

## Elektronen in Materie

### Elektronenspektroskopie mit Röntgenstrahlen

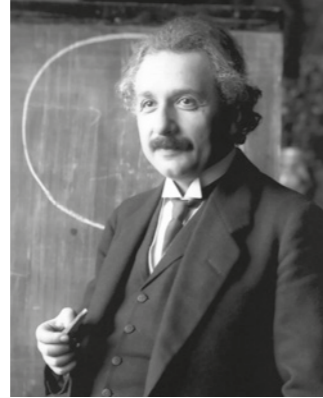
#### Der photoelektrische Effekt – Wofür Einstein wirklich den Nobelpreis gewonnen hat

Alle Materialien bestehen aus Atomen und diese wiederum aus einem Atomkern und Elektronen. Bei Wechselwirkung mit hochenergetischem Licht, wie UV- oder Röntgenlicht, werden aus den Atomen Elektronen herausgelöst.

Diese sogenannten Photoelektronen haben anschließend eine Bewegungsenergie  $E_{kin}$ . Diese hängt nicht von der Lichtintensität ab, sondern von der Energie des Lichts  $h\nu$  (der Frequenz), reduziert um die Bindungsenergie  $E_{Bind}$  der Elektronen im Material und einer zusätzlichen Austrittsarbeit  $\phi_A$ .

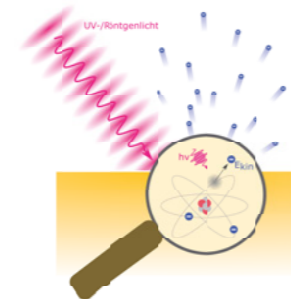
$$E_{kin} = h\nu - E_{Bind} - \phi_A$$

Albert Einstein gelang es, diesen Effekt mit Hilfe von Lichtteilchen (Photonen) zu beschreiben, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt.



† Albert Einstein, 1921. (Fotografie von Ferdinand Schmutzer)

↓ Schematische Darstellung des photoelektrischen Effekts. UV-/Röntgenlicht trifft auf das Material und löst Elektronen mit verschiedenen Bewegungsenergien heraus.



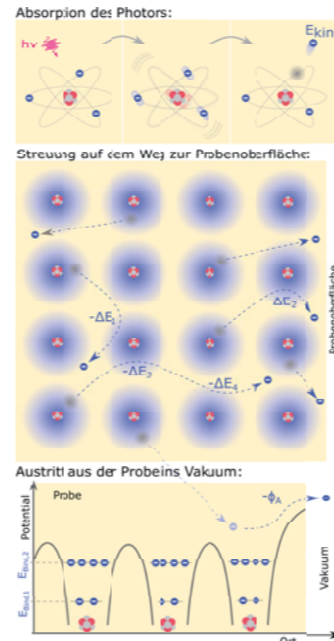
#### Wie genau kommt es zum photoelektrischen Effekt?

Hochenergetische Lichtteilchen (UV-/Röntgenphotonen) geben ihre Energie und ihren Impuls an gebundene Elektronen durch Absorption ab. Angeregte Elektronen besitzen dann genug Energie, um sich aus dem Einflussbereich eines Atomkerns zu befreien.

Auf dem Weg zur Materialoberfläche können sie noch unter Energieabgabe mit anderen Elektronen streuen. Diese Streuung begrenzt die Tiefe, aus der ungestreute Elektronen stammen. Mit einem gegebenem Energieaufwand können die Elektronen dann an der Oberfläche in das Vakuum übertreten.

Eine Materialanalyse ist somit bei vorgegebener Lichtenergie auf eine bestimmte Informationstiefe im Material limitiert.

↓ Drei-Stufen-Modell des Photoeffekts: Die Absorption des Photons löst ein Elektron aus einem atomaren Energieniveau. Auf dem Weg durch das Material kann es zur Streuung des freien Elektrons kommen. Um anschließend aus der Probe austreten zu können muss das Elektron Energie abgeben.



#### Wie wird der photoelektrische Effekt für die Materialanalyse eingesetzt?

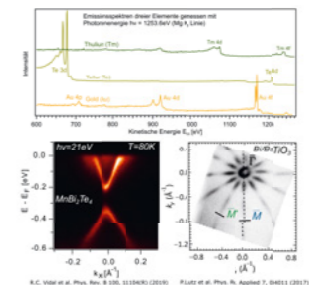
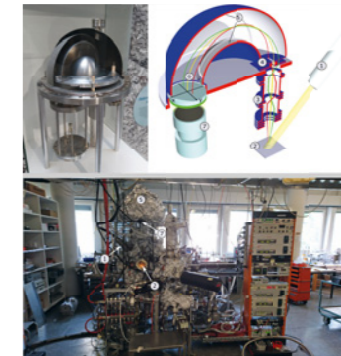
Zur Bestimmung chemischer, materialwissenschaftlicher und physikalischer Informationen eines Materials wird mit Hilfe eines Halbkugelanalytators (HKA) die Bewegungsenergie der ausgelösten Elektronen gemessen.

Der HKA fungiert hierbei als Energiefilter, den nur Elektronen einer bestimmten Energie passieren können. Die eigentliche Messung findet mittels eines Detektors statt. Dort wird das Signal jedes Elektrons in ein elektrisches Signal (= Intensität) umgewandelt.

Ziel ist es z. B., die im Spektrum gemessene Bindungsenergie des Elektrons bekannten charakteristischen Linien chemischer Elemente zuzuordnen um auf das im Material enthaltene Element schließen zu können.

→ Verschiedene Messungen mit dem HKA. Oben: Photoemissionsspektrum dreier verschiedener Elemente zeigt deren charakteristische Energieniveaus/Linien. Unten: Winkelauflöste Photoemission liefert die Energie-Impuls-Beziehung  $E(k)$  (links) und daraus die Energiekarte  $I(k_x, k_y)$  (rechts) bei konstanter Energie. Hiermit lässt sich direkt die Bandstruktur der Elektronen im Material abbilden.

↓ Aufbau und Installation des HKA im Labor. 1) Lichtquelle, 2) Probe, 3) Elektronisches Linsensystem, 4) Eintrittsspalt, 5) Konzentrische Halbkugel-Elektroden, 6) Elektronenflugbahnen, 7) Kamera/Detektor



B6



HIGHLIGHTS  
DER  
PHYSIK