

C Arbeitsblätter

C.1 Aufbau der Blasenkammer

Name: _____

Datum: _____

Der Aufbau der Blasenkammer

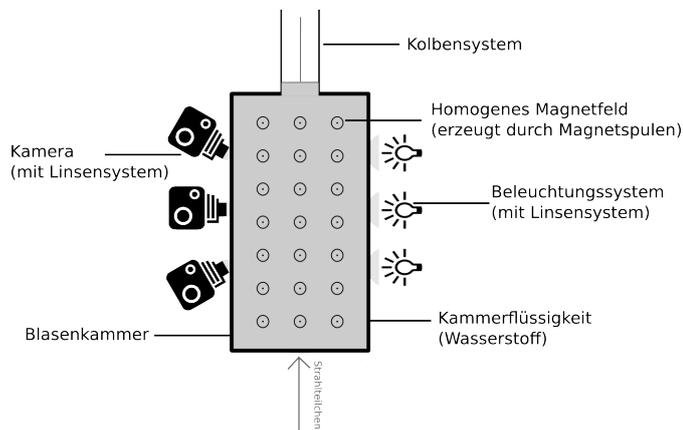


Abbildung 1: Aufbau der Blasenkammer

- **Aufgabe 1: Funktionsweise einer Blasenkammer**

Erkläre die Aufgaben der einzelnen Bestandteile.

- **Aufgabe 2: Verwendung der Blasenkammer**

Erkläre, wofür eine Blasenkammer genutzt werden kann.

C.2 Arbeitsblatt zur Teilchenidentifikation

Name: _____

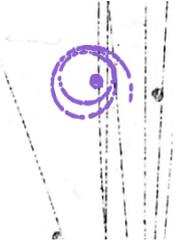
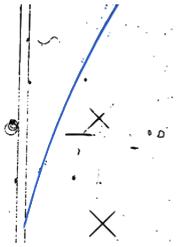
Datum: _____

Teilchenidentifikation in der Blasenkammer

Elektrisch geladene Teilchen

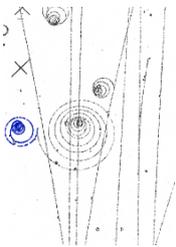
Elektrisch geladene Teilchen hinterlassen Spuren in der Blasenkammer.

Achtung: Die Spuren sind auf den Aufnahmen im Original nicht farbig. Sie sind hier nur zur besseren Sichtbarkeit hervorgehoben.

Spur in der Blasenkammer	Identifiziertes Teilchen	Prozess	Erkennungsmerkmale
			
			
			

Name: _____

Datum: _____

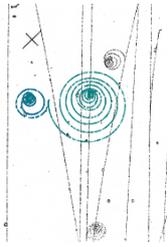
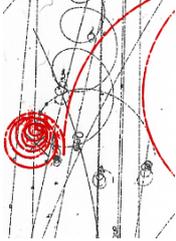
			
			

Name: _____

Datum: _____

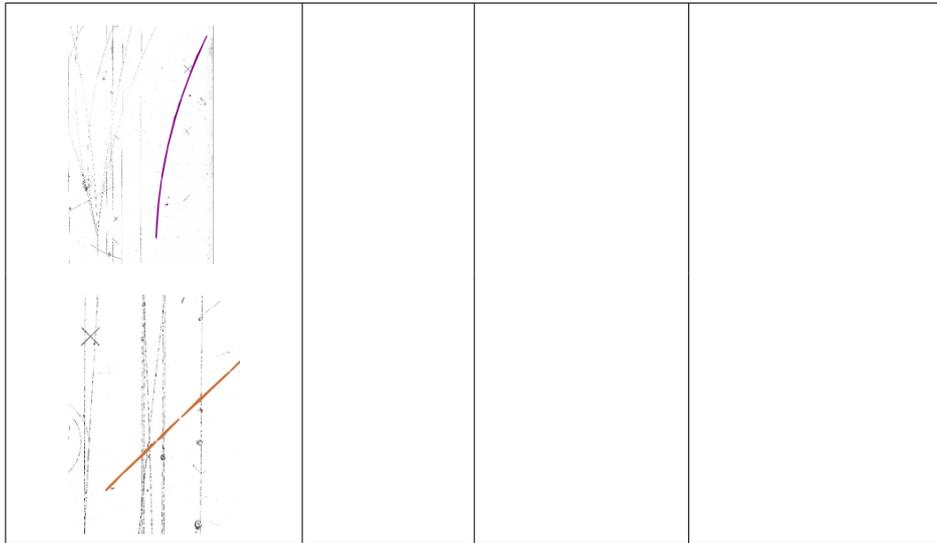
Elektrisch neutrale Teilchen

Elektrisch neutrale Teilchen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar. Es ist aber möglich, aufgrund der Spuren von elektrisch geladenen Teilchen Rückschlüsse auf elektrisch neutrale Teilchen zu ziehen.

Spur in der Blasenkammer	Rückschluss auf welches neutrale Teilchen	Prozess	Erkennungsmerkmale
			
			
			

Name: _____

Datum: _____



C.3 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2644

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2644

Bearbeite die Aufgaben auf dem digitalen Arbeitsblatt und notiere deine Antworten. Falls du die falsche Antwort angeklickt hast, lies den entsprechenden Tipp und überlege erneut.

• **Aufgabe 1**

Entscheide, welches Teilchen die grün hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Photon
- Neutron

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 2**

Entscheide, welches Teilchen die rot hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Photon
- Neutron

Begründe deine Entscheidung!

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die rot hervorgehobene Spur sichtbar ist.

- Compton-Streuung
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron
 Umwandlung eines Photons
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
 Wechselwirkung Neutron mit Proton

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 4**

Jetzt geht es darum, den Impuls des Teilchens zu ermitteln, das die rot hervorgehobene Spur hinterlassen hat.

Ermittle zunächst den Krümmungsradius der rot hervorgehobenen Spur.

Gib den Wert auf eine Nachkommastelle genau an.

Der Krümmungsradius beträgt $r = \underline{\hspace{2cm}}$ cm¹.

• **Aufgabe 5**

Ermittle nun p , den Betrag des Impulses des Teilchens aus dem Radius der Spur.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74$ T.

Gib den Wert auf drei Nachkommastellen genau an.

$p = \underline{\hspace{2cm}} \frac{\text{GeV}}{c}$

Stelle deinen Rechenweg dar.

¹Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1

C.4 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2650

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2650

Bearbeite die Aufgaben auf dem digitalen Arbeitsblatt und notiere deine Antworten. Falls du die falsche Antwort angeklickt hast, lies den entsprechenden Tipp und überlege erneut.

