Verschiedene Detektoren für den Unterricht – ein Überblick

A. Feistmantl, J. Woithe, G. Wiener u. M. Hopf

CERN-OPEN-2017-016
09/02/2017

1 Einführung

Früher war es eine Selbstverständlichkeit, dass spätestens im Unterricht der Sekundarstufe II mit radioaktiven Präparaten gearbeitet wurde. Es wurden Aktivitäten gemessen, Halbwertszeiten aufgenommen, vielleicht sogar Neutronen erzeugt. Seither ist viel Zeit vergangen und die gesetzlichen Rahmenbedingungen wurden (vielleicht nicht ganz zu Unrecht) immer schärfer. In den meisten Bundesländern gibt es keine radioaktiven Präparate mehr in den Sammlungen der Schulen und so ist der Unterricht zur Radioaktivität immer theoretischer geworden. Das ist bedauerlich. Wie wir im Folgenden zeigen wollen, gibt es aber nach wie vor verschiedenste Möglichkeiten, ionisierende Teilchen experimentell zu detektieren, selbst wenn keine Präparate (mehr) vorhanden sind. Wir werden dazu die verschiedenen kommerziell erhältlichen sowie selbst herzustellende Geräte beschreiben und deren Empfindlichkeiten, Kosten sowie deren Vor- und Nachteile beschreiben.

2 Geräte

2.1 Spinthariskop

Erste Experimente der Teilchenphysik wurden mit dem Spinthariskop durchgeführt. Es besteht aus einem Zinksulfidkristall, der im Dunkeln durch eine Lupe betrachtet wird. Der Raum muss dabei nicht verdunkelt sein. Es genügt, wenn man seinen Kopf zusammen mit dem Spinthariskop und einem Alphastrahler (z.B. Ra-226, 4 kBq) unter ein schwarzes Tuch steckt. Es ist verblüffend, wie schnell sich das Auge ausreichend adaptiert. Nach maximal 20 Sekunden sind Lichtblitze zu sehen, egal wie die Lichtbedingungen vorher waren. Selbst wenn das Szintillationsmaterial Umgebungslicht ausgesetzt war, kann man nach 20 s in Dunkelheit bereits etwas sehen. Der Einsatz – falls man mit einem Präparat arbeiten darf – erscheint uns durchaus sinnvoll, um zu zeigen, wie mühselig Teilchen-/Atomphysik vor 100 Jahren war. Es ist schon erstaunlich, wie einfach und kostengünstig (ca. 50 € für das Spin-

