



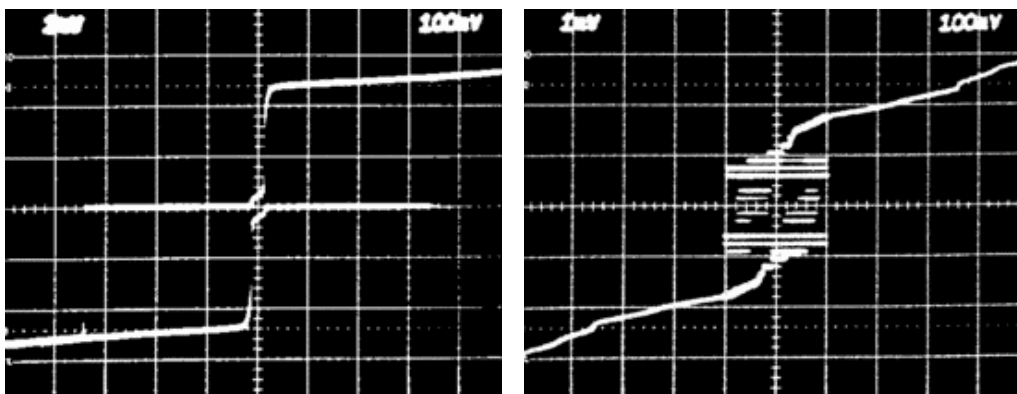
Im Jahre 1962 sagte der damals 22jährige britische Student Brian D. Josephson zwei Effekte voraus, die kurz darauf experimentell bestätigt werden konnten. Auf einem dieser Effekte basiert das moderne Josephson-Spannungsnormale.

Die Josephson-Effekte treten auf, wenn zwei Supraleiter schwach gekoppelt sind, indem sie z.B. durch eine isolierende Schicht von wenigen Nanometern getrennt sind. Wird auf ein derartiges Josephson-Element eine Mikrowelle (eine elektro-magnetische Schwingung) eingestrahlt, werden zwischen den beiden Supraleitern diskrete Spannungswerte erzeugt, die nur von dem Quotienten zweier Naturkonstanten und der Frequenz  $f$  der Mikrowelle abhängen. In der Kennlinie treten diese Stufen konstanter Spannung  $U_n$  bei folgenden Werten auf:

$$U_n = n \cdot \frac{h}{2e} \cdot f$$

Dabei bedeuten  $n = 1, 2, 3, \dots$  die Ordnung der Stufe,  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum und  $e$  die Elementarladung. Aus historischen Gründen wird heute nicht  $h/2e$  sondern der Kehrwert Josephson-Konstante  $K_J$  genannt.

Bei einer typischen Mikrowellenfrequenz um 70 GHz beträgt der Abstand benachbarter Stufen etwa 150  $\mu$ V.



Mit dem Josephson-Effekt können Spannungen mit relativen Unsicherheiten von weniger als einem Zehn-Milliardstel ( $1 : 10^{10}$ , entsprechend 1 nV bei 10 V) reproduziert werden. Der Effekt wird deshalb weltweit als Basis für konstante Referenzspannungen in metrologischen Staatsinstituten und in Kalibrierlaboratorien der Industrie genutzt. Da die Josephson-Konstante nicht mit der dafür notwendigen Genauigkeit bekannt ist, wird für diesen Zweck überall ein gleicher, vereinbarter Wert genutzt, der mit  $K_{J-90}$  bezeichnet wird:

$$K_{J-90} = 483\,597,9 \text{ GHz/V}$$

Im Reinraumzentrum der PTB werden Schaltungen hergestellt, auf denen bis zu einigen zehntausend dieser Josephson-Elemente zusammengeschaltet sind, so daß sich Spannungen bis zu 10 V erzeugen lassen. Diese Schaltungen sind zentrale Komponenten moderner Josephson-Spannungsnormale.

Für seine Entdeckung wurde Josephson 1973 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

## Originalarbeit von B.D. Josephson

B.D. Josephson, "Possible new effects in superconductive tunnelling", Phys. Lett. **1** (1962) 251-253.

## Weiterführende Arbeiten zum Josephson-Spannungsnormale

J. Niemeyer, "Josephson voltage standards", in: Handbook of Applied Superconductivity, B. Seeber (Ed.), Institute of Physics Publishing, Bristol (1998) 1813-1834.

J. Niemeyer, "Das Josephsonspannungsnormale - Entwicklung zum Quantenvoltmeter", PTB-Mitteilungen **110** (2000) 169-177.

C.A. Hamilton, "Josephson voltage standards", Rev. Sci. Instrum., **71** (2000) 3611-3623.

R. Behr, F. Müller und J. Kohlmann, "Josephson junction arrays for voltage standards", in "Studies of Josephson junction arrays", Vol. 2, (Studies of high temperature superconductors: 40), A.V. Narlikar (Ed.), Nova Science Publ.: Huntington, NY (2002) 155-184.

J. Kohlmann, R. Behr und T. Funck, "Josephson voltage standards", Meas. Sci. Techn. **14** (2003) 1216-1228.



Fachbereich 2.1, Fachbereich 2.4, Fachbereich 2.6

© Physikalisch-Technische Bundesanstalt, letzte Änderung: 2011-11-17,