• **Aufgabe 1**

Entscheide, welche elektrische Ladung das Teilchen besitzt, das die orange farbene Spur hinterlassen hat.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- positive Ladung
- negative Ladung
- keine Ladung

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 2**

Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen.

Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

- blaue Spur
- gleiche Geschwindigkeit
- orange farbene Spur

Begründe deine Entscheidung!

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

Entscheide, welches Teilchen die grün hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Neutron
- Photon

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 4**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die grün hervorgehobene Spur sichtbar ist.

- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

C.5 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2670

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2670

Dies ist eine Übung zur Blasenkammeraufnahme 2670. Die Blasenkammeraufnahme stammt von der 2m Blasenammer am CERN. Die Strahlteilchen bewegen sich auf der Aufnahme vom unteren zum oberen Bildrand. Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

In dieser Übung sollen Impulse und Geschwindigkeiten verschiedener Teilchen verglichen werden. Du entscheidest selbst, welche Spuren du konkret auswählst.

Bearbeite die Aufgaben direkt auf der Blasenkammeraufnahme auf diesem Arbeitsblatt. Du kannst das digitale Arbeitsblatt zusätzlich für Berechnungen nutzen und um in das Bild hineinzu-zoomen (dazu musst du einmal auf das digitale Arbeitsblatt klicken).

- **Aufgabe 1**

Markiere zwei Spuren, die von Elektronen stammen. Begründe, warum diese Spuren von Elektronen stammen.

- **Aufgabe 2**

Vergleiche die Geschwindigkeiten der Elektronen, die die markierten Spuren hinterlassen haben. Begründe deine Aussage.

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

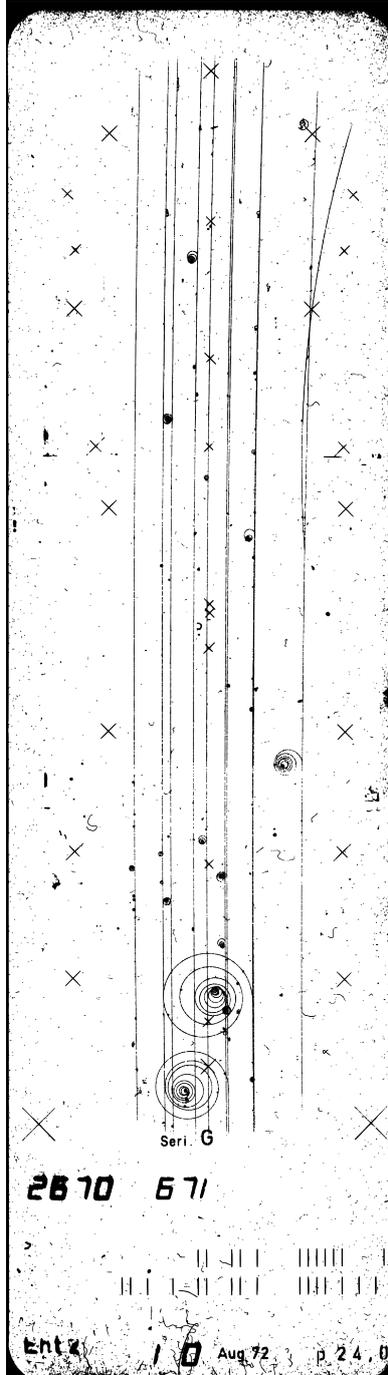
Markiere nun die Spur eines Teilchens mit positiver elektrischer Ladung und begründe, warum die Spur von einem Teilchen mit positiver elektrischer Ladung stammt.

• **Aufgabe 4**

Vergleiche den Impuls und die Geschwindigkeit des positiven Teilchens mit einem der Elektronen und begründe deine Aussagen.

Name: _____

Datum: _____



C.6 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2691

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2691

Bearbeite die Aufgaben auf dem digitalen Arbeitsblatt und notiere deine Antworten. Falls du die falsche Antwort angeklickt hast, lies den entsprechenden Tipp und überlege erneut. Nutze auch dein Technik-Hilfsblatt.

• **Aufgabe 1**

Entscheide, welches Teilchen die blau hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Neutron
- Photon
- Positron

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 2**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau und die orange hervorgehobene Spur sichtbar sind.

- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen.
Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

- blaue Spur
 orange farbene Spur
 gleiche Geschwindigkeit

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 4**

Die beiden hervorgehobenen Spuren gehen vom gleichen Vertex aus.

Bestimme jeweils den größten Radius der Spuren.

Gib die Werte auf eine Nachkommastelle gerundet an.

Radius blau = _____ cm ¹

Radius orange = _____ cm

¹Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 5**

Berechne nun die Impulse der Teilchen aus den ermittelten Radien.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74 \text{ T}$.

Gib die Werte auf drei Nachkommastellen gerundet an.

Impuls blau = _____ $\frac{\text{GeV}}{c}$

Impuls orange = _____ $\frac{\text{GeV}}{c}$

Stelle deinen Rechenweg dar.

• **Aufgabe 6**

Ermittle nun den Betrag und die Richtung des neutralen Teilchens an diesem Vertex durch Vektoraddition der beiden Impulse.

Begründe deine Schlussfolgerung aus der Vektoraddition.

C.7 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2722

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2722

Bearbeite die Aufgaben auf dem digitalen Arbeitsblatt und notiere deine Antworten. Falls du die falsche Antwort angeklickt hast, lies den entsprechenden Tipp und überlege erneut. Nutze auch dein Technik-Hilfsblatt.

- **Aufgabe 1**

Betrachte die pink und die gelb hervorgehobene Spur. Entscheide, welche der Spuren von einem elektrisch negativ geladenen Teilchen stammt.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- gelbe Spur
- pinke Spur
- beide Spuren

Begründe deine Entscheidung!

- **Aufgabe 2**

Entscheide, von welchem Teilchen die blau hervorgehobene Spur stammt. Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Neutron
- Photon
- Positron

Begründe deine Entscheidung!

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau und die grün hervorgehobene Spur sichtbar sind.

- Compton-Streuung
- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

• **Aufgabe 4**

Die grün und die blau hervorgehobene Spur gehen vom gleichen Vertex aus.

Bestimme jeweils den größten Radius der Spuren.

Gib die Werte auf eine Nachkommastelle gerundet an.

Radius grün = _____ cm ¹

Radius blau = _____ cm

¹Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 5**

Berechne nun die Impulse der Teilchen aus den ermittelten Radien.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74 \text{ T}$.

Gib die Werte auf drei Nachkommastellen gerundet an.

