

Photonik macht Schule das Erlanger Schülerlabor zur Quantenoptik

Jan-Peter Meyn
jan-peter.meyn@physik.uni-erlangen.de

1. Quantenphysik in der Schule
2. Das Photon aus didaktischer Sicht
3. Erlanger Konzept zur Quantenphysik
4. Schülerlabor: *Photonik macht Schule*

1

Moderne Physik im Unterricht

- Aktuelle Themen fördern das Interesse
 - ...und damit den Lernerfolg
- Themen in den Medien
 - Informationstechnologie
 - Kosmologie
 - Energie
 - Medizin
- *These*: Physik des 21. Jhd. ist zu selten Gegenstand des PU

2

Rückblick: Abituraufgaben

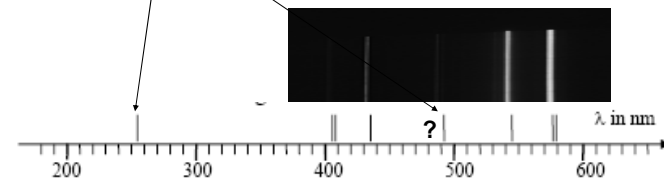
- Abituraufgaben spiegeln wesentliche Unterrichtsinhalte wieder
- Experimente aus der Frühzeit der Quantenphysik (-1930)
- Exemplarisch: Quecksilberspektrum 2006

3

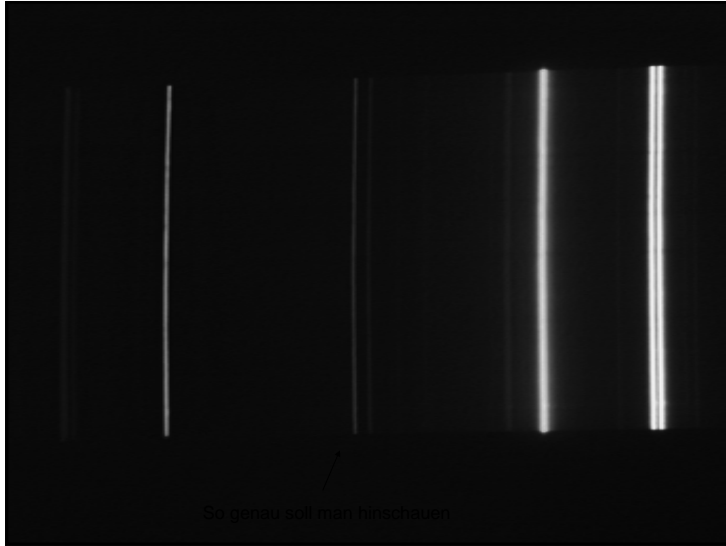
Spektralanalyse (Abitur 2006)

Im Rahmen des Experimental-Praktikums soll das Emissionsspektrum einer Quecksilberdampfampe untersucht werden.

- Skizzieren Sie einen geeigneten Versuchsaufbau. Womit können Spektrallinien im nahen UV-Bereich visuell nachgewiesen werden?
- Die folgende Abbildung zeigt schematisch das mit einem Prisma erzeugte Spektrum einer Quecksilberdampfampe. Ordnen Sie den Spektrallinien die Farben blau, blaugrün, gelb, grün oder violett zu, bzw. geben Sie an, ob sie dem UV-Bereich angehören.

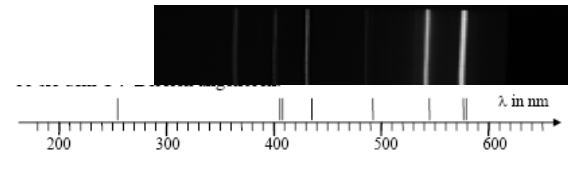


4



Experimental-Praktikum?

- Linie bei 365nm ist leicht beobachtbar... (Papierfluoreszenz)
 - Wellenlängenskala stimmt für Beugungsgitter
 - Wellenlängen unterhalb 350nm werden absorbiert

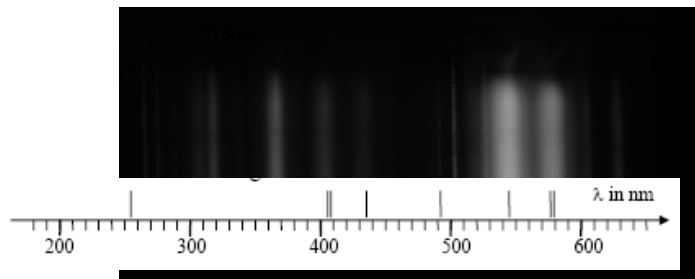


- c) Erzeugt man das in Teilaufgabe 2b skizzierte Spektrum nicht mit einem Prisma, sondern mit einem optischen Gitter, so ist eine weitere Linie in der Nähe von 510 nm nachweisbar, die jedoch nicht die bei dieser Wellenlänge zu erwartende Farbe hat. Erklären Sie diesen Sachverhalt und geben Sie an, aus welchem Spektralbereich die Linie stammt.

