RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

EXPERIMENTIEREN MIT DER PLASMAKUGEL

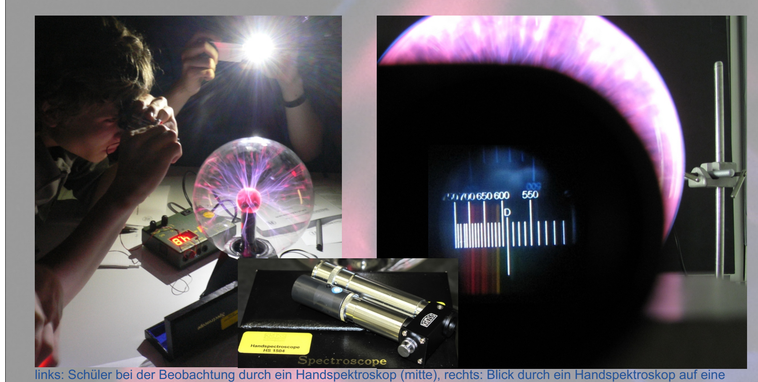
STEFAN UHLMANN & BURKHARD PRIEMER
FAKULTÄT FÜR PHYSIK UND ASTRONOMIE
DIDAKTIK DER PHYSIK

Das Wort Plasmaphysik wird selten in der Schule gebraucht, dennoch sind viele Elemente der Plasmaphysik fester Bestandteil vieler Lehrpläne. Relevante Themen sind: Atommodelle, atomare Anregungen, Atomspektren, Aggregatzustände, elektrisches Feld etc. Anhand einer handelsüblichen und im Vergleich zu professionellen Lehrapparaten äußerst preiswerten Plasmakugel soll auf diesem Plakat ein Überblick über mögliche einführende und vertiefende Versuche mit der Plasmakugel gegeben werden. Das Spektrum reicht von einer Exploration mit der Plasmakugel sowie weiteren Alltagsgegenständen (z.B. Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen, Glimmlampen, ...) bis hin zu Experimenten wie beispielsweise die Bestimmung der Füllgase durch spektroskopische Verfahren sowie die Ausmessung des elektrischen Feldes der Plasmakugel.

Spektroskopie der Füllgase

Handspektrometer

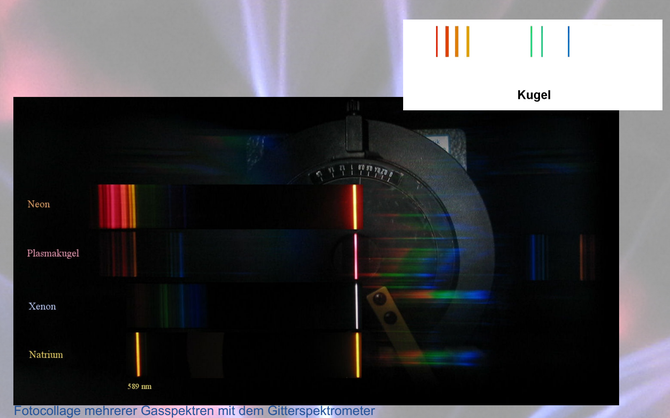
Das Ziel aller drei Spektroskopieversuche ist es, die Füllgase der Plasmakugel zu bestimmen. In der ersten Methode wird ein handelsübliches Handspektrometer verwendet. Das Handspektrometer der Firma Krüss (siehe Bild unten) basiert auf dem physikalischen Prinzip der Dispersion an einem Geradsichtprisma. Neben dem Spektrum des beobachteten Lichts wird zusätzlich noch eine geeichte Wellenlängenskala in den Strahlengang gebrochen. Dies dient der Wellenlängenbestimmung der einzelnen Linien. Durch den Vergleich des aufgenommenen Spektrums mit Referenzspektren von bekannten Gasen kann man die Füllgase der Plasmakugel bestimmen.



links: Schüler bei der Beobachtung durch ein Handspektroskop (mitte), rechts: Blick durch ein Handspektroskop auf eine Plasmakugel (Hintergrund)

Gitterspektrometer

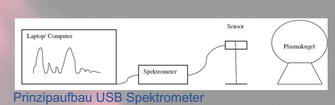
Bei der zweiten Methode wird ein schulüblicher Gitterspektroskopieaufbau verwendet. Da die Strahlungsintensität der Plasmakugel sehr gering ist, kann man nur bei einem stark abgedunkelten Raum das Linienspektrum der Plasmakugel auf dem Schirm beobachten. Eine weitere Möglichkeit ist die langbelichtete Aufnahme mittels einer Fotokamera. (siehe Bild unten: Collage aus dem Spektrum der Plasmakugel und Vergleichsgasen) Durch eine zu eichende Skala auf dem Schirm kann wiederum durch den Vergleich mit Referenzgasen die Zusammensetzung des Füllgases der Plasmakugel bestimmt werden.