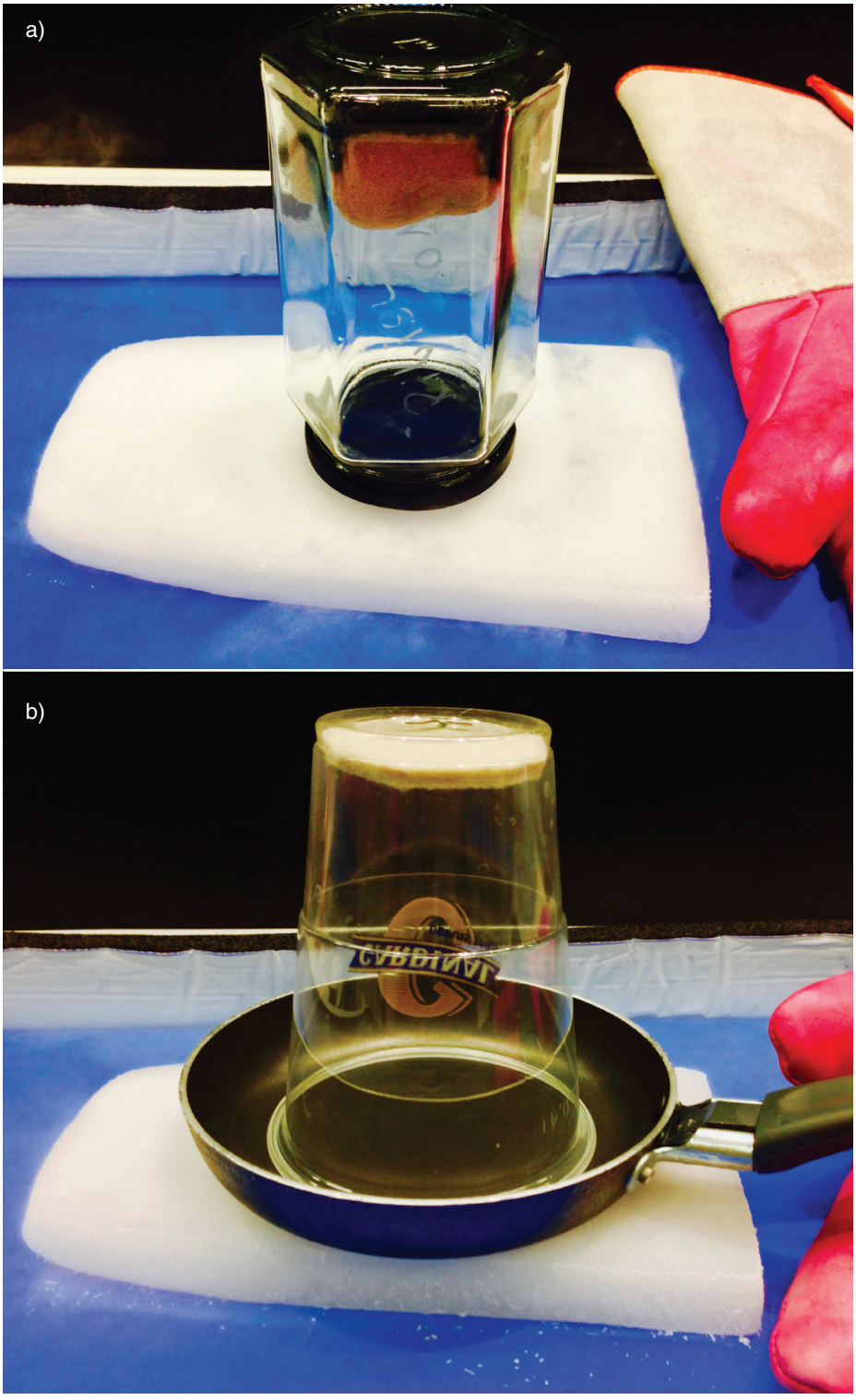

Abb. 1: Zwei kostengünstige Trockeneis-Nebelkammern, die sich sehr einfach mit einem Marmeladenglas (a) beziehungsweise mit Bratpfanne und Plastikbecher (b) herstellen lassen.

	Empfindlich für	Vorteile	Nachteile	Kosten
Spinthariskop	α-Teilchen	Kostengünstig (bis auf Präparat)	Beobachtung nur im Dunkeln möglich; Präparat ist erforderlich.	Ca. 50 € (ohne Präparat)
Expansionsnebelkammer	Hauptsächlich Myonen. (Andere Teilchenarten werden auch sichtbar gemacht, aber die aktive Zeit der Kammer ist so gering, dass diese praktisch nicht zu beobachten sind. (α-Teilchen des Präparats sind auch gut zu sehen.)	Relativ günstig	Kurze Beobachtungszeit; Eigentlich nur sinnvoll mit Präparat zu verwenden; 30 Sekunden Pause zwischen zwei Beobachtungen.	Ca. 400 € (ohne Zubehör und ohne Präparat).
Kontinuierliche Nebelkammer	Ionisierende Teilchen	Dauerhafte Beobachtungen möglich; sehr eindrucksvolles Demonstrationsgerät	Kosten (bei kommerziellen Geräten); Aufwand des Nachbaus (bei Selbstbau) ca. 10 Minuten Vorlauf zur Kühlung	Ca. 1500 € (kommerziell), ca. 400 € (Selbstbau) (jeweils ohne Zubehör und Netzgerät)
Selbstbau Nebelkammer mit Trockeneis	Ionisierende Teilchen	Leicht erhältliche Materialien; kostengünstig; SuS können eigenständig bauen	Sicherheitsbestimmungen bei Benutzung und Lagerung von hochprozentigem Alkohol (Isopropanol) und Trockeneis; nur grobe Klassifizierung möglich	Ca. 20 € + Kosten für Trockeneis
Geiger-Müller-Zähler	Elektronen und γ-Strahlung; Je nach Bauart auch α-Teilchen	Relativ günstig; Möglichkeit zur Messung der Aktivität; Anwendung im Strahlenschutz	Keine Klassifizierung der Teilchenart	Ab 200 €
Pixeldetektoren	Ionisierende Teilchen	Anschauliche Darstellung ionisierender Teilchen; Genaue Klassifizierung möglich, Energie des detektierten Teilchens wird gemessen; Anwendung in Physik	Momentan noch sehr teuer und sehr zerbrechlich; (eine kostengünstigere und besser handhabbare Version wird gerade entwickelt)	Ca. 5000 €

Tab. 1: Überblick über verschiedene Detektoren

thariskop + Alphastrahler) man Alphastrahlung über Szintillation nachweisen kann. Ob sich der Aufwand für diesen „netten Effekt“ lohnt, muss vermutlich jeder für sich entscheiden.