Impuls grün = _____ $\frac{\text{GeV}}{c}$

Impuls blau = _____ $\frac{\text{GeV}}{c}$

Stelle deinen Rechenweg dar.

• **Aufgabe 6**

Ermittle nun den Betrag und die Richtung des Impulses des Photons an diesem Vertex durch Vektoraddition der beiden berechneten Impulse.

C.8 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2811

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2811

Bearbeite die Aufgaben auf dem digitalen Arbeitsblatt und notiere deine Antworten. Falls du die falsche Antwort angeklickt hast, lies den entsprechenden Tipp und überlege erneut.

• Aufgabe 1

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau hervorgehobene Spur sichtbar ist.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

• Aufgabe 2

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die violett hervorgehobene Spur sichtbar ist.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

Die blau und die violett hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen.
Entscheide, welches den größeren Impuls besitzt.

- gleicher Impuls
 blaue Spur
 violette Spur

Begründe deine Entscheidung!

Zusatzaufgabe: Begründe, welche Aussage du über die Geschwindigkeit der Teilchen treffen kannst.

• **Aufgabe 4**

Die beiden rot hervorgehobenen Spuren gehen vom gleichen Vertex aus. Ermittle den Impuls der Teilchen, indem du ihre Reichweite bestimmst.
Gib die Reichweite auf eine Nachkommastelle gerundet an.

Reichweite hellrot = _____ cm ¹.

Das entspricht einem Impuls von $p_{\text{hellrot}} = \text{_____} \frac{\text{GeV}}{c}$.

Reichweite dunkelrot = _____ cm.

Das entspricht einem Impuls von $p_{\text{dunkelrot}} = \text{_____} \frac{\text{GeV}}{c}$.

¹Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1.

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 5**

Ermittle nun, ob zu diesem Vertex auch ein elektrisch neutrales Teilchen gehört.

Addiere dazu die Impulse im Vertex auf dem Bild vektoriell.

Nenne und begründe die Schlüsse, die du aus der Vektoraddition ziehen kannst.

Zu dem Vertex gehört ein elektrisch neutrales Teilchen.

Zu dem Vertex gehört kein elektrisch neutrales Teilchen.

C.9 Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2830

Name: _____

Datum: _____

Arbeitsblatt zur Blasenkammeraufnahme 2830

Dies ist eine Übung zur Blasenkammeraufnahme 2830. Die Blasenkammeraufnahme stammt von der 2 m Blasenammer am CERN. Die Strahlteilchen bewegen sich auf der Aufnahme vom unteren zum oberen Bildrand. Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

In dieser Übung sollen Impulse und Geschwindigkeiten verschiedener Teilchen verglichen werden. Du entscheidest selbst, welche Spuren du konkret auswählst.

Bearbeite die Aufgaben direkt auf der Blasenkammeraufnahme auf diesem Arbeitsblatt. Du kannst das digitale Arbeitsblatt zusätzlich für Berechnungen nutzen und um in das Bild hineinzu-zoomen (dazu musst du einmal auf das digitale Arbeitsblatt klicken).

- **Aufgabe 1**

Markiere die Spur eines Elektrons, welches aufgrund der Wechselwirkung mit einem Strahlteilchen in der Blasenammer eine Spur hinterlassen hat.

- **Aufgabe 2**

Markiere die Spur eines Positrons. Nenne den Prozess, aufgrund dessen das Positron in der Blasenammer sichtbar ist.

Name: _____

Datum: _____

• **Aufgabe 3**

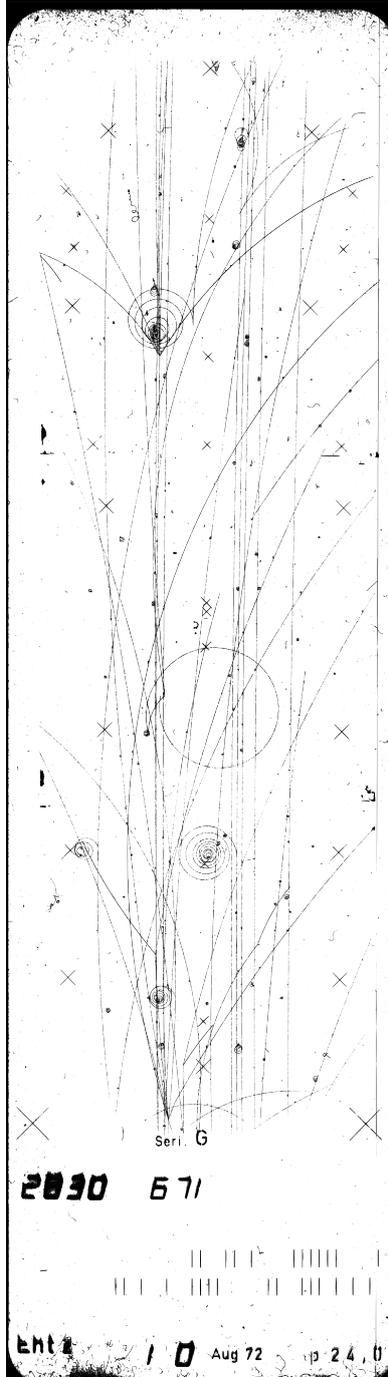
Markiere die Spuren eines Elektron-Positron-Paares, bei welchem das Elektron und das Positron einen stark unterschiedlichen Impuls besitzen. Welches Teilchen besitzt den größeren Impuls?

• **Aufgabe 4**

Betrachte die markierten Spuren des Elektron-Positron-Paares. Ein Teilchen besitzt einen Impuls von $p_1 = 0,029 \frac{\text{GeV}}{c}$, das andere Teilchen besitzt einen Impuls von $p_2 = 0,601 \frac{\text{GeV}}{c}$. Betrachte mittels vektorieller Addition den Impulserhalt am Vertex. Begründe, ob ein neutrales Teilchen an dem Prozess am Vertex beteiligt ist. Falls ja, gib den Betrag des Impulses an und zeichne den Impuls auf deinem Arbeitsblatt ein.

Name:

Datum:



D Lösungen

D.1 Lösungen zum Aufbau der Blasenkammer

Der Aufbau der Blasenkammer - Lösungsblatt

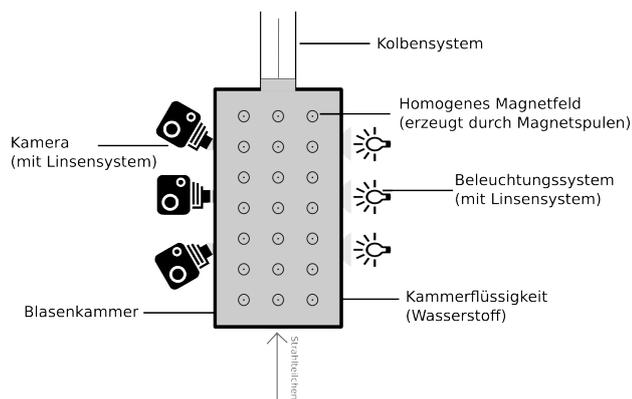


Abbildung 1: Aufbau der Blasenkammer

- **Aufgabe 1: Funktionsweise einer Blasenkammer**

Erkläre die Aufgabe der einzelnen Bestandteile.