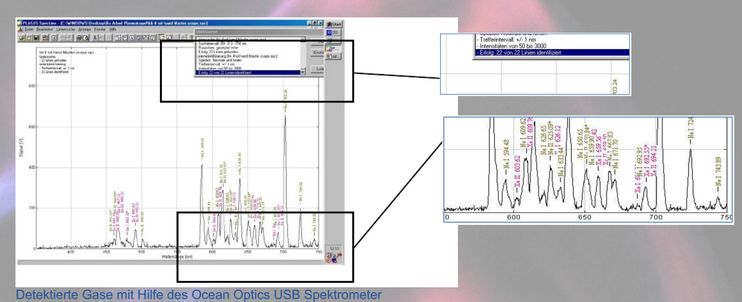
Fotocollage mehrerer Gasspektren mit dem Gitterspektrometer

USB-Spektrometer

Die professionellste und exakteste hier vorgestellte Spektroskopiemethode ist wegen des hohen Kostenaufwands für den Schuleinsatz weniger relevant. Die Aufnahme des Spektrums erfolgt über einen Sensor, welcher die Daten durch ein Glasfaserkabel an das eigentliche Spektrometer (Ocean Optics) weiterleitet. Dieses ist mit dem Computer verbunden und stellt im Programm OOIbase32 das beobachtete Spektrum graphisch dar. Zur weiteren Verarbeitung der Daten wird das Programm Plasus SpecLine verwendet (siehe Bild unten). Mit einer chemischen Datenbank im Hintergrund kann man somit die detektierten Gase nebst Intensität ermitteln.



