

## Franck-Hertz-Röhre mit Hg-Füllung und Heizofen

1023095 (230 V, 50/60 Hz)

1023094 (115 V, 50/60 Hz)

### Bedienungsanleitung

10/21 ALF/ SD/ GH



### 1. Sicherheitshinweise

Das Gerät entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte nach DIN EN 61010 Teil 1 und ist nach Schutzklasse I aufgebaut. Es ist für den Betrieb in trockenen Räumen vorgesehen, welche für elektrische Betriebsmittel oder Einrichtungen geeignet sind.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb des Gerätes gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird. Wenn anzunehmen ist, dass ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist, ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen (z.B.

bei sichtbaren Schäden) und gegen unbeabsichtigten Betrieb zu sichern.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

- Vor der Erstinbetriebnahme überprüfen, ob das Gerät für die ortsübliche Netzspannung ausgelegt ist.
- Vor Versuchsbeginn Gerät auf Beschädigungen untersuchen.
- Bei sichtbaren Schäden oder Funktionsstörungen ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen.
- Gerät nur an Steckdosen mit geerdetem Nullleiter anschließen.
- Gerät nur durch eine Elektrofachkraft öffnen lassen.

Vorsicht Verbrennungsgefahr! Ofenwände und Sichtfenster können im Betrieb eine Temperatur bis 300° C erreichen.

- Heizofen auf eine hitzeempfindliche Unterlage stellen.
- Im Betrieb Heizofen nur an isoliertem Tragegriff transportieren.
- Vor dem Abbau des Experiments Gerät abkühlen lassen.

Vorsicht Glasbruch- und damit Verletzungsgefahr!

- Frontplatte mit allen sechs Rändelschrauben am Heizofen befestigen.
- Franck-Hertz-Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen. Anschlussdrähte nicht verbiegen.

Die Franck-Hertz-Röhre enthält Quecksilber.

- Bei Glasbruch und austretendem Quecksilber sind die Sicherheitsvorschriften zum Umgang mit Quecksilber zu beachten.

## 2. Beschreibung

Die Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilberfüllung dient zum Nachweis der gequantelten Energieabgabe freier Elektronen beim Zusammenstoß mit Quecksilberatomen sowie zur Bestimmung der Anregungsenergie der Quecksilber-Resonanzlinie ( $6^1S_0 - 6^3P_1$ ) mit 4,9 eV.

### Franck-Hertz-Röhre auf Frontplatte

Die Franck-Hertz-Röhre ist eine hoch evakuierte Elektronenröhre mit Quecksilberfüllung und planparallelem Elektrodensystem bestehend aus indirekt geheizter Oxidkathode mit Lochblende, netzförmiger Anode und einer Auffängerelektrode. Um eine hohe Stoßwahrscheinlichkeit zu erhalten, ist der Abstand zwischen Kathode und Anode groß gewählt (8 mm) gegenüber der mittleren freien Weglänge in der Hg-Atmosphäre (bei ca. 180° C). Der Abstand zwischen Anode und Auffängerelektrode ist dagegen klein gehalten. In der Höhe der Netzanode ist eine Erdungsschleife angebracht, die störende Einstreuungen verhindert. Die Röhre ist auswechselbar auf die Frontplatte des Heizofens montiert. Auf der Frontplatte befinden sich die keramisch isolierten Anschlussbuchsen und das Röhrenschild. Die Franck-Hertz-Röhre ist so montiert, dass die ganze Röhre einschließlich der Anschlussdrähte auf eine konstante Temperatur kommt. Dies ist erforderlich, weil sich die Dampfdichte des Quecksilbers stets nach der kältesten Stelle der Röhre einstellt. Leckströme über die heiße, ionenleitende Glaswand werden durch einen Schutzring aus Sinterkorund verhindert. Zwischen der Anschlussbuchse für die Beschleunigungsspannung und der Anode der Röhre ist ein Begrenzungswiderstand (10 kOhm) fest eingebaut. Durch ihn ist die Röhre geschützt, sollte es bei einer zu hohen Spannung zu einem Durchzünden kommen. Der Spannungsabfall an diesem Widerstand kann bei der Messung vernachlässigt werden.