Die Blasenkammer beinhaltet die Kammerflüssigkeit. Das Kolbensystem dient zur Veränderung des Kammervolumens. So kann das Volumen vergrößert und die Kammerflüssigkeit überhitzt werden. Spuren von elektrisch geladenen (Elementar-) Teilchen werden sichtbar. Anschließend kann das Volumen wieder verringert werden; die Blasen (also die Spuren) verschwinden wieder. Das Magnetfeld bewirkt eine Krümmung der Spuren der elektrisch geladenen Teilchen abhängig vom Ladungsvorzeichen, sodass die Spurkrümmung Rückschlüsse auf die Ladung des jeweiligen Teilchens erlaubt. Das System aus Linsen, Beleuchtung und Kameras ermöglicht die Fotografie und somit die Auswertung der Spuren in der Kammer.

- **Aufgabe 2: Verwendung der Blasenkammer**

Erkläre, wofür eine Blasenkammer genutzt werden kann.

Eine Blasenkammer kann zum Beobachten von Spuren von Teilchen in einem homogenen Magnetfeld dienen. Spuren von elektrisch geladenen Teilchen können direkt beobachtet werden und es sind Rückschlüsse auf neutrale Teilchen möglich. Eine Blasenkammer kann dazu dienen, Eigenschaften von bekannten Teilchen näher zu untersuchen oder unbekannte Teilchen zu suchen und/oder zu finden.

D.2 Lösungen zur Teilchenidentifikation

Name: _____

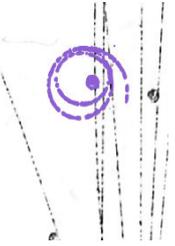
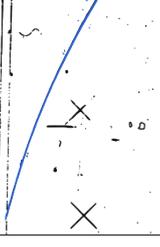
Datum: _____

Teilchenidentifikation in der Blasenkammer

Elektrisch geladene Teilchen

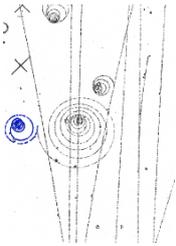
Elektrisch geladene Teilchen hinterlassen Spuren in der Blasenkammer.

Achtung: Die Spuren sind auf den Aufnahmen im Original nicht farbig. Sie sind hier nur zur besseren Sichtbarkeit hervorgehoben.

Spur in der Blasenkammer	Identifiziertes Teilchen	Prozess	Erkennungsmerkmale
	Elektron	Wechselwirkung von Strahlteilchen und Elektron	<ul style="list-style-type: none"> • nach links gekrümmte Spur • zum Vertex hinführenden Spur eines Strahlteilchens
	Elektron	Compton-Streuung	<ul style="list-style-type: none"> • nach links gekrümmte Spur • keine zum Vertex hinführenden Spur (Photonen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar)
	Proton	Wechselwirkung von Strahlteilchen und Proton	<ul style="list-style-type: none"> • nach rechts gekrümmte Spur • zum Vertex hinführenden Spur eines Strahlteilchens

Name: _____

Datum: _____

	Proton	Wechselwirkung von ankommendem Neutron mit Proton aus der Blasenkammer	<ul style="list-style-type: none"> • nach rechts gekrümmte Spur • keine zum Vertex hinführenden Spur (Neutronen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar)
	Positron	Umwandlung eines Photons in eine Elektron-Positron-Paar	<ul style="list-style-type: none"> • nach rechts gekrümmte Spur • keine zum Vertex hinführenden Spur (Photonen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar) • am Vertex ebenfalls Spur eines Elektrons sichtbar (nach links gekrümmt)

Name: _____

Datum: _____

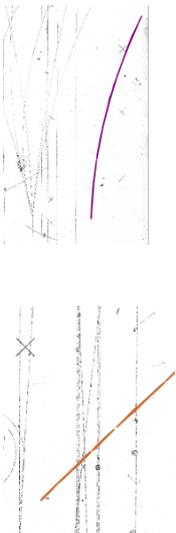
Elektrisch neutrale Teilchen

Elektrisch neutrale Teilchen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar. Es ist aber möglich, aufgrund der Spuren von elektrisch geladenen Teilchen Rückschlüsse auf elektrisch neutrale Teilchen zu ziehen.

Spur in der Blasenkammer	Rückschluss auf welches neutrale Teilchen	Prozess	Erkennungsmerkmale
	Photon	Umwandlung eines Photons in eine Elektron-Positron-Paar	<ul style="list-style-type: none"> keine zum Vertex hinführenden Spur (Photonen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar) zwei vom Vertex ausgehende Spuren mit entgegengesetzter Krümmung
	Photon	Compton-Streuung	<ul style="list-style-type: none"> keine zum Vertex hinführenden Spur (Photonen sind in der Blasenkammer nicht sichtbar) vom Vertex ausgehende, nach links gekrümmte Spur

Name: _____

Datum: _____

	Neutron	Wechselwirkung von ankommendem Neutron mit Proton aus der Blaskammer	<ul style="list-style-type: none">• keine zum Vertex hinführenden Spur (Neutronen sind in der Blaskammer nicht sichtbar)• vom Vertex ausgehende, nach rechts gekrümmte Spur
--	---------	--	--

D.3 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2644

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2644

- **Aufgabe 1**

Entscheide, welches Teilchen die grün hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Photon
- Neutron

Begründe deine Entscheidung!

Da die grün hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen positiv elektrisch geladen ist. Da zu der grünen Spur die Spur eines Strahlteilchens hinführt und sich am gleichen Vertex keine Spur, die nach links gekrümmt ist, befindet, kann es kein Positron sein. Ein Positron entsteht nämlich immer gemeinsam mit einem Elektron aus einem (in der Blasenkammer nicht sichtbaren) Photon.

- **Aufgabe 2**

Entscheide, welches Teilchen die rot hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Photon
- Neutron

Begründe deine Entscheidung!

Da die rot hervorgehobene Spur nach links gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch negativ geladen ist. Daher handelt es sich um ein Elektron.