Prinzipaufbau USB Spektrometer

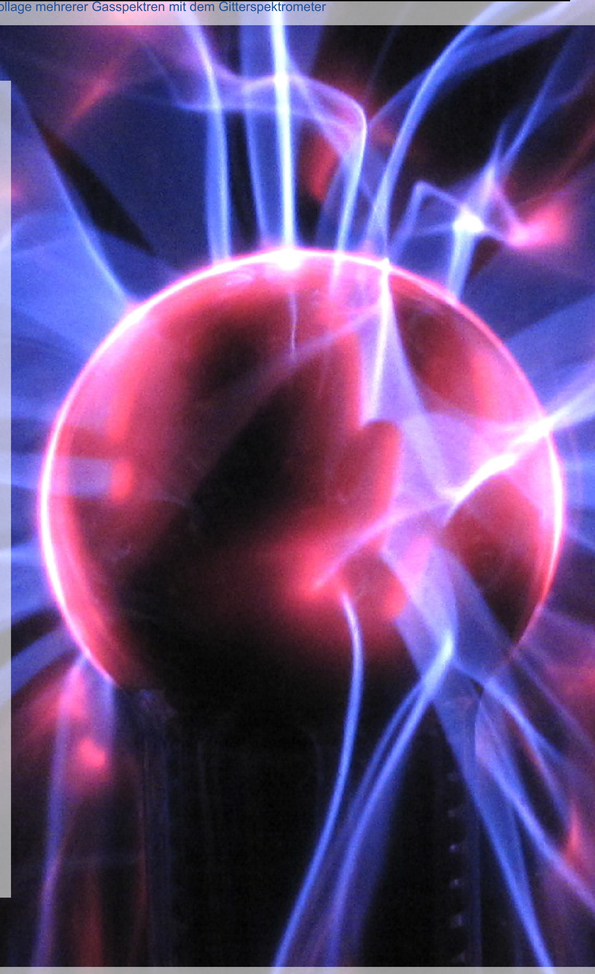


Detektierte Gase mit Hilfe des Ocean Optics USB Spektrometer

Variation der Füllgase

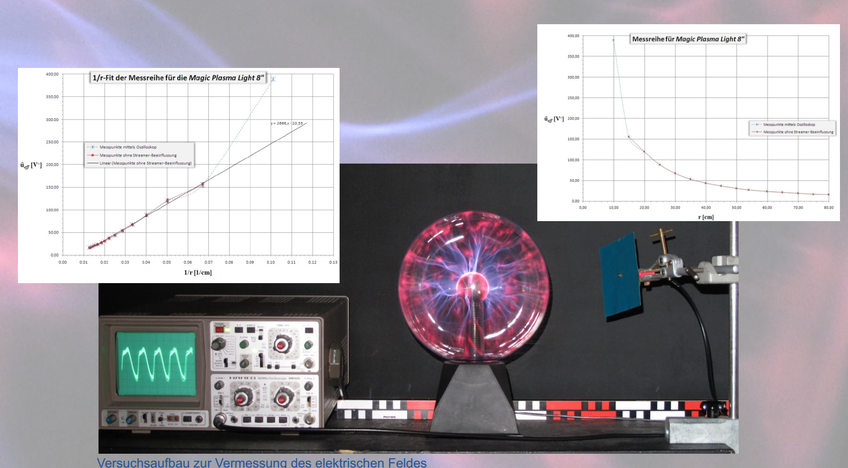
Den ursprünglichen Glaskörper der handelsüblichen Plasmakugel kann man durch eine andere Glaskugel gleichen Durchmessers allerdings mit Zufuhrhahn (siehe Bild links) ersetzen. Dadurch kann man mittels einer schulüblichen Vakuumpumpe verschiedene Gase in Abhängigkeit vom Druck in den Plasmazustand überführen. Der Teslatransformator und alle anderen technischen Bauteile bleiben dabei die gleichen. Denkbar sind bei diesem Versuch vielerlei Gase, unten dargestellt sind die Ergebnisse von Luft (Bild unten links), Helium (Bild links und rechts bei unterschiedlichen Drücken), Wasserstoff/Stickstoff- Gemisch (Bild unten rechts) und Argon/Kohlenstoffdioxid-Gemisch (Bild oben aufgehellt).

Die Plasmakugel befüllt mit verschiedenen Gasen.



Messung des elektrischen Feldes

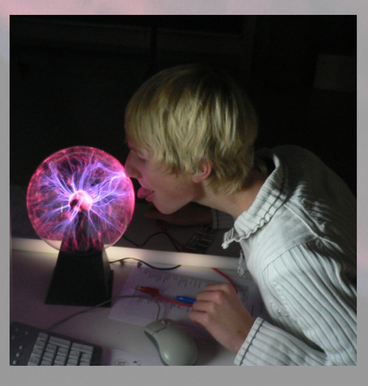
Das elektrische Wechselfeld, welches durch den im inneren der Plasmakugel befindlichen Teslatransformator generiert wird, kann mittels einer Antenne (im Bild rechts die Metallplatte) und einem Oszilloskop (im Bild links) ausgemessen werden. Sowohl die Spannung als auch die Frequenz der Plasmakugel kann ermittelt werden. Bei der Plasmakugel handelt es sich um eine Hochfrequenzentladung in der Größenordnung 30-40 kHz, die auftretende Spannung liegt in der Größenordnung von einigen kV. Die Anordnung ist vergleichbar mit einem Kugelkondensator bei Wechselstrom. Das Berühren der Plasmakugel ist aufgrund des Skin-Effekts für den Menschen ungefährlich.



Versuchsaufbau zur Vermessung des elektrischen Feldes

Exploration der Plasmakugel

In einer offenen (und bilingualen) Lernumgebung wurden Schüler und Schülerinnen mit der Aufgabe betraut, mit einer Plasmakugel sowie weiteren handelsüblichen Materialien frei zu explorieren und ihre Beobachtungen ohne Erklärungsversuche niederzuschreiben. Neben der eigentlichen Plasmakugel hatten die Schüler Leuchtstoffröhren, Glimmlampen, Energiesparlampen, Kabel sowie Metallschlüssel zu Verfügung. Die erstaunlich vielfältigen Ergebnisse sind rechts in der Tabelle kategorisiert dargestellt. Die Schüler und Schülerinnen hatten während der Exploration viel Spaß und bewiesen eine erfreuliche Kreativität. Gleichzeitig fiel es ihnen auffallend schwer, zunächst "nur" zu beobachten ohne dabei Erklärungen für die gefundenen Phänomene zu äußern.



