

Zur Frage der Beobachtbarkeit überthermischer elektrischer Feldschwankungen in Plasmen mittels spektroskopischer Messungen*

Von H. WULFF

Aus dem Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, München

(Z. Naturforsch. 15 a, 13 [1960]; eingegangen am 15. September 1959)

It is investigated, whether it is possible to detect overthermal electric field fluctuations in plasmas by STARK-effect broadening. The result is, that in conventional plasmas the influence of these fluctuations is much too small to be detectable by this effect.

Es liegt die Frage nahe, wie weit überthermische Amplituden E^2 bei den üblichen spektroskopischen Messungen schon hätten beobachtet werden können. Beobachtungen an BALMER-Linien, bei relativ hohen Dichten ($n_e \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) zeigen, daß die Linien breiter sind, als es die (quasistatische) HOLTSMARKSche Theorie fordert. Es gibt viele Arbeiten, die diesen Umstand zu klären suchen. Ein Entscheid über die Güte dieser Theorien konnte bisher allerdings nicht getroffen werden **. Man könnte nun daran denken, daß $\overline{E^2}$ ebenfalls einen Beitrag zur Verbreiterung liefert, da $\overline{E_{\text{stat}}^2}$ bei relativ hohen Dichten und kleinen Temperaturen die Größenordnung der HOLTSMARKSchen Normalfeldstärke $F_0 = 2,61 e n^{2/3}$ annimmt. Zum Beispiel ist bei $T = 10\,000^\circ \text{K}$ und $n = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ im thermischen Fall

$$\overline{E_{\text{stat}}^2} = (e n^{2/3})^2 \cdot 3 \cdot 10^{-1} = \frac{F_0^2}{(2,61)^2} \cdot 3 \cdot 10^{-1} = 4,4 \cdot 10^{-2} F_0^2.$$

Die Wirkung von $\overline{E^2}$ auf die Linienkonturen ist aber nicht einfach durch Vergleich mit F_0^2 abzuschätzen, da $\overline{E^2}$ mit der Plasmafrequenz fluktuiert, während die Einwirkung in der HOLTSMARKSchen Theorie quasistatisch gedacht ist. (Die langsamen Ionen, nicht die Elektronen sind hier wirksam.) Wir wollen daher die Fluktuationen als Stöße ansehen und fragen, wie wirksam diese Stöße sind. Im Rahmen der Stoßdämpfungstheorie zählen nur solche Vorübergänge als Stoß, die in einem Abstand erfolgen, der kleiner oder nicht viel größer als der sog. WEISSKOPFSche Stoßradius ϱ ist, der schwach von der

Temperatur abhängt und im übrigen nur durch Atomkonstanten bestimmt ist. Ein Elektron, das z. B. mit dem Abstand ϱ „stößt“, verursacht am Orte des leuchtenden Atoms die Stoßfeldstärke e/ϱ^2 . Da ϱ sehr viel kleiner als der mittlere Abstand der Teilchen ($\approx n^{-1/3}$) ist (erst bei $n \approx 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ wäre $\varrho = n^{-1/3}$), ist die (wirksame) Stoßfeldstärke viel größer als $e n^{2/3}$ und also erst recht größer als $\overline{E_{\text{stat}}^2} = (e n^{2/3})^2 \left(\frac{e^2/kT}{n^{-1/3}} \right)^{1/2}$. Im Rahmen der Stoßdämpfungstheorie spielen also die Dichteschwankungen keine Rolle. Zudem müßte ein solcher Effekt verdeckt werden durch die Stoßdämpfung der Elektronen, da man leicht abschätzt, daß Vorübergänge von Elektronen bei mittlerem Abstand ($n^{-1/3}$) mit größerer Frequenz als der Plasmafrequenz erfolgen, diese also häufiger stoßen als $\overline{E^2}$ fluktuiert.

Dies gilt für die BALMER-Linie oder evtl. für Linien aus diffusen Nebenserien.

Für STARK-Effekt-unempfindliche, also relativ schmale Linien mit quadratischem STARK-Effekt, die (auch hinsichtlich der Einwirkung der Ionen) gemäß der Stoßdämpfungstheorie verbreitern, ist ein Einfluß von $\overline{E^2}$ undenkbar, da ihre Stoßparameter ϱ extrem klein, die Stoßfeldstärken daher groß ($\sim 10^3 \text{ kV/cm}$) gegen $\sqrt{\overline{E^2}}$ sind.

Die hier betrachteten Verhältnisse ($n = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $T = 10^4^\circ \text{K}$) kommen einer Beobachtung der erwähnten Effekte noch sehr entgegen. Bei niedrigeren Dichten und höheren Temperaturen dürfte ein Nachweis über die Verbreiterungen von Spektrallinien gänzlich aussichtslos sein.

allgemein einen großen Fortschritt zu bringen. Zu dieser Hoffnung berechtigt der Vergleich einiger theoretischer Profile mit den experimentellen Profilen. Das wird in einer Arbeit mitgeteilt, die in Kürze im Phys. Rev. erscheint.

* Bemerkung zur Arbeit „Kooperative Phänomene und Diffusion eines Plasmas quer zu einem Magnetfeld I“ von L. BIERMANN u. D. PEIRSCH, Z. Naturforsch. 15 a, 10 [1960]; voranstehende Arbeit.

** Neuere Arbeiten von BARRANGER einerseits und GRIEM und KOLB andererseits scheinen in dieser Hinsicht und ganz