### Heizofen

Der Heizofen dient zur Einstellung des Dampfdrucks in der Franck-Hertz-Röhre mit Hg-Füllung und zur Durchführung des Experiments mit der Natrium-Fluoreszenz-Röhre (1000913).

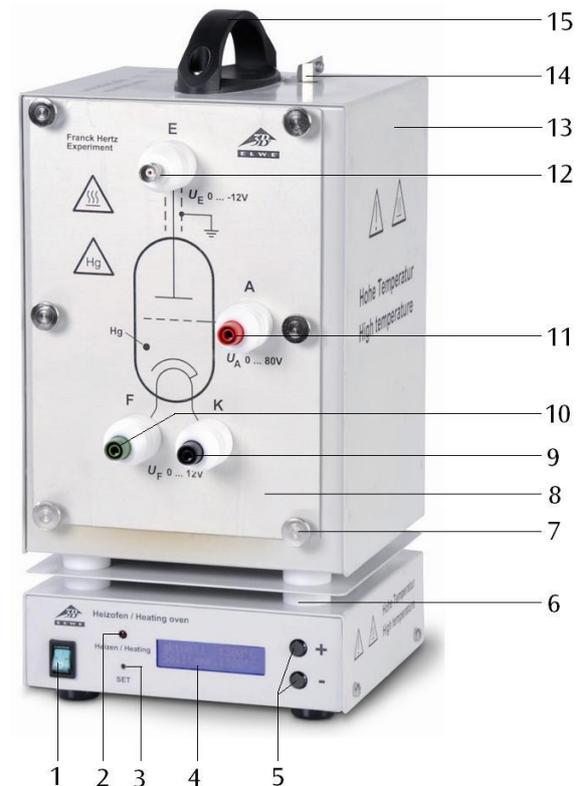
Er besteht aus einem pulverlackierten Stahlblechgehäuse mit zwei Sichtfenstern. Die Frontplatte wird mittels sechs Rändelschrauben am Gehäuse befestigt. Die Beheizung des Ofens geschieht über einen Rohrheizkörper im Boden des Ofens. Temperaturmessung und -regelung erfolgt über einen integrierten Mikrocontroller und einen PT100-Messfühler. Die digitale Temperaturanzeige ermöglicht das Ablesen von Soll- und Ist-Temperatur. Mittels der Stelltaste „SET“ kann die Anzeige der Temperatur zwischen ° Celsius und ° Fahrenheit gewählt werden.

Die Stelltasten „+/-“ dienen zur Einstellung der Soll-Temperatur in 1 K-Schritten. Auf der Oberseite befinden sich eine Öffnung mit Klemmfederhalterung für ein Thermometer und ein thermisch isolierter Tragegriff.

Das Gerät 1023094 ist für eine Netzspannung von 115 V ( $\pm 10\%$ ) ausgelegt und 1023095 für 230 V ( $\pm 10\%$ ).

### 2.1. Lieferumfang

- 1 Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilberfüllung auf Frontplatte
- 1 Heizofen ohne Frontplatte
- 1 Bedienungsanleitung



- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1 EIN/AUS-Schalter        | 2 Betriebsanzeige                                     |
| 3 Stelltaste „SET“        | 4 Display   |
| 5 Stelltasten „+/-“       | 6 Thermische Isolation                                |
| 7 Rändelschrauben         | 8 Frontplatte mit Franck-Hertz-Röhre (nicht sichtbar) |
| 9 Anschlussbuchse Kathode | 10 Anschlussbuchse Röhrenheizung                      |
| 11 Anschlussbuchse Anode  | 12 Signalausgang BNC-Buchse                           |
| 13 Heizofen               | 14 Klemmfederhalterung für Thermometer                |
| 15 Tragegriff             |   |

