

DeBroglie-Bohmsche Führungswellentheorie zur Berechnung der Photonentrajektorien in einem System von zwei verdrehten Spalten Teil 6.

W.Dultz, E.Frins*, B.Hils, H.Schmitzer**

Univ. Frankfurt, *Univ.de la República, Uruguay, **Xavier Univ. Cincinnati

requalivahanus(Affenschaukel)t-online.de

Die Huygenssche Elementarwellentheorie erlaubt es Photonentrajektorien in einem System zweier verdrehter Spalte zu berechnen [1], wobei es sich zeigt, daß die Geodäten auf der Fläche HF der stationären Phase im Rahmen der Fresnelnäherung mit den Impuls erhaltenden Pfaden übereinstimmen. Hier vergleichen wir diese Ergebnisse mit denen der Bohmschen Führungswellentheorie [2], die beansprucht Teilchentrajektorien mit Hilfe der Lösungen der Schrödingergleichung berechnen zu können.

Ähnlich wie bei der WKB-Methode wird von Bohm ein lokaler Eikonalanatz $\psi=R \exp(iS)$ für die Lösung der Schrödinger Gleichung verwendet und der Gradient ∇S des Eikonals S beschreibt dann die Trajektorie des Teilchens, die senkrecht auf der Fläche der stationären Phase $S=\text{konst.}$ steht. Wenn aber die Elementarwellen die Lösung $\psi(x,y,z,d,t)$ der Schrödingergleichung zum Aufpunkt $P(x,y,z)$ repräsentiere, dann sollte nach Bohm die durch den Gradienten von S definierte Fallinie mit einem gegebenen Anfangspunkt auf dem Pfad die Teilchentrajektorie sein und das wollen wir im Folgenden untersuchen.

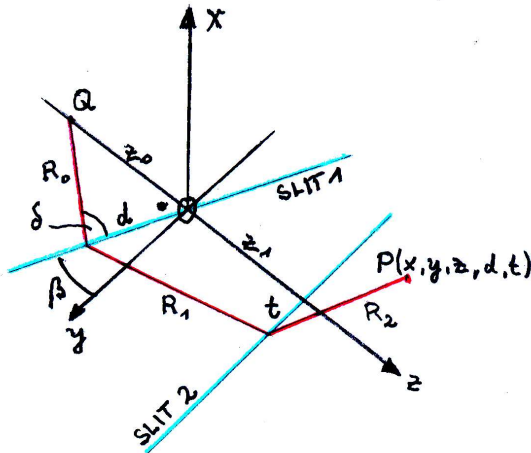


Abb.1 Geometrie zweier verdrehter Spalte

Wir verwenden hierzu ein Modell mit zwei engen Spalten Abb.1 [1e], aber vor der Integration über "alle Pfade". Die möglichen roten Lichtwege von der Punktlichtquelle Q aus werden durch die Parameter d,t auf den Spalten 1,2 bis zum Aufpunkt P beschrieben. Damit sind die Elementarwellen und entsprechend unserer Arbeitshypothese die Lösungen $\psi(x,y,z,d,t)$ der Schrödingergleichung gefunden (1). $S(x,y,z,d,t)=0$ lösen wir z.B. nach x auf (2), nehmen für die Aufpunktkoordinaten y,z feste Werte an und definieren so eine Fläche $x(y,z,d,t)$. Jetzt ist nur noch ein Anfangspunkt d,t und von da an die Fallinie auf dem Gebirge $x(d,t)$ zu bestimmen und man hat eine Teilchentrajektorie nach Bohm. Abb.2 zeigt das Resultat. Das Höhenlinien-

muster von $x(d,t)$ zeigt ein tiefes gewundenes Tal, dessen Grund durch die blaue Impulskurve $t(d)$ [1e equ.(2)] gekennzeichnet ist; das ist die Punktfolge d,t , deren Trajektorie dem Impulserhaltungssatz entspricht. Diese Eigenschaft wurde bereits in Ref.[1e Abb.6,7]) durch ausprobieren gefunden, jetzt wissen wir, daß die Bohmsche Theorie sie unter den oben genannten Annahmen vorhersagt.