2.2 Expansionsnebelkammer

Dies ist eine einfache Anordnung, um Spuren eines radioaktiven Zerfalls sichtbar zu machen. Allerdings ist nach unserer Erfahrung die Handhabung der Expansionsnebelkammer sehr umständlich: Traditionell wurde die Expansionsnebelkammer mit einem Präparat versehen. Außerdem bedarf es erheblichen experimentellen Geschicks, um die Nebelschicht zu erzeugen. Diese ist zudem dann nur ganz kurz vorhanden und kann erst nach 30 Sekunden Pause ein weiteres Mal erzeugt werden. So bedarf es dann Glücks, um eine Spur von kosmischen Teilchen zu sehen. Eine begeisterte Lehreräußerung „Habt Ihr das gesehen“ und viele Jugendliche, die eben gerade nichts gesehen haben, sind eher die Regel als die Ausnahme. Selbst mit einem eingeschraubten Präparat ist die Demonstration von Spuren wenig überzeugend.

2.2 Kontinuierliche Nebelkammer

Jeder und jede von uns ist schon einmal fasziniert vor der großen, kontinuierlichen Nebelkammer gestanden und hätte Stun-

den damit verbringen können, die Spuren zu beobachten. Sei es im Deutschen Museum in München, in einem Science Center oder am CERN, viele Institutionen haben es sich geleistet, dieses Gerät anzuschaffen. Überall ist es eine Attraktion. Für den Schulgebrauch ist es leider unerschwinglich. Es gibt aber Alternativen. Einerseits kann man im Lehrmittelbedarf kontinuierliche Nebelkammern erwerben (z. B. [1]). Andererseits kann man mit etwas Geschick auch selbst eine anfertigen [2]. Beide basieren auf der Kühlung einer Metallplatte durch Peltier-Elemente und haben Beobachtungsfelder mit Durchmessern in der Größenordnung von 10 cm. Sie erlauben die dauerhafte Beobachtung von Kondensationsspuren kosmischer Teilchen oder Teilchen aus schwach radioaktiven Proben; für den Einsatz im Unterricht empfiehlt sich die Projektion mit einer kleinen Kamera. Es sollte aber auch allen Lernenden die direkte Einsicht in die Kammer gestattet werden. Selbst Lehramtsstudierende versammeln sich immer wieder um eine laufende Nebelkammer. Mit beiden Bauformen gibt es sehr gute Erfahrungen und wir empfehlen (mittelfristig) die Anschaffung bzw. den Bau einer kleinen kontinuierlichen Nebelkammer für die Schule.

2.3 Trockeneis-Nebelkammer

In vielen Schulen, auch international, wird eine durch Trockeneis gekühlte Nebelkammer schon regelmäßig im Unterricht gebaut (Abb. 1). In den Lehrerfortbildungen am CERN ist ein Besuch im S'Cool LAB zum Bau dieser Nebelkammern fest eingeplant. Eine detaillierte Anleitung zum Selbstbau einer solchen Nebelkammer ist online zu finden [3].

Da die Materialien leicht erhältlich sind, ist sie eine gute Alternativen zur deutlich teureren permanenten Nebelkammer. Mit dem Trockeneis wird ein Temperaturunterschied zwischen Kammerboden und Alkohol von ca. 100 K erzeugt. Dadurch wird die Luft im Inneren der Kammer mit Alkohol übersättigt und ionisierende Strahlung wird durch Kondensationsstreifen sichtbar. Aus den Formen der Streifen lassen sich Rückschlüsse ziehen, um welche Strahlung bzw. welches Teilchen es sich handelt. Empfehlenswert ist es, bei der Klassifizierung auf die Eigenschaften der Teilchen einzugehen. Nebenbei lässt sie sich gut im Unterricht einbetten um kosmische Strahlung zu behandeln. Das Bauen der Kammer ist bei Jung und Alt erfahrungsgemäß ein Riesenspaß. Die Beschaffung von Trockeneis ist nach unserer Erfahrung leichter als gedacht. Nicht nur geben immer wieder lokale Universitäten Trockeneis ab, auch im Lebensmittelhandel (Fleisch, Frischfisch, Restaurants) wird Trockeneis verwendet. Darüber hinaus kann Trockeneis auch in kleinen Mengen relativ günstig über das Internet bestellt werden. Wichtig ist allerdings, Sicherheits- und Transportbestimmungen im Umgang mit Trockeneis zu beachten.