### 3. Technische Daten

#### Franck-Hertz-Röhre

Heizung:	4 bis 9 V AC/DC
Gitterspannung:	0 bis 80 V
Gegenspannung:	ca. 1,5 V
Betriebstemperatur:	ca. 160° C - 200° C
Abmessungen der Röhre:	ca. 160 mm x 30 mm Ø
Masse:	ca. 380 g

#### Heizofen

Netzanschlussspannung:	siehe Gehäuserück- seite
Öffnung der Frontseite:	ca. 230 x 160 mm <sup>2</sup>
Heizleistung:	800 W @230 V 400 W @115 V
Maximale Temperatur:	300°C @230 V 250°C @115 V
Temperaturkonstanz	ca. ±1°C
Abmessungen:	ca. 335x180x165 mm <sup>3</sup>
Masse:	ca. 5,6 kg

### 4. Bedienung

Zur Durchführung des Versuchs sind folgende Geräte zusätzlich erforderlich:

1 Betriebsgerät für F/H Experiment @230 V	1012819
oder	
1 Betriebsgerät für F/H Experiment @115 V	1012818
1 Digital-Oszilloskop, 2x 30 MHz	1020910
1 HF-Kabel, 1 m	1002746
2 HF-Kabel, BNC / 4-mm-Stecker	1002748
Sicherheitsexperimentierkabel	1002843

- **Hinweis: Vor dem Einschalten ist das PE-Verpackungsteil, welches sich hinter der Röhre befindet, aus dem Innern des Heizofens zu entfernen.**
- Frontplatte an die offene Heizofenseite setzen und mit den 6 Rändelschrauben befestigen.
- Heizofen und Betriebsgerät zunächst ausgeschaltet lassen und alle Stellknöpfe des Betriebsgeräts zum linken Anschlag drehen.
- **Beschleunigungsspannung nicht an die kalte Röhre anlegen (Kurzschlussgefahr durch das enthaltene Quecksilber).**
- Die Ein- bzw. Ausgänge „A“, „F“ und „K“ miteinander verbinden (siehe Fig. 2).

- Ausgang „E“ der Franck-Hertz-Röhre mittels BNC-Kabel mit dem entsprechenden Eingang des Betriebsgerätes verbinden.
- Ausgang FH Signal „U<sub>Y</sub>“ am Betriebsgerät an den Y-Eingang und Ausgang „U<sub>X</sub>“ an den X-Eingang des Oszilloskops anschließen.
- Betriebsgerät einschalten, das Gerät befindet sich im Rampenmodus.
- Heizspannung langsam auf 6 V einstellen. Die indirekt geheizte Kathode benötigt nach Anlegen der Heizspannung eine Anheizzeit von ca. 1:30 min.
- Heizofen einschalten, Temperatur von ca. 180° C einstellen und abwarten bis die Röhre aufgeheizt ist (ca. 5 bis 10 Minuten).
- Minimale Beschleunigungsspannung auf Null stellen, maximale Beschleunigungsspannung langsam auf 80 V erhöhen.
- Die Beschleunigungsspannung jedoch nur so weit erhöhen, dass in der Röhre keine selbständige Entladung auftritt, denn durch Stoßionisation wird die Kurve gestört.
- Oszilloskop zunächst mit den Einstellungen  $x = 1 \text{ V/Div}$  und  $y = 1 \text{ V/Div}$  betreiben.
- Die Entstehung der Maxima der Franck-Hertz-Kurve auf dem Bildschirm des Oszilloskops beobachten.
- Parameter Beschleunigungsspannung, Kathodenheizung, Gegenspannung und Amplitude so einstellen, dass eine Kurve mit gut ausgeprägten Maxima/Minima entsteht.