• **Aufgabe 3**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die rot hervorgehobene Spur sichtbar ist.

- Compton-Streuung
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron
 Umwandlung eines Photons
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
 Wechselwirkung Neutron mit Proton

Begründe deine Entscheidung!

Die rot hervorgehobene Spur stammt von einem Elektron (siehe Aufgabe 2). Da zu der rot hervorgehobenen Spur die Spur eines Strahlteilchens hinführt, ist das Elektron durch die Wechselwirkung eines Strahlteilchens mit einem Molekül der Kammerflüssigkeit aus dieser herausgelöst worden.

Bei den anderen beiden Auswahlmöglichkeiten wäre keine hinführende Spur sichtbar, da neutrale Teilchen (hier Photonen) keine Spuren in der Blaskammer hinterlassen.

• **Aufgabe 4**

Jetzt geht es darum, den Impuls des Teilchens zu ermitteln, das die rot hervorgehobene Spur hinterlassen hat.

Ermittle zunächst den Krümmungsradius der rot hervorgehobenen Spur.

Gib den Wert auf eine Nachkommastelle genau an.

Der Krümmungsradius ist $r = \underline{1,8} \text{ cm}^1$.

• **Aufgabe 5**

Ermittle nun p , den Betrag des Impulses des Teilchens aus dem Radius der Spur.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74 \text{ T}$.

Gib den Wert auf drei Nachkommastellen genau an.

$$p = \underline{0,009} \frac{\text{GeV}}{c}$$

Stelle deinen Rechenweg dar.

Der Impuls lässt sich über die Formel $p = 0,3 \cdot B \cdot r$ berechnen. Dabei muss die Magnetfeldstärke B in Tesla und der Radius r in Meter eingesetzt werden, um den Impuls p in $\frac{\text{GeV}}{c}$ zu erhalten. $p = 0,3 \cdot 1,74 \text{ T} \cdot 0,0018 \text{ m} \approx 0,009 \frac{\text{GeV}}{c}$

¹Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $0,15 \text{ cm} < r < 0,2 \text{ cm}$ zu. Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1.

D.4 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2650

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2650

- **Aufgabe 1**

Entscheide, welche elektrische Ladung das Teilchen besitzt, das die orange farbene Spur hinterlassen hat.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- positive Ladung
- negative Ladung
- keine Ladung

Begründe deine Entscheidung!

Da die orange hervorgehobene Spur nach links gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen, von dem die Spur stammt, elektrisch negativ geladen ist.

- **Aufgabe 2**

Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen.

Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

- blaue Spur
- gleiche Geschwindigkeit
- orange farbene Spur

Begründe deine Entscheidung!

Elektronen besitzen eine negative elektrische Ladung. Wenn sie sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft als Radialkraft. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls. Der Impuls ist von Ruhemasse und Geschwindigkeit abhängig. Da die Ruhemasse der Elektronen gleich ist, ergibt sich, je größer der Impuls desto größer die Geschwindigkeit. Aus dieser Beziehung folgt: je größer der Radius der Spur am Ursprung der Spur ist, desto größer ist die Geschwindigkeit des Teilchens, von dem die Spur stammt. Da die orange hervorgehobene Spur einen größeren äußeren Radius besitzt, folgt, dass das Elektron, das diese Spur hinterlassen hat, eine größere Geschwindigkeit besitzt.

- **Aufgabe 3**

Entscheide, welches Teilchen die grün hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Positron
- Neutron
- Photon

Begründe deine Entscheidung!

Da die grün hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen positiv elektrisch geladen ist. Da sich am gleichen Vertex keine Spur, die nach links gekrümmt ist, befindet, kann es kein Positron sein. Ein Positron entsteht nämlich immer gemeinsam mit einem Elektron aus einem (in der Blaskammer nicht sichtbaren) Photon.

- **Aufgabe 4**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die grün hervorgehobene Spur sichtbar ist.

- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

Die grüne Spur stammt von einem Proton (siehe Aufgabe 3). Da zu der grün hervorgehobenen Spur keine Spur hinführt, muss das Proton durch die Wechselwirkung mit einem Neutron (welches in der Blaskammer keine Spur hinterlässt) aus der Kammerflüssigkeit herausgelöst worden sein. Bei der Umwandlung eines Photons würde ein Elektron-Positron-Paar entstehen, sodass zwei Spuren mit entgegengesetzter Krümmung sichtbar sein müssten. Hier ist aber nur eine Spur sichtbar, sodass keine Umwandlung eines Photons stattgefunden haben kann.

D.5 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2670

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2670

Hinweis: Dieses Lösungsblatt enthält lediglich jeweils eine Lösung für die Aufgaben. Es sind mehrere Lösungen möglich.

- **Aufgabe 1**

Markiere zwei Spuren, die von Elektronen stammen. Begründe, warum diese Spuren von Elektronen stammen.

Die violett und die gelb markierte Spur stammen von Elektronen. Da die Spuren nach links gekrümmt sind, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass die Teilchen elektrisch negativ geladen sind.

- **Aufgabe 2**

Vergleiche die Geschwindigkeiten der Elektronen, die die markierten Spuren hinterlassen haben. Begründe deine Aussage.

Elektronen besitzen eine negative elektrische Ladung. Wenn sie sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft als Radialkraft. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls. Der Impuls ist von Ruhemasse und Geschwindigkeit abhängig. Da die Ruhemasse der Elektronen gleich ist, ergibt sich, je größer der Impuls desto größer die Geschwindigkeit. Aus dieser Beziehung folgt: je größer der Radius der Spur am Ursprung der Spur ist, desto größer ist die Geschwindigkeit des Teilchens, von dem die Spur stammt. Da die violett markierte Spur einen größeren äußeren Radius besitzt, folgt, dass das Elektron, das diese Spur hinterlassen hat, eine größere Geschwindigkeit besitzt.

- **Aufgabe 3**

Markiere nun die Spur eines Teilchens mit positiver elektrischer Ladung und begründe, warum die Spur von einem Teilchen mit positiver elektrischer Ladung stammt.

