

müsse. — Dies war bei dem Spindelgange nicht möglich, indem die Unregelmäßigkeiten der Triebkraft zu stark ihren Einfluß auf den von ihr geführten Pendel ausübten. Indem nämlich der Zahn den einen Spindellappen wegdrängte, bekam die Unruhe dadurch einen so starken Impuls, daß der zweite Lappen stark gegen den gegenüberstehenden Zahn anprallte und dieser dadurch eine Rückbewegung machte, welche sich im Verhältniß bis zum ersten Rade fortpflanzte. Wir sehen es noch heute bei dem Kronrade der, freilich gegen damals wesentlich verbesserten Spindeluhren, das beim Schwingen der Unruhe stets eine tanzende Bewegung macht. Nach vielen Versuchen war es 1666 Dr. Robert Hock, welcher statt der Spindel einen Hakengang einführte, der so beschaffen war, wie wir ihn noch heute bei unsern gewöhnlichen Pendeluhren, besonders den Schwarzwälderuhren vorfinden, und der deshalb auch Hock'scher Haken genannt wird. Vermöge dieses Ganges brauchte der Pendel nicht mehr, wie früher, einen großen Bogen zu beschreiben, sondern die Bewegung konnte eine kürzere sein, der Widerstand der Luft daher sich auch nicht in dem Maße bemerkbar machen, wie früher. Der Werth, welchen man damals auf diese Erfindung legte, dürfte einfach daraus hervorgehen, daß man diesem Pendel den Namen Königs-Pendel beilegte. Dieser Haken, obgleich eine wesentliche Verbesserung, konnte noch immer nicht den Rückschlag auf den nächsten Zahn ganz vermeiden, da die eine Seite desselben beim Zurückgehen das Rad ein wenig zurückdrängte. Es galt also auch die letzte Rückbewegung zu entfernen und dem Rade vollständige Ruhe auf den beiden Paletten des Hafens zu geben. Diese wichtige Erfindung wurde zu Anfang des 18. Jahrhunderts durch Graham gemacht, und war es nunmehr möglich, astronomische Uhren zu bauen, die in jeder Beziehung Vorzügliches leisteten. Den von Graham erfundenen Gang nennt man noch heute Graham'schen Ankerengang, und besteht der Vortheil gegen die früheren Hemmungen darin, daß der Zahn, sobald er einen Impuls ausgeübt, eine ruhende Lage gegen den Kreisbogen des Ankers einnimmt. Der Pendel ist somit ganz unabhängig vom Räderwerke und erhält nur so wenig Impuls

vom Rade, daß dadurch nur eben das ersetzt wird, was derselbe durch den Widerstand der Luft an Schwingungen verloren hat. Während der Zahn auf der schiefen Ebene des Ankers entgleitet übt derselbe den nöthigen Druck aus, und fällt beim Freiwerden der gegenüberstehende Zahn auf den Kreisbogen des Ankers, wo er so lange ohne jeden für den Pendel fühlbaren Druck liegt, bis der Pendel durch seine Schwere wieder in Ruhe kommen will, jedoch den Anker um so viel mitnimmt, daß dieser in Ruhe liegende Zahn die schiefe Ebene erreicht, auf dieser entgleiten will und das Spiel der Hemmung sich erneuert. Es blieben nun noch die Temperatur-Veränderungen zu berücksichtigen. Bei erhöhter Wärme zeigte es sich nämlich, daß der Pendel länger geworden, der Schwingungsmittelpunkt des Pendels also heruntergerückt und die Bewegungen in Folge dessen langsamer waren. Am Ende des 17. Jahrhunderts hatte man bereits Beobachtungen über die Ausdehnung der Metalle durch Wärme gemacht und durch spätere genauere Prüfung gefunden, daß z. B. Quecksilber vom Gefrier- bis Siedepunkt des Wassers, also bis auf 80°R. erwärmt, sich um  $\frac{1}{55}$  seines Volumens ausdehnt; bei gleicher Temperatur-Differenz dehnt sich Zink dagegen nur um  $\frac{1}{328}$ , Blei um  $\frac{1}{350}$ , Messing um  $\frac{1}{526}$ , Stahl um  $\frac{1}{870}$ , Glas um  $\frac{1}{1176}$ , und Tannenholz um  $\frac{1}{3000}$  aus. Diese Beobachtungen benützte Graham, um die verschiedenen Ausdehnungen der Metalle zur Ausgleichung anzuwenden. Er wählte z. B. statt der gewöhnlichen Pendellinse ein Gefäß, welches mit Quecksilber gefüllt war. Dehnte sich nun die Pendelstange durch erhöhte Wärme aus, so rückte dadurch der Schwerpunkt des Pendels herunter; in gleicher Weise dehnte sich jedoch das Quecksilber nach oben aus, wodurch der Schwerpunkt wieder höher zu liegen kam. Wenn nun beide Metalle im richtigen Verhältnisse zu einander angewendet werden, so bleibt der Schwerpunkt stets in gleicher Entfernung von Aufhängungspunkte des Pendels, und folglich muß die Bewegung desselben eine stets gleiche sein. Außer dieser Art von Compensation hat man deren noch viele angewendet, von denen jedoch der vorherbeschriebene und der Rostpendel am häufigsten benutzt werden. Der Rostpendel besteht