**Das beschriebene Verfahren ist eine allgemeine Einstellprozedur. Unvermeidliche Exemplarstreuungen bei der Herstellung der Franck-Hertz-Röhren machen sich durch Unterschiede in den optimalen Parametern bemerkbar. Einen Anhaltspunkt für gute Werte liefert das den Röhren beiliegende Messprotokoll.**

Der Auffängerstrom weist in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung periodisch wiederkehrende und äquidistante Maxima und Minima auf. Der Abstand zwischen den Maxima beträgt 4,9 V. In der Röhre besteht zwischen Kathode und Anode ein Kontaktpotential von 2 V. Dies ist die Ursache warum das erste Maximum bei etwa 7 V liegt.

#### Auswertung der Franck-Hertz-Kurve

Für die genaue Auswertung der Franck-Hertz-Kurve wird zusätzlich ein Digital-Voltmeter benötigt. Es ist nicht unbedingt notwendig, den absoluten Wert des Elektronenstromes zu bestimmen. Auf dem Bildschirm des Oszilloskops sollte eine Franck-Hertz-Kurve mit stark ausgeprägten Maxima eingestellt worden sein.

- Digital-Voltmeter am Signalausgang ( $U_x$ ) und der Massebuchse anschließen (siehe Fig. 3).
- Taste „Man/Ramp“ drücken, im Display erscheint der Modus „Man“.
- Beschleunigungsspannung auf Linksanschlag drehen ( $U_A = 0$  V).

Im Display erfolgt die Anzeige der Beschleunigungsspannung in 0,5 V-Schritten, um genauere Messergebnisse zu erzielen kann an die Buchsen „A“ und „K“ zusätzlich ein Digital-Voltmeter angeschlossen werden, um die Beschleunigungsspannung präziser zu messen.

Anmerkung: Die Beschleunigungsspannung am Signalausgang ( $U_x$ ) ist um den Faktor 10 reduziert. Am Digital-Voltmeter wird jedoch zwischen den Anschlüssen „A“ und „K“ die volle Beschleunigungsspannung gemessen.

Durch langsame und stetige Erhöhung der Beschleunigungsspannung können nun noch exakter die genauen Positionen der Maxima und Minima mit dem Digitalvoltmeter ermittelt werden.

### Optimierung der Kurve

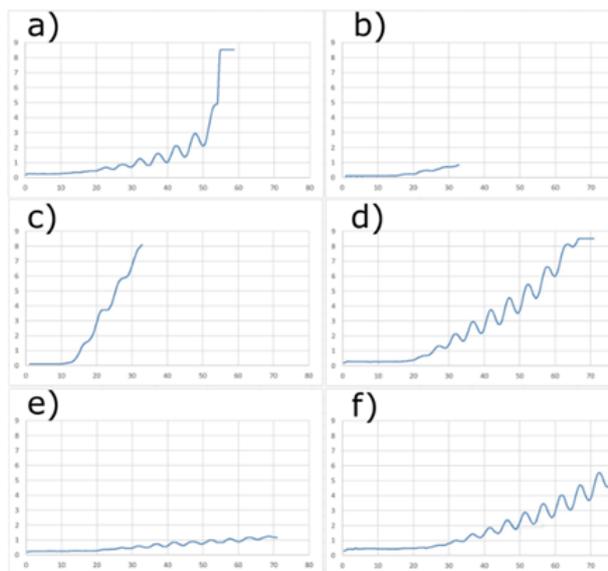


Fig. 5: Darstellung verschiedener Signale der Franck-Hertz-Röhre.

Die Parameter der Röhre können sich während der Nutzung der Röhre ändern. Dies passiert meist entweder aufgrund von Alterungserscheinung der Röhre oder auf Grund der Experimentiervorgabe. Das Bild **5.f**) stellt den Idealfall der Kurve dar. Es können jedoch auch andere Fälle in Erscheinung treten.