6

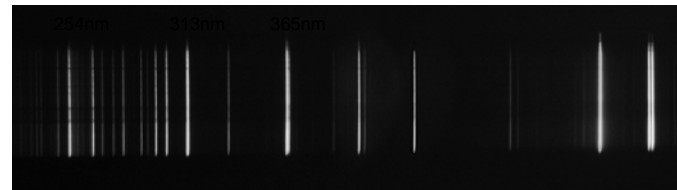
UV-Spektrum

- Linse aus Quarzglas
- Chromatische Aberration dominiert das Experiment
- Reflexionsgitter (500nm blaze)



254nm Linie optimiert

- Reflexionsgitter $f = 250\text{mm}$, UV enhanced aluminum
- Gitter mit 250nm blaze



8

Fazit Quecksilberspektrum

- Anspruch: „Experimental-Praktikum“
 - Auswändiges Wissen abgefragt: Farbe vs. Wellenlänge
 - Fehlerhafte Aufgabenstellung zum UV-Spektrum
- Methoden der Spektroskopie werden nicht behandelt
 - Transmission
 - Chromatische Aberration
 - Nichtlineare Dispersion eines Quarzprismas
 - Gitter-Blaze

9

Moderner Physikunterricht in Bayern

10

Aktuelle Vorschläge zur Quantenphysik

- Münchner Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik [Müller und Wiesner, z.B. Am. J. Phys **70**, 200 (2002)]
 - Vgl. ISB Handreichung
 - Umfangreiche Bibliographie in der Dissertationsschrift Müller 2003
- F. Bader: Eine Quantenwelt ohne Dualismus, 1996
 - Simulationsprogramme mit Anleitung
- J. Küblbeck, R. Müller: Die Wesenszüge der Quantenphysik, 2002
 - Theoretische Grundlagen und Beschreibung moderner Experimente
- ...viele Simulationen, keine neuen Experimente

11

Konventionelle Experimente

- Reale Experimente mit Tradition
 1. Photoeffekt mit K-Zelle
 2. Franck-Hertz-Versuch
 3. Compton-Effekt
 4. Milikan-Öltröpfchen
 5. Neu: Quantenradierer [J. Küblbeck, PdN-Ph, 8/49, 22 (2000)]
- Interpretation: Licht als elektromagnetische Welle
 - [Schrödinger 1927, Mandel et al. 1964, Dodd 1983, ...]
- Begriff des Photons wird benutzt, aber nicht authentisch motiviert

12

Photonen sind...

- ...Objekte der Quantenelektrodynamik
- Herstellung erfordert QED-Prozess
 - Spontane Emission
 - Parametrische Fluoreszenz
- Für Photonen gibt es kein klassisches Modell
 - Insbesondere kein Teilchenmodell

13

Nachweis einzelner Photonen

- Gern gebrauchtes Argument: PMT klickt \Rightarrow Photon existiert
 - Wahre Aussage: Klick kann mit Photonen erklärt werden
 - Falsche Aussage: Photon ist die einzige sinnvolle Erklärung
- Makroskopische Analogie
 - Ganze Blätter fallen \Rightarrow Wind ist quantisiert [Greenstein&Zajonc]

14

Stochastische Bildentstehung mit hellem Licht

- Young'scher Doppelspalt
- Webcam
- Detektorelektronik
 - Pixel wird ausgelesen
 - Helligkeit wird aus RGB berechnet
 - Helligkeit definiert Zerfallsrate
 - Poisson-Prozess für Zerfall wird simuliert
 - Zerfallenes Pixel wird angezeigt
- Java-Programm von Andreas Strunz
- online ab ca. 1/2009

15

Photonen im Unterricht

16

Möglichkeiten der Einführung

- Historisch
 - Planck, Bohr, ...
 - Konventioneller Unterricht
 - Erfahrungsgemäß ohne die letzten 80 Jahre
- Erläuterung der Theorie
 - Feynman: QED – the strange theory of light and matter
 - Vorbild für viele Unterrichtsvorschläge
 - Zeigerformalismus
 - Klassische Physik ist Spezialfall der QED
- Phänomen-orientiert
 - Reale Experimente nehmen zentrale Rolle ein
 - Quanteneffekte sind Abweichung von der klassischen Welt

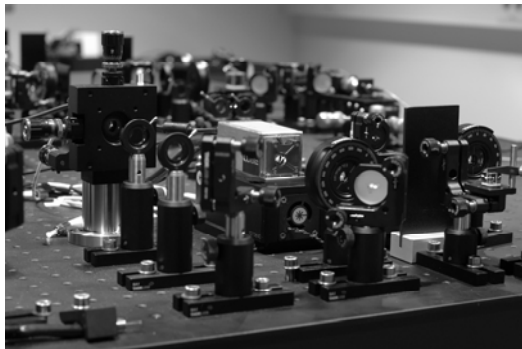
17

Erlanger Konzept zur Quantenoptik

- Experimente leiten durch das Curriculum
 - Optische Quantenphänomene entdecken
 - Theoretische Vorhersagen (qualitativ) überprüfen
 - Wissenschaftliche Methoden exemplarisch zeigen
- Funktion der Experimente steht im Vordergrund
 - Erscheinung vs. Präparation einer Erscheinung
 - Enge Kopplung an wissenschaftlichen Fortschritt
- Photonen: spezifische Quanteneigenschaften des Lichts
 - Interferenz ist klassische Eigenschaft!
- Klassenstufe 12 ist geeignet,
 - teilweise auch KI 10; Test: Patrick Bronner

