst/FLT.html>

9 Störungen

Es sind keine Funken sichtbar

- a. Kontrollieren, dass das Netzanschlusskabel eingesteckt, und das Gerät eingeschaltet ist (rote und grüne Signallampen in den Schaltern brennen).
- b. Kontrollieren dass an der Gasflasche die Druckanzeigen an den Manometern des Druckreglers korrekt sind.
- c. Kontrollieren, dass die beiden Elektronik-Platinen mit Strom versorgt werden. Die entsprechenden LED sollten brennen.
- d. Kontrollieren, dass die Szintillatoren mit Strom versorgt werden. Ihre roten LED sollten brennen.
- e. Kontrollieren, dass auf der unteren Elektronik-Platine die Szintillator-Signale registriert werden (gelbe Szintillator-LED Ch. 1 und Ch. 2 blinken schnell) und die Koinzidenzschaltung funktioniert (gelbe Coincidence-LED blinkt ca. 1 Mal pro Sekunde).
- f. Kontrollieren, dass die Zündkerze schaltet (Funkenkammer Mk. 1), was durch ein leises Klick-Geräusch im Rhythmus der Coincidence-LED hörbar ist, bzw. die bei der Funkenkammer Mk. 2 an der schwarzen Box zwischen den Platinen (Thyristorschalter) seitlich sichtbaren LED brennen (grün an, gelb blinkt, rot aus) . Falls die rote LED brennt, ist ein Fehler am Thyristorschalter angezeigt. Die Funkenkammer muss in diesem Fall an der TU Darmstadt repariert werden.
- g. Kontrollieren, dass das Rotameter den richtigen Gas-Durchfluss anzeigt: Kügelchen sollte auf Skala 20 stehen.
- h. Kontrollieren, dass der Bubbler regelmäßig Blasen wirft. Falls keine Blasen zu sehen und zu hören sind kann entweder ein Leck in der Kammer entstanden sein (Rotameter zeigt in diesem Fall Durchfluss), oder die Gasversorgung wurde unterbrochen (Rotameter zeigt keinen Durchfluss). In beiden Fällen muss die Kammer an der TU Darmstadt repariert weden.

Funken unregelmässig, Funken nur an der Rückseite, diffuse Funkenspur

- a. Wenn die Funken nur an der Rückseite des Plattenstapels entstehen, deutet das darauf hin, dass beim Spülen der Gasaustausch zwischen den Platten noch unvollständig erfolgte, weil der Durchfluss zu hoch war. Das kann durch weiteres Spülen mit kleinerem Durchfluss (Rotameter max. 60) behoben werden.
- b. In den anderen Fällen muss die Kammer an der TU Darmstadt gewartet werden.

Der Bubbler zeigt keinen Gasstrom an, aber die Funkenkammer funktioniert trotzdem

Das könnte auf ein Gasleck hinweisen. Eine unmittelbare Aktion ist nicht nötig. Die Störung bitte notieren und an die Funkenkammer heften. Die Störung wird im Zuge der jährlichen Wartung im Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt behoben werden.

10 Technische Daten der tragbaren Funkenkammer

- Gasvolumen: 35 l
- Kammergas 70% Helium 30% Neon
- Gasstrom im Betrieb: 1,3 l/h (2,8 s/ml)
- Gasstrom bei Spülung: 8 l/h (22,5 s/50 ml)
- Maximale Sauerstoffkonzentration: 1‰
- Hochspannung: +5,6 kV
- Plattenkapazität: 152 pF
- HV-Kondensatorenkapazität: 2,5 nF
- Kapazität des ganzen Plattenstapels: 1,87 nF
- Szintillatoreneingänge: Diskriminatorpegel: -30 mV, Impedanz 470 Ω
- Netzspannung: 230 V \pm 10 V
- Gewicht: 34 kg (Funkenkammer ohne Szintillatoren und Zubehör)