Durchzünden der Röhre:

Das Bild **5.a**) zeigt den Fall des Durchzündens der Röhre. Der Anodenstrom steigt rapide bis zu einem Höchstwert an. In diesem Fall ist sofort die Beschleunigungsspannung zu senken. Sollte es vonnöten sein weitere Maxima abzubilden, so ist die Temperatur des Ofens zuvor zu erhöhen.

Optimierung der Gegenspannung:

Die Bilder **5.b**) und **5.c**) zeigen eine zu steile, bzw. zu flache Kurve mit wenigen Maxima. Die Gegenspannung bestimmt den Anstieg der Kurve. Je größer die Gegenspannung ist, desto flacher fällt der Anstieg aus. Im Zusammenspiel mit der Beschleunigungsspannung lässt sich auch die Qualität der Maxima leicht verbessern.

Optimierung der Heizspannung:

Die Heizspannung bestimmt die Anzahl der emittierten Elektronen und damit den Anodenstrom. Je höher die Heizspannung ist, desto mehr Elektronen werden emittiert. Bild **5.d**) zeigt den Fall, dass der Anodenstrom zu hoch ist. Das Signal flacht ab einem Grenzwert ab zu einer horizontalen Linie. Die maximale Anzahl an zur Verfügung stehenden Elektronen ist (unter der jeweils gegebenen Heizspannung) erreicht und der Anodenstrom bleibt konstant, trotz zunehmender Beschleunigungsspannung. Bild **5.e**) zeigt den Fall einer zu geringen Heizspannung auf. Das Signal hat einen geringen Anstieg und die Maxima sind schwach ausgebildet, obwohl eine genügend hohe Anzahl an Maxima vorhanden ist. Eine Senkung, bzw. Erhöhung der Heizspannung ist in diesen Fällen oft ausreichend, um eine auswertbare Kurve zu erhalten. Hinweis: Eine zu hohe Heizspannung hat negative Auswirkungen auf die Lebensdauer der Röhre. Es wird davon abgeraten die Röhre mit zu hohen Heizspannungen zu betreiben.

### 5. Pflege und Wartung

- Vor der Reinigung Gerät von der Stromversorgung trennen.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.

## 6. Entsorgung

- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.
- Zur Entsorgung der Franck-Hertz-Röhre sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Quecksilber einzuhalten.

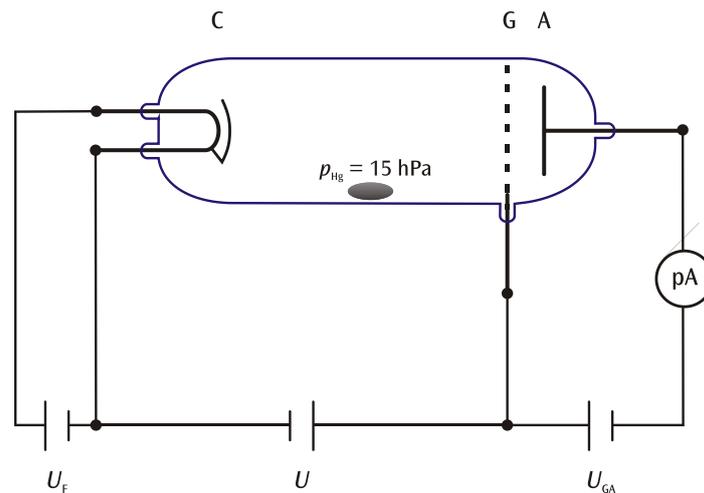
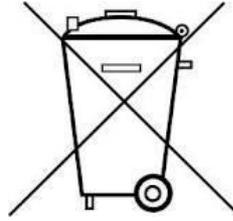


Fig. 1 Schematischer Aufbau zur Aufzeichnung der Franck-Hertz-Kurve an Quecksilber (C Katode, G Gitter, A Auffängerelektrode)