18

Erlangen Quantenoptik-Labor



19

Interaktive Bildschirmexperimente

- www.quantumlab.de

20

Anwendung: Quantenkryptographie



21

Photonik macht Schule

22

Photonik macht Schule

- Erlanger Schülerlabor zur Quantenoptik
- Gefördert durch die Robert-Bosch-Stiftung ab 15.4.2008

- 3-stufiges Konzept zur Physik des Photons
 - Praktische Arbeit mit experimentellen Methoden (2er-Gruppen)
 - Polarisation
 - Wellenleiter
 - Kryptographie-Protokoll
 - Durchführung eines realen Experiments unter Anleitung
 - Erzeugung von Quantenzufallszahlen
 - BB84 mit einzelnen Photonen
 - Verschränkung
 - Besuch der Max-Planck-Forschungsgruppe

23

Nutzung des Schülerlabors

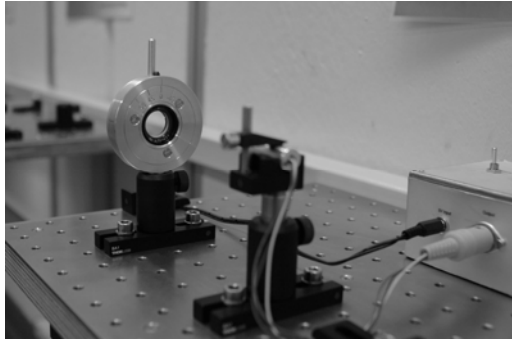
- Schulklassen
- Arbeitsgemeinschaften
- Lehramtsstudierende
- Referendare
- Lehrer/innen

- Projektziele
 - Quantenoptik in die Schule bringen
 - Besuch eines Forschungslabors intensiv vorbereiten
 - Experimente zur Quantenoptik weiter entwickeln
 - Erfahrungen sammeln mit neuen Unterrichtsmaterialien
 - Fortbildung von Lehrkräften

24

Schülerlabor

- Realisierung: Andreas Vetter
- Praktische Arbeit mit wissenschaftlichen Geräten



25

Schülerlabor

- Experiment selbst zusammen bauen



26

Schülerlabor

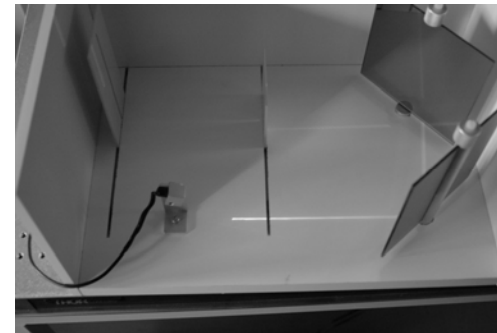
- Modellexperiment mit hellen Lichtpulsen zum BB84 Protokoll



27

Schülerlabor

- Justieren lernen: Laser ausrichten mit Irisblenden



28

Organisation des Schülerlabors

- Zielgruppe: Klasse 11 und 12
- Begleitend zum regulären Unterricht

- Offen für alle interessierten Schüler/innen
- Anmeldung
 - Formular am Didaktik-Tisch
 - per Email: ullrike.hortig@physik.uni-erlangen.de
 - homepage (ab November 2008)
- Festlegung eines Termins
 - Ganztägig oder 2 Nachmittage

- Vor- und Nachbereitung durch verantwortliche Lehrkraft
 - www.quantumlab.de
 - Unterrichtsmaterial zum Schülerlabor

29

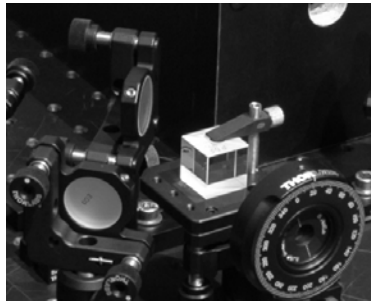
Ausblick

- Schülerlabor als Bestandteil des Physikunterrichts
 - Regionaler Schwerpunkt Franken
 - Kooperation mit Studienseminaren Stuttgart und Kaiserslautern

- Entwicklung eines Curriculums zur Quantenphysik
 - Basierend auf dem Quantenobjekt Photon
 - Reale Experimente und IBE mit nichtklassischem Licht
 - Anwendung Quantenkryptographie

30

www.QuantumLab.de



P. Bronner*, A. Strunz*, C. Silberhorn*, J.-P. Meyn*

*Didaktik der Physik, *Max-Planck-Forschungsgruppe