Schüler und Schülerinnen bei der offenen Exploration

Die von den Schülern und Schülerinnen gefundenen Phänomene:

Gegenstand	Beobachtungen	Anzahl
plasma sphere in normal condition	- lots of streamers	9
	- streamers are pink-blue-pink	9
	- move around fast	9
	- object/ human approaches: streamers change direction and speed	7
	- the bigger the area of touching the bigger the streamer	7
	- only reaction to conducting objects	7
	- circulation (light up at bottom, vanish at top)	3
	- turns red when touched	3
	- electric field	3
	- buzzing	2
	- black field in middle	2
	- from bottom up	2
	- streamers split up at top	1
	- object touches sphere: pink field spreads out	1
	- no noise at all	1
touched by finger	- only blue streamer?	14
	- two fingers: connected by streamer	10
	- development of heat	9
	- still smaller streamers there, but less than before	9
	- streamers headed towards finger	7
	- weak prickle/ tingle	4
	- streamer jumps between these two fingers	4
	- smells like chlorine/ ozone/ solarium	4
	- finger smells burned	2
	- vibrations	2
	- very quiet buzz & whir (as if gas is escaping)	2
	- when touching, buzz gets louder	2
	- streamer follows finger	1
	- sound of electricity	1
	- bigger streamer	1
touched by hand	- only one big streamer left	13
	- number of streamers decreases	11
	- development of heat	11
	- streamer concentrated on hand	9
	- several streamers become one	9
	- shrill, high, but gentle tone	7
	- vibration	6
	- streamer moves around palm of hand	4
	- gets louder, when touched	2
	- two hands: streamer goes to palm which takes up greatest area	1
	- hand is drawn to sphere	1
	- two hands: streamer jumps between them	1
	- two hands: louder buzz	1
	- ball in middle of sphere is covered in pink	1
fluorescent lamp	- lights up at a distance of about 10 cm	17
	- it only lights up to where it is touched by human	13
	- closer to lamp = brighter	9
	- also lights up, if it is touching the sphere	8
	- cable of sphere touching it: lights up	8
	- streamer headed towards it	2
	- with hand on sphere: even brighter	2
	- with hand on sphere, it stops shining	2
	- if connected to sphere by cable it doesn't shine	2
	- electronic circulation is closed	1
	- if connected to sphere by cable, it shines	1
	- if finger touches sphere with lamp in same hand, lamp doesn't shine	1
	- cable of sphere touching it while metal ring on sphere: brighter	1
glow lamp	- starts to glow at a distance of about 10 cm	17
	- glows brighter if closer to sphere	10
	- if touched by cable of sphere: glows	4
	- streamer headed towards it	3
	- does not matter if it touches sphere with sides or metal cap, always glows	3
	- also glows if touching sphere directly	3
	- connected to sphere by cable: lights up	1
	- has orange light	1
	- if human is touching both ends of lamp, it delays lighting up	1
	- the centre always lights up first	1
	- doesn't light up if connected by cable while hand on sphere	1
fluorescent lamp and glow lamp	- both shine brightly	2
	- fluorescent lamp needs more energy and steels it of the glow lamp, which doesn't light up	1
	- glow lamp at metal end of fluorescent lamp: fluorescent lamp stops shining; glow lamp lights up	1
ring	- if ring lays on sphere and human touches it, he or she gets an electric shock	1
	- prickle	1
	- sound is higher and louder	1
	- finger with ring creates bigger streamer	1
paper	- no reaction at all	1
	- if finger touches sphere through paper, reaction	1
plastic	- no reaction	5
metal key	- electric shock	3
	- lightning outside of sphere	2
	- vibration	1
	- if key between lamp and sphere, lamp doesn't shine	1
cable	- lamp lights up if connected to sphere by cable, even if further away	6
	- electrical shock if cable is connected to sphere and human	4
	- if cable is laying on sphere, streamer is around it	3
	- conducts energy	2
	- finger smells burned	2
	- if both end of cable touch sphere, there are two big streamers headed towards them - if cable is touched then, lamp stops to shine	2
	- if finger touches sphere then, lamp shines in a weaker way	1
audio	- when there is clapping, plasma sphere lights up	2
	- reacting to sound waves	1
	- only for as long there is clapping or noise around it	1
kissing	- streamer splits up	1
two people touching	- electric shock, if both lay one hand on sphere and touch each other with the other hand	2
	- streamer goes to more charged hand	1

Fragen oder Anregungen? uhlmann@physik.rub.de oder unter: www.dp.rub.de