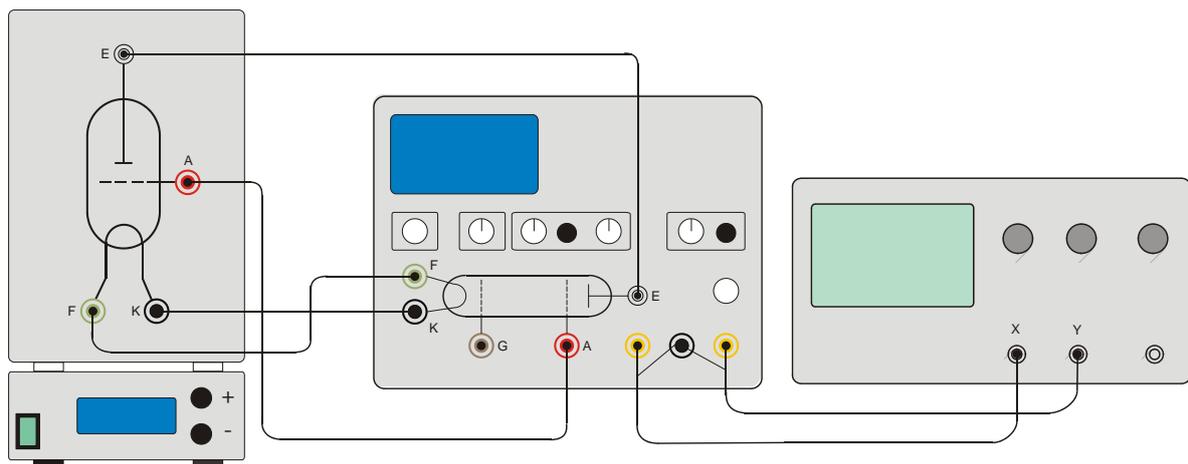


Fig. 2 Experimenteller Aufbau Franck-Hertz-Röhre mit Hg-Füllung

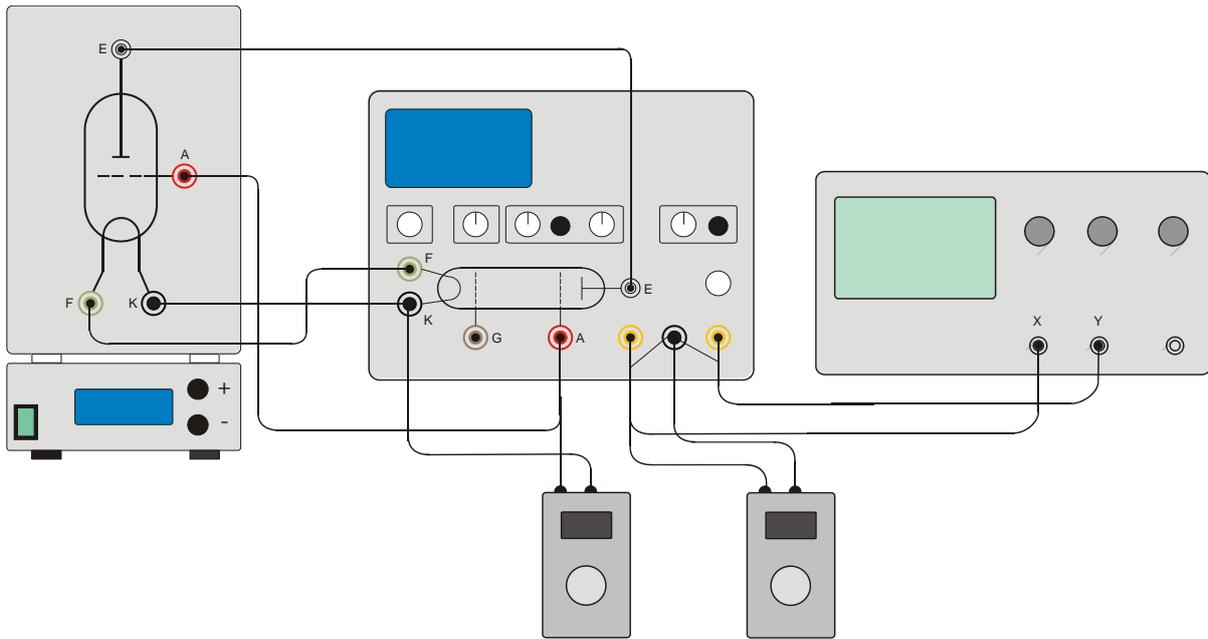