2.4 Geiger-Müller-Zähler

Ein allseits beliebter Detektor für den Schulgebrauch ist der Geiger-Müller-Zähler. Dabei unterscheidet man zwischen verschiedenen Bauarten. Alle Bauarten besitzen ein Zählrohr. Dieses zählt, wie viele Teilchen pro Sekunde durch das Detektorfenster fliegen. Damit geben sie die Aktivität des radioaktiven Materials an. Das für den Geiger-Müller-Zähler typische „Piepen" bei Detektion eines Teilchens ist den meisten Schülerinnen und Schülern aus Filmen oder Dokumentationen bekannt. Bei kleinen, handlichen Geiger-Müller-Zählern ist das Zählrohr direkt mit der Elektronik in einem Gehäuse eingepasst. Es gibt jedoch auch Anordnungen, bei denen das Zählrohr separat mit einem Kabel mit dem Zählwerk (oder mit einem Computerinterface) verbunden ist. Dadurch kann man die Aktivität eines Materials messen, ohne dem Material zu nahe zu kommen. Geiger-Müller-Zähler sind sehr gut geeignet, um über Strahlenschutz zu sprechen. Durch das akustische Signal beim Detektieren eines Teilchens kann man vielen Schülerinnen und Schülern gleichzeitig ein Gefühl für das Abstandsgesetz oder die Abschirmung geben. Leider sagt das Signal nichts über die Art der einfallenden Teilchen aus. (Hauptsächlich) die Dicke des Fensters vor dem Zählrohr entscheidet über seine Empfindlichkeit für Alpha-Teilchen.

2.5 Pixeldetektoren

Im Gegensatz zu Geiger-Müller-Zähler und Nebelkammern sind Pixeldetektoren für den Schulgebrauch noch wenig bekannt. Die Hauptanwendung solcher Detektoren ist am CERN zu finden. Sie werden in den großen Experimenten am LHC (ATLAS, CMS ...) als innere Detektorschicht verwendet. Der Pixeldetektor besteht je nach Bauform aus einer Matrix von mehr als 60 000 Einzeldetektoren („Pixel") auf 2 cm^2. Ein einfallendes Teilchen ionisiert Atome in der Halbleiterschicht der einzelnen Pixel. Dabei werden Elektronen frei, die in jedem Pixel einzeln als elektrischer Strom gemessen werden.

In der Schule sind diese Detektoren aber im Moment nur selten zu finden. Dennoch haben sie ein großes Potential für den Physikunterricht. Einerseits kann man das Interesse der Schülerinnen und Schüler wecken, indem man eine Technologie verwendet, die tatsächlich so in der Forschung verwendet wird. Andererseits können diese Detektoren mit geeigneter Software neben dem Detektieren und Unterscheiden einfallender Teilchen auch deren Energie messen. So können ähnliche Teilchenspuren wie in der Nebelkammer, aber auch Energiehistogramme dargestellt werden. Im S'Cool LAB, dem Schülerlabor am CERN, werden Pixeldetektoren bereits erfolgreich in einem speziell entwickelten Workshop eingesetzt.

3 Zusammenfassung

Um Eigenschaften ionisierender Teilchen im Unterricht zu behandeln, sollte unbedingt eine Nebelkammer vorhanden sein. Ob man dann eher mit Trockeneis arbeiten will oder eine kontinuierliche Nebelkammer bevorzugt, ist nach unserer Auffassung Geschmackssache. Daneben ist es sicher sinnvoll, einen Geigerzähler in der Schule zu haben. Ob die kürzlich vorgestellten Anordnungen zum Einsatz eines Smartphones als Zählgerät [4] einen Geigerzähler ersetzen können, bleibt momentan noch offen. ■

Literatur

[1] Raytrax1 von Conatex
[2] Backmund, U.; Wilhelm, Th. (2009): Selbstbau einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 58, Nr. 1 S. 27 – 32
[3] http://cern.ch/s-cool-lab/content/downloads
[4] Kuhn, J.; Frübis, J.; Lück, S.; Wilhelm, Th. (2013): Smarte Physik: Smartphone als Geigerzähler? — Die App Radioactivity-Counter. In: Physik in unserer Zeit 44, 253–255

Anschriften der Verfasser

Alexandra Feistmantl, Teacher and Student Programmes Section, CERN, Genève 23, Schweiz
E-Mail: alexandra.feistmantl@cern.ch
Julia Woithe, Teacher and Student Programmes Section, CERN, Genève 23, Schweiz
E-Mail: julia.woithe@cern.ch
Gerfried Wiener, Teacher and Student Programmes Section, CERN, Genève 23, Schweiz
E-Mail: jeff.wiener@cern.ch
Martin Hopf, AECC Physik, Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2, A-1090 Wien
E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at