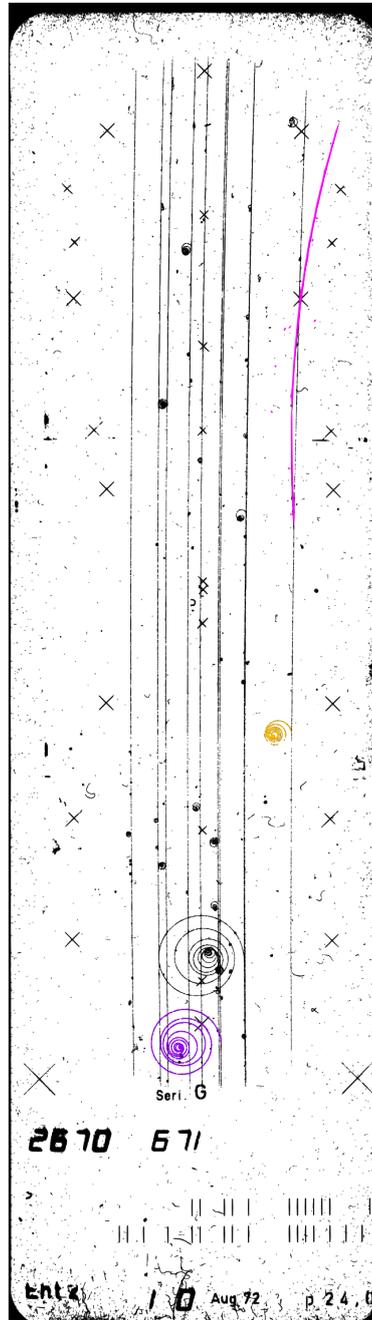
Die pink markierte Spur stammt von einem elektrisch positiv geladenen Teilchen. Da die Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch positiv geladen ist.

- **Aufgabe 4**

Vergleiche den Impuls und die Geschwindigkeit des positiven Teilchens mit einem der Elektronen und begründe deine Aussagen.

Hier werden beispielhaft die violett und die pink hervorgehobene Spur betrachtet. Beide Spuren stammen von bewegten Teilchen, welche eine elektrische Ladung besitzen. Daher wirkt die Lorentzkraft als Radialkraft auf sie. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls. Daher folgt, dass das Teilchen, das die pink hervorgehobene Spur hinterlassen hat einen größeren Impuls hatte als das Teilchen, das die violett hervorgehobene Spur hinterlassen hat.

Der Impuls ist von Ruhemasse und Geschwindigkeit abhängig. Da hier die pink markierte Spur von einem Proton stammt und die violett markierte Spur von einem Elektron, lässt sich ohne genaue Ermittlung der Impulse keine Aussage über das Verhältnis der Geschwindigkeiten treffen.



D.6 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2691

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2691

- **Aufgabe 1**

Entscheide, welches Teilchen die blau hervorgehobene Spur hinterlassen hat.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Neutron
- Photon
- Positron

Da die blau hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen positiv elektrisch geladen ist. Da zu der blauen Spur keine Spur eines Strahlteilchens hinführt und sich am gleichen Vertex ebenfalls eine Spur, die nach links gekrümmt ist, befindet, ist das Teilchen ein Positron. Ein Positron entsteht nämlich immer gemeinsam mit einem Elektron aus einem (in der Blasenkammer nicht sichtbaren) Photon. Die Spur am gleichen Vertex, die nach links gekrümmt ist, stammt von dem Elektron.

- **Aufgabe 2**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau und die orange hervorgehobene Spur sichtbar sind.

- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Zu den hervorgehobenen Spuren führt keine Spur eines Strahlteilchens hin, weiterhin besitzen die Spuren entgegengesetzte Krümmungsrichtungen, daher besitzen die Teilchen, die die Spuren hinterließen, verschiedene Vorzeichen der elektrischen Ladung.

Daraus folgt, dass die hervorgehobenen Spuren aufgrund der Umwandlung eines Photons in ein Elektron-Positron-Paar sichtbar sind. Die beiden Spuren stammen von dem Elektron-Positron-Paar.

- **Aufgabe 3**

Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

- blaue Spur
 orange farbene Spur
 gleiche Geschwindigkeit

Die orange hervorgehobene Spur stammt von einem Elektron, die blau hervorgehobene Spur von einem Positron. Elektronen und Positronen besitzen eine elektrische Ladung. Wenn sie sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft als Radialkraft. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls. Der Impuls ist von Ruhemasse und Geschwindigkeit abhängig. Da die Ruhemasse von Positronen und Elektronen gleich ist, ergibt sich, je größer der Impuls desto größer die Geschwindigkeit. Aus dieser Beziehung folgt: je größer der Radius der Spur am Ursprung der Spur ist, desto größer ist die Geschwindigkeit des Teilchens, von dem die Spur stammt. Da die orange hervorgehobene Spur einen größeren äußeren Radius besitzt, folgt, dass das Elektron, das diese Spur hinterlassen hat, eine größere Geschwindigkeit besitzt als das Positron, das die blau hervorgehobene Spur hinterlassen hat.

- **Aufgabe 4**

Die beiden hervorgehobenen Spuren gehen vom gleichen Vertex aus. Bestimme jeweils den größten Radius der Spuren. Gib die Werte auf eine Nachkommastelle gerundet an.

$$\text{Radius blau} = \underline{12,1} \text{ cm}^1$$

$$\text{Radius orange} = \underline{13,5} \text{ cm}^2$$

¹Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $11 \text{ cm} \leq \text{Radius blau} \leq 12,8 \text{ cm}$ zu.

²Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $12,9 \text{ cm} \leq \text{Radius orange} \leq 13,7 \text{ cm}$ zu.

- **Aufgabe 5**

Berechne nun die Impulse der Teilchen aus den ermittelten Radien.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74 \text{ T}$.

Gib die Werte auf drei Nachkommastellen gerundet an.

$$\text{Impuls blau} = \underline{0,063} \frac{\text{GeV}}{c}$$

$$\text{Impuls orange} = \underline{0,070} \frac{\text{GeV}}{c}$$

Stelle deinen Rechenweg dar.

Der Impuls lässt sich über $p = 0,3 \cdot B \cdot r$ berechnen. Hierzu muss die Magnetfeldstärke B in Tesla und der Radius r in Meter eingesetzt werden, um den Impuls p in $\frac{\text{GeV}}{c}$ zu erhalten.

- **Aufgabe 6**

Ermittle nun den Betrag und die Richtung des neutralen Teilchens an diesem Vertex durch Vektoraddition der beiden Impulse.

Begründe deine Schlussfolgerung aus der Vektoraddition.

Der Betrag des Impulses des neutralen Teilchens ist $0,1327 \frac{\text{GeV}}{c}$, die Richtung ist $(-0,3011; 13,271)$. Da in jedem Punkt, also auch in jedem Vertex der Impuls erhalten sein muss, muss die vektorielle Summe der Impulse der beteiligten Teilchen dem Impuls des neutralen Teilchens entsprechen.

D.7 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2722

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2722

- **Aufgabe 1**

Betrachte die pink und die gelb hervorgehobene Spur. Entscheide, welche der Spuren von einem elektrisch negativ geladenen Teilchen stammt.

Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- gelbe Spur
- pinke Spur
- beide Spuren

Da die gelb hervorgehobene Spur nach links gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch negativ geladen ist. Da die pink hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch positiv geladen ist.

- **Aufgabe 2**

Entscheide, von welchem Teilchen die blau hervorgehobene Spur stammt. Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Elektron
- Proton
- Neutron
- Photon
- Positron

Da die blau hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch positiv geladen ist. Da zu der blauen Spur keine Spur eines Strahlteilchens hinführt und sich am gleichen Vertex ebenfalls eine Spur, die nach links gekrümmt ist, befindet, ist das Teilchen ein Positron. Ein Positron entsteht nämlich immer gemeinsam mit einem Elektron aus einem (in der Blasenkammer nicht sichtbaren) Photon. Die Spur am gleichen Vertex, die nach links gekrümmt ist, stammt von dem Elektron.

• **Aufgabe 3**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau und die grün hervorgehobene Spur sichtbar sind.

- Compton-Streuung
 Umwandlung eines Photons
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
 Wechselwirkung Neutron mit Proton
 Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Zu den hervorgehobenen Spuren führt keine Spur eines Strahlteilchens hin, weiterhin besitzen die Spuren entgegengesetzte Krümmungsrichtungen, daher besitzen die Teilchen, die die Spuren hinterließen, verschiedene Vorzeichen der elektrischen Ladung.

Daraus folgt, dass die hervorgehobenen Spuren aufgrund der Umwandlung eines Photons in ein Elektron-Positron-Paar sichtbar sind. Die beiden Spuren stammen von dem Elektron-Positron-Paar.

• **Aufgabe 4**

Die grün und die blau hervorgehobene Spur gehen vom gleichen Vertex aus.

Bestimme jeweils den größten Radius der Spuren.

Gib die Werte auf eine Nachkommastelle gerundet an.

$$\text{Radius grün} = \underline{1,9} \text{ cm}^1$$

$$\text{Radius blau} = \underline{1,9} \text{ cm}^2$$

• **Aufgabe 5**

Berechne nun die Impulse der Teilchen aus den ermittelten Radien.

Die Magnetfeldstärke beträgt $B = 1,74 \text{ T}$.

Gib die Werte auf drei Nachkommastellen gerundet an.

$$\text{Impuls grün} = \underline{0,010} \frac{\text{GeV}}{c}$$

$$\text{Impuls blau} = \underline{0,010} \frac{\text{GeV}}{c}$$

Stelle deinen Rechenweg dar.

Der Impuls lässt sich über $p = 0,3 \cdot B \cdot r$ berechnen. Hierzu muss die Magnetfeldstärke B in Tesla und der Radius r in Meter eingesetzt werden, um den Impuls p in $\frac{\text{GeV}}{c}$ zu erhalten.

¹Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $1,6 \text{ cm} \leq \text{Radius grün} \leq 2,5 \text{ cm}$ zu.

²Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $1,6 \text{ cm} \leq \text{Radius blau} \leq 2,5 \text{ cm}$ zu.

- **Aufgabe 6**

Ermittle nun den Betrag und die Richtung des Impulses des Photons an diesem Vertex durch Vektoraddition der beiden berechneten Impulse.

Begründe deine Schlussfolgerung aus der Vektoraddition.

Der Betrag des Impulses Photons ist $0,02 \frac{\text{GeV}}{c}$, die Richtung ist $(-0,0309; 2.0064)$. Da in jedem Punkt, also auch in jedem Vertex der Impuls erhalten sein muss, muss die vektorielle Summe der Impulse des Elektrons und des Positrons dem Impuls des Photons entsprechen.

D.8 Lösungen zur Blaskammeraufnahme 2811

Lösungen zur Blaskammeraufnahme 2811

- **Aufgabe 1**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die blau hervorgehobene Spur sichtbar ist.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Umwandlung eines Photons
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung**
- Wechselwirkung Neutron mit Proton
- Wechselwirkung Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

Da die blau hervorgehobene Spur nach links gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch negativ geladen ist. Daher handelt es sich um ein Elektron. Da zu der blau hervorgehobenen Spur keine Spur eines Strahlteilchens hinführt, ist das Elektron durch Wechselwirkung mit einem in der Blaskammer nicht sichtbaren Photon aus einem Molekül der Kammerflüssigkeit herausgelöst worden. Dieser Prozess heißt Compton-Streuung

- **Aufgabe 2**

Entscheide, aufgrund welchen Prozesses die violett hervorgehobene Spur sichtbar ist.
Das Magnetfeld zeigt aus der Bildebene heraus.

- Umwandlung eines Photons
- Stoß Strahlteilchen mit Proton
- Compton-Streuung
- Stoß Neutron mit Proton**
- Stoß Strahlteilchen mit Elektron

Begründe deine Entscheidung!

Da die violett hervorgehobene Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch positiv geladen ist. Da sich am gleichen Vertex keine Spur, die nach links gekrümmt ist, befindet, kann es kein Positron sein. Ein Positron entsteht nämlich immer gemeinsam mit einem Elektron aus einem (in der Blaskammer nicht sichtbaren) Photon. Da zu der violett hervorgehobenen Spur keine Spur hinführt, muss das Proton durch die Wechselwirkung mit einem Neutron (welches in der Blaskammer keine Spur hinterlässt) aus der Kammerflüssigkeit herausgelöst worden sein.

• **Aufgabe 3**

Die blau und die violett hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches den größeren Impuls besitzt.

- gleicher Impuls
 blaue Spur
 violette Spur

Begründe deine Entscheidung!

Die blau hervorgehobene Spur stammt von einem Elektron, die violett hervorgehobene Spur stammt von einem Proton. Elektronen und Protonen besitzen eine elektrische Ladung. Wenn sie sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft als Radialkraft. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls. Da die violett hervorgehobene Spur einen größeren äußeren Radius besitzt, folgt, dass das Proton, das diese Spur hinterlassen hat, einen größeren Impuls besitzt als das Elektron, das die blau hervorgehobene Spur hinterlassen hat.

Zusatzaufgabe: Begründe, welche Aussage du über die Geschwindigkeit der Teilchen treffen kannst.

Der Impuls ist von Ruhemasse und Geschwindigkeit abhängig. Da die Ruhemasse von Elektronen und Protonen sehr verschieden ist, kann ohne genaues Ermitteln der Impulse keine Aussage über die Geschwindigkeiten getroffen werden.