Elementary Wave Model ; Integration : all paths
 Path parameters : d on slit 1, t on slit 2, Testpoint $P(x, y, z)$
 $\psi = \int \delta t \int \delta d \exp(iS)$; (1)
 $S/k = a + \sqrt{(x^2 + (y-t)^2 + (z-z_1)^2)} = R_0 + R_1 + R_2$;
 $a = \sqrt{(d^2 + z_0^2)} + \sqrt{(d^2 \sin^2(\beta) + (d \cos(\beta) - t)^2 + z_1^2)}$;

Single Path Eikonal:
 $S(x, y, z, d, t) = 0, \rightarrow x^2 = a^2 - (y-t)^2 - (z-z_1)^2$; (2)

Bei gleicher Achsskalierung verschwindet das scheinbare Seitental in Ref.[1e2024 Abb.5] und die Falllinien stehen senkrecht auf den Höhenlinien, wie es sein soll. Die roten Kurven in Abb.2 sind die Falllinien, die numerisch von verschiedenen willkürlich gewählten Anfangspunkten d,t auf dem Gebirge $x(d,t)$ nach diesen Annahmen berechnet wurden. Sie steuern zunächst direkt auf den Talgrund zu, um dort dann in die blaue Impustrajektorie einzubiegen und im Minimum des Grundes selbst zu enden.

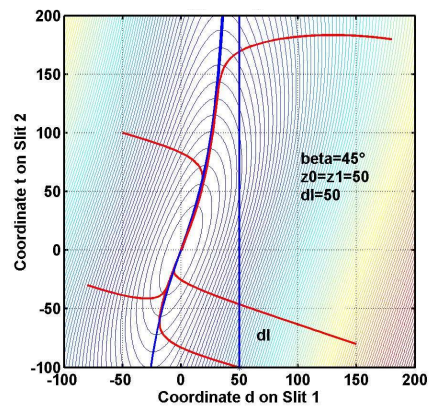


Abb.2 Rote Falllinien (Gradientenlinien) auf dem Gebirge $x=d(t)$. Der blaue Talgrund entspricht der Trajektorie der Impulserhaltung; sie schmiegt sich der blauen Vertikalen dl für $\delta=\beta$ an.

Die Falllinien schmiegen sich an die blaue vertikale Gerade dl an [1e equ.(2)], die die Grenze für reelle Lösungen des klassischen Impulserhaltungsmodells ist: $\delta = \arctan(z_0/d) > \beta$ bzw. $d < dl$, Abb.1. Damit bestätigt unsere Untersuchung, daß das Bohmsche Rezept zur Impulstrajektorie führt.

Versuchsweise haben wir die Falllinien auf der schraubenförmigen Fläche HF der stationären Phase [1d2023] nach der Integration über "alle Pfade". berechnet, Abb.3,4.

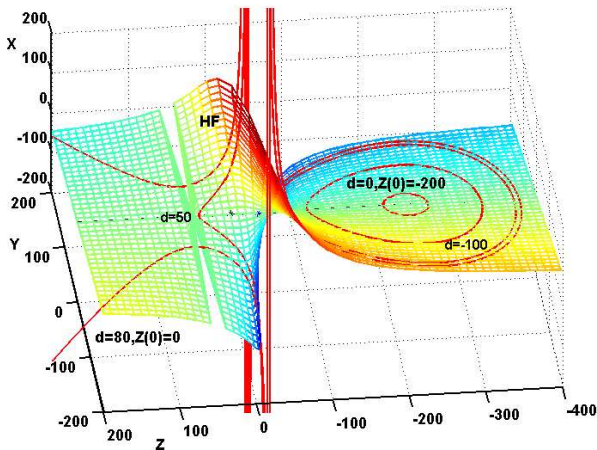


Abb.3 Roten Fall-(Gradienten)linien auf der Fläche HF der stationären Phase. Die Singularität auf HF liegt am virtuellen Spalt vS der Abb.4 [1b 2019 Abb.1]