Fig. 3 Experimenteller Aufbau Franck-Hertz-Röhre mit 2 Digital-Voltmetern

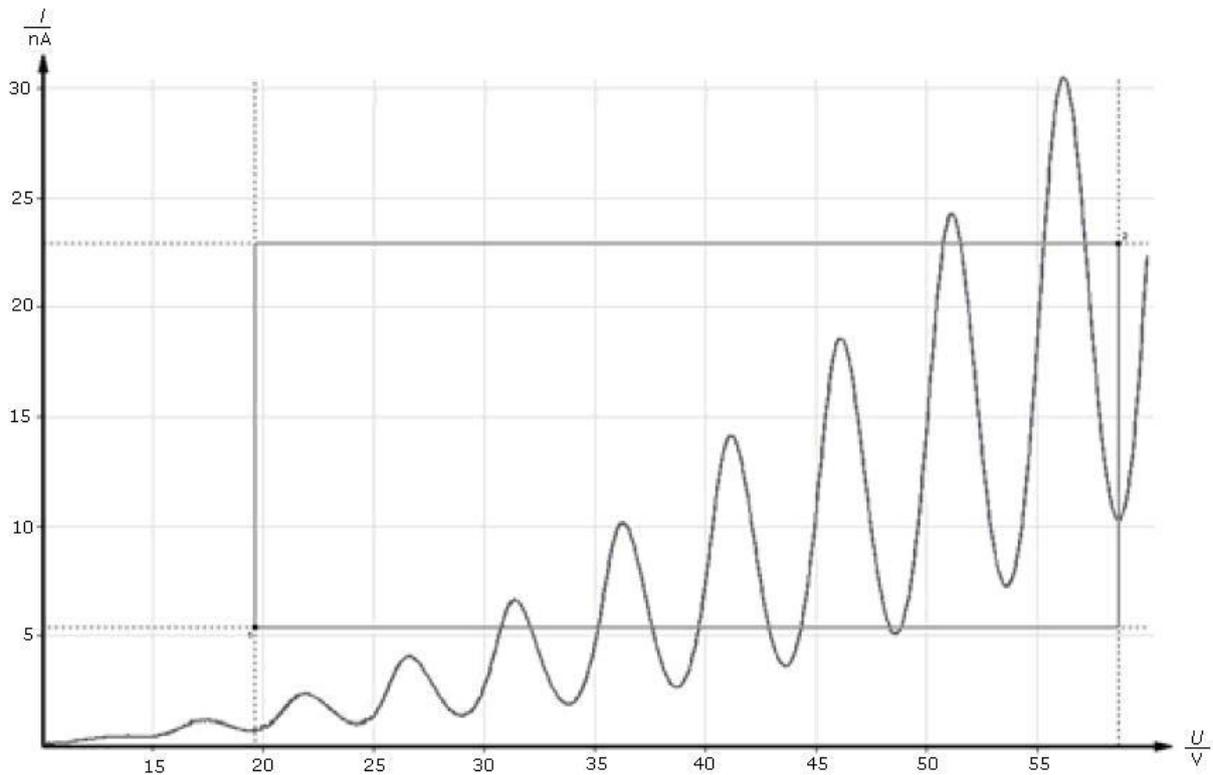


Fig. 4 Franck-Hertz-Kurve