• **Aufgabe 4**

Die beiden rot hervorgehobenen Spuren gehen vom gleichen Vertex aus. Ermittle den Impuls der Teilchen, indem du ihre Reichweite bestimmst. Gib die Reichweite auf eine Nachkommastelle gerundet an.

Reichweite hellrot = 9,8 cm¹.

Das entspricht einem Impuls von $p_{\text{hellrot}} = 0,265 \frac{\text{GeV}}{c}$.

Reichweite dunkelrot = 9,0 cm².

Das entspricht einem Impuls von $p_{\text{dunkelrot}} = 0,260 \frac{\text{GeV}}{c}$ ³.

¹Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $9,5 \text{ cm} \leq \text{Reichweite hellrot} \leq 10,2 \text{ cm}$ zu. Der Maßstab GeoGebra-Einheiten:cm ist 1:1.

²Das digitale Arbeitsblatt lässt Werte $8,5 \text{ cm} \leq \text{Reichweite dunkelrot} \leq 9,2 \text{ cm}$ zu.

³Das digitale Arbeitsblatt gibt für $8,5 \text{ cm} \leq \text{Reichweite} \leq 8,6 \text{ cm}$ einen Impuls von $p = 0,255 \frac{\text{GeV}}{c}$ aus.

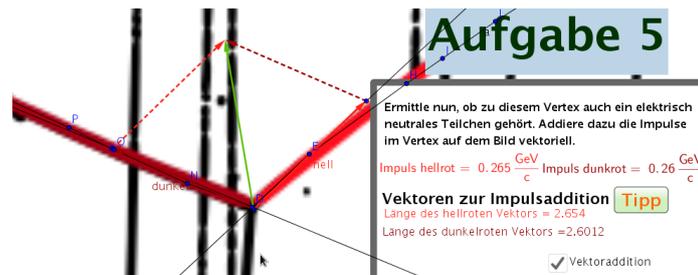
• **Aufgabe 5**

Ermittle nun, ob zu diesem Vertex auch ein elektrisch neutrales Teilchen gehört.

Addiere dazu die Impulse im Vertex auf dem Bild vektoriell.

Nenne und begründe die Schlüsse, die du aus der Vektoraddition ziehen kannst.

Die vektorielle Impulsaddition der Impulse des Teilchens, das die hellrot hervorgehobene Spur hinterlassen hat und des Teilchens, das die dunkelrot hervorgehobene Spur hinterlassen hat, ergibt einen resultierenden Impuls. Aufgrund der Impulserhaltung müssen die Impulse der Teilchen, die vor einer Umwandlung an einem Vertex vorhanden sind, den Impulsen der Teilchen, die nach der Umwandlung an diesem Vertex vorhanden sind, entsprechen. Der ermittelte resultierende Impuls (hier hellgrün) zeigt nicht in die Richtung, in welche die zum Vertex hinführende Spur zeigt. Daher muss an der Umwandlung auch ein elektrisch neutrales, in der Blasenkammer nicht sichtbares, Teilchen beteiligt gewesen sein.



- Zu dem Vertex gehört ein elektrisch neutrales Teilchen
- Zu dem Vertex gehört kein elektrisch neutrales Teilchen.

D.9 Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2830

Lösungen zur Blasenkammeraufnahme 2830

Hinweis: Dieses Lösungsblatt enthält lediglich jeweils eine Lösung für die Aufgaben. Es sind mehrere Lösungen möglich.

- **Aufgabe 1**

Markiere die Spur eines Elektrons, welches aufgrund der Wechselwirkung mit einem Strahlteilchen in der Blasenkammer eine Spur hinterlassen hat.

Die grün markierte Spur stammt von einem Elektron, welches aufgrund der Wechselwirkung mit einem Strahlteilchen eine Spur in der Blasenkammer hinterlassen hat. Da die Spur nach links gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch negativ geladen ist. Da zu dem Vertex die Spur eines Strahlteilchens hinführt, ist seine Spur aufgrund der Wechselwirkung mit demselben sichtbar.

- **Aufgabe 2**

Markiere die Spur eines Positrons. Nenne den Prozess, aufgrund dessen das Positron in der Blasenkammer sichtbar ist.

Die violett markierte Spur stammt von einem elektrisch positiv geladenen Teilchen. Da die Spur nach rechts gekrümmt ist, folgt mithilfe der Rechten-Hand-Regel, dass das Teilchen elektrisch positiv geladen ist. Ein Positron entsteht in der Blasenkammer immer zusammen mit einem Elektron aus der Umwandlung eines Photons. Das heißt, dass am gleichen Vertex zwei ausgehende Spuren mit entgegengesetzter Krümmungsrichtung vorhanden sein müssen. Da das (elektrisch neutrale) Photon selbst keine Spur in der Blasenkammer hinterlässt, führt keine Spur zum Vertex hin.

- **Aufgabe 3**

Markiere die Spuren eines Elektron-Positron-Paares, bei welchem das Elektron und das Positron einen stark unterschiedlichen Impuls besitzen. Welches Teilchen besitzt den größeren Impuls?

Die hellblau hervorgehobenen Spuren stammen von einem Elektron-Positron-Paar. Das Positron besitzt den größeren Impuls, da der Krümmungsradius der Spur größer ist. Elektronen und Positronen besitzen eine elektrische Ladung. Wenn sie sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt auf sie die Lorentzkraft als Radialkraft. Durch Gleichsetzen der Beträge der beiden Kräfte ergibt sich $p = Q \cdot B \cdot r$. Also bedeutet ein größerer Radius einen größeren Impuls.

- **Aufgabe 4**

Betrachte die markierten Spuren des Elektron-Positron-Paares. Ein Teilchen besitzt einen Impuls von $p_1 = 0,029 \frac{\text{GeV}}{c}$, das andere Teilchen besitzt einen Impuls von $p_2 = 0,601 \frac{\text{GeV}}{c}$. Betrachte mittels vektorieller Addition den Impulserhalt am Vertex. Begründe, ob ein neutrales Teilchen an dem Prozess am Vertex beteiligt ist. Falls ja, gib den Betrag des Impulses an und zeichne den Impuls auf deinem Arbeitsblatt ein.

Da ein Elektron-Positron-Paar aus der Umwandlung eines Photons entsteht, ist an dem Prozess an diesem Vertex auch ein elektrisch neutrales Teilchen beteiligt (das Photon). Da nur vom Vertex ausgehende Spuren sichtbar sind, muss ein elektrisch neutrales Teilchen beteiligt sein. Die vektorielle Addition der Impulse ergibt einen Impulsbetrag von $p_{\text{neutral}} = 0,629 \frac{\text{GeV}}{c}$.