Da die Impulstrajektorien dort (näherungsweise) durch die Geodäten beschrieben werden und diese im Unterschied zu den Falllinien durch zwei Anfangsbedingungen (Anfangspunkt und Anfangsrichtung) bestimmt werden, war nicht zu erwarten, daß Falllinien und Impulstrajektorien auf HF übereinstimmen. Schon anschaulich erwartet man in Abb.3, daß die Falllinien auf der schraubenförmigen Fläche HF die Singularität am virtuellen Spalt (vS) [1b 2019 Abb.1 dort die virtuelle Quelle ZP] umrunden an Stelle von ihr auszugehen. Sie haben damit eher die klassischen Eigenschaften einer Wellenfront mit einer stationären Phase - zumindest für achsennahe Strahlen - und keine Ähnlichkeit mit den geraden, blauen Impulstrajektorien Abb.4. Die Matlabgraphik erkennt übrigens anscheinend den Wechsel der Flächenorientierung der Schraube an der Singularität nicht und die Falllinien für $z < z(vS)$ in Abb.3/4 sind daher wohl Artefakte.

Zusammenfassend zeigen unsere Untersuchungen der Elementarwellentheorie an zwei verdrehten Spalten [1[a-f]], daß Trajektorien, die dem Impulserhaltungssatz bei der Streuung von Teilchen an den Spalten genügen (Impulstrajektorien), in der Fresnelnäherung Geodäten auf der Fläche der stationären Phase sind und daß die Bohmsche Führungswellentheorie dieses Ergebnis bestätigt. Nach der mathematischen Summation über "alle

Pfade" ist in diesem Fall die Fläche der stationären Phase im leeren Raum geschraubt. Deren Geodäten sind bei realistischen Anfangsbedingungen die Teilchentrajektorien, die der Ausbreitung von Materieteilchen unter der dem Zwang der Impulserhaltung (Impulstrajektorien) entsprechen [1c,d]. Bei der Summation in der Fresnelnäherung gilt das nur näherungsweise für Strahlen nahe der optischen Achse, bei einer numerischen Summation führen die Rechnung und das Impulsmodell zum selben Ergebnis [1e,Abb.2]. Damit ist aber nicht gesagt, daß Photonen als Teilchen überhaupt schmale Trajektorien haben oder daß die Bohmsche Theorie hier anwendbar ist. In Ref.[2, Kap.12.6.1] werden Argumente gegen diese Annahme aufgeführt.

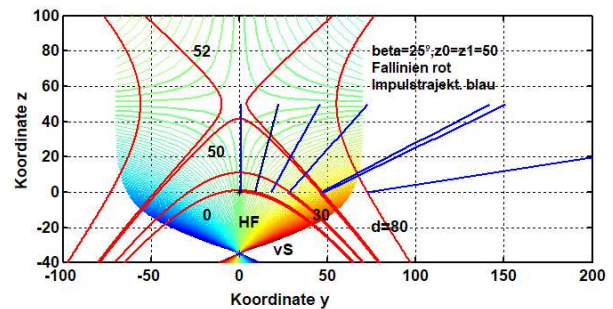


Abb.4 Projektion von HF Abb.3 in die yz-Ebene mit Höhenlinien in x-Richtung. Die Falllinien sind rot, die Impulstrajektorien blau und beginnen am Spalt1.

Die Matlabgraphik ermöglicht die Interpretation der analytischen und numerischen Ergebnisse und ist damit ein hervorragendes Werkzeug für heuristische physikalische Untersuchungen. Wir nennen das Verfahren "Experimentelle Mathematik" oder nach M.Heßler [3] die "weise menschliche Beurteilung von Rechnungen".

Literatur

- [1] E.Frins et al. DGaO-Proceedings (a2018, b2019,c2022,d2023,e2024,oben:f2025):im Internet
- [2] P.Holland,The Quantum Theory of Motion, Cambridge 1993
- [3] M.Heßler, Sisyphos im Maschinenraum; Auszug in der FAZ vom 22.4.2025 S.21.

Danksagung

E.F. thanks PEDECIBA for support. H.S.dankt der J.Hauck Foundation für ihre Unterstützung. W.D. dankt den Dozenten der theoretischen Physik in Frankfurt für die Anregungen in ihren Vorlesungen der letzten Jahrzehnte.