

現代的無綫电电子学*

B.A. 科捷里尼可夫

我們生活在这样一个时代，在这个时代里，無綫电技術和电子学，或者如現在我們經常將這兩部分联合起來称呼的無綫电电子学，很快地發展着；它越來越廣泛地被应用在工業、文化、科学、通信、運輸和國防技術上。在苏联，从战争前的 1940 年到 1955 年，虽然中間有由于战争所造成的損失，但無綫电工業的產品增長到 10.8 倍，而苏联整个工業產品在同一时期內則僅增長到 3 倍。在資本主义國家里，無綫电电子学得到最大發展的是在美國。在 1955 年，美國無綫电电子学方面工業的產品兩倍于 1950 年的產品。在同一时期，國家的总產品只增長了 35%。現在，从不同数据看來（顯然，这要决定于怎样地來看無綫电电子学），在美國有 50 万到 160 万人从事無綫电电子学方面的工作，这里面还不包括从事为無綫电电子学生產原料和半成品的工業。如果包括这些工業的人数，那末上述数字大約还要加一倍。

無綫电电子学技術的增長，可以用电子真空器件產品的增長很好地表示出來。在苏联从 1947 到 1954 年电真空器件產品差不多增長了 7 倍。在同一时期，在美國电真空器件的產品增長了 80%。在將來苏联也同样計劃快速發展無綫电电子工業。在第六个五年計劃期內，預定电真空設備的產品約增加 3.6 倍。在美國，無綫电电子工業方面最大的一个公司 RCA，預定到 1965 年（就是三个五年以后）產品增加到 1950 年的 3 倍。按照美國經濟學家的估計，在同一时期，美國全部產品的增長將不超過兩倍。

如果希望这一部門發展的速度愈快，就愈应当对这一部門的科学研究給以更多的資金，加以更大的注意。美國在 1955 到 1956 年的預算年度，在無綫电电子学方面的研究預計用 45 億美元，这差不多是整个國家研究費用的 25%。在苏联，特別是最近几年，當我們的無綫电工業水平接近于最發達的資本主义國家的時候，當我們应当赶上并超过这些國家的水平的時候，我們對於無綫电电子学方面的研究給予了很大的注意。

这里我想談一談現今無綫电电子学面前的問題，也就是科學家們在這領域里所从事研究的問題。

一 無綫电波的傳播問題

在無綫电技術中無綫电信号的傳播問題永遠是具有重要意義的。如果研究一下它的發展，那麼就可以發現，這發展的特点是具有一系列的、有時是出人意料的發現。我想來回憶一下這個問題的歷史。

* 本文是作者在 1956 年 4—5 月訪問我國時所作的報告的摘要。

在無線電技術發展的初期，理論的研究指出，無線電波沿地面傳播會受到很大的衰減，在像歐洲與美洲這樣的距離上要利用它來通信是十分困難的，甚至於是不可能的。但是，大膽的實驗證明事實並不如此，這樣的通信是完全可以實現的。這個可喜的未料到的事，是因為在大氣的上層有電離層的緣故，而以前是不知道有電離層的。

此後，理論和實驗指出，同樣功率的無線電台，它的波長越長就越適合於遠距離通信，因此，長波被認為是最有價值的，而認為短波的价值不大，於是就把短波分給了無線電愛好者。出人意料的是，短波（波長為幾十米的電波）恰好是最適宜於遠距離傳遞信號，而現在的遠距離通信也基本上是利用短波。原來的錯誤應該這樣來解釋：實驗作得不够充分，在這個問題的研究過程中，當接收機不能夠收到信號時，沒有再增加接收機和電台的距離。這樣當然就不能夠發現在更遠的距離上接收又重新成為可能了。以前的理論由於沒有關於電離層的充分資料，也就不能指出這種現象。

現在我們廣泛地應用着超短波（也就是波長短於10米的電波）。超短波的所以被廣泛應用一方面是因為更長的波段上的負荷已經太重，另一方面是因為現代的無線電測位和電視只有利用這一波段才可能實現。但是，超短波在地平綫外傳播時衰減很大（個別不常見的情況除外）。這樣就不得不利用無線電接力綫路來傳播超短波信號。在無線電接力綫路里，收發台像鏈條一樣以大約50公里的距離分布在整個通信綫路上，順序地遞發信號。這種通信綫路得到了很廣泛的應用，因為利用它可以傳送上百、上千的電話和電報信號，也可以傳送電視。

現在，實驗指出，超短波在地平綫外傳播時雖然衰減很大，但比所估計的衰減值却要小很多倍（小幾千甚或小幾百萬倍），因此，在發射機功率和天綫都够大的情況下，在幾百公里的距離上用米波、分米波和厘米波是能夠進行可靠的傳送的。利用這種傳播，能較為經濟地解決一系列的無線電通訊、無線電廣播和電視上的問題。引起這種傳播的原因到現在為止還不十分清楚，關於這點，現在存在有幾種理論。

依我看來，這種現象的最令人可能相信的原因是：大氣的折射率永遠存在着不均勻性，而無線電波在大氣里傳播時受到散射。為了廣泛地使用超短波的遠距離傳播，必須很好地研究這個問題。在研究這個問題時，必須有氣象學家參加。如果有數學方面專家參加也是有很大好處的，因為還沒有一個同時考慮到大氣的折射率隨高度的變化、大氣里偶然的不均勻度、土地的偶然的不平坦性等等關於無線電波沿地面傳播的理論。

用超短波在遠距離上傳送信號的另一種現在可以考慮使用的辦法是利用波導管，也就是金屬管，在金屬管里，電波依次由各個管壁反射，而沿着曲折的“Z”字形前進。

這種傳送信號的形式有很大的可能性被利用，因為它能夠傳送幾千或幾萬兆赫（ $10^9 - 10^{10}$ 周/秒）的寬頻帶。這也就可以使我們僅僅敷設一次管子，而用來同時傳送幾百個電視節目。這樣，波導管綫路的傳送能力要比現代的無線電接力綫路的傳送能力大幾百倍。而它們的成本造價，顯然却仍是彼此差不多。

要解決這個問題，同樣也需要數學家的幫助，因為這裡將要處理的是複雜的電動力學問題，它涉及到的不只是沿圓柱形而且是沿各種形狀管子（彎形管、圓錐形管、上有切縫的管等等）的電波傳播問題。在這個問題上，也需要製造管子的工藝師和防止管子腐蝕的物理化學方面專家的幫助。

二 無線電波可用頻帶的展寬

無線電技術所使用的波段不斷地在展寬着。現在，可以認為，一直到厘米波段為止的各波段，包括厘米波段本身，我們都掌握得不壞，下一個就輪到了毫米波段了。

下邊的表可以近似地表示出波段展寬的情況，

1920 年	波長 > 100 米
1930 年	波長 > 10 米
1940 年	波長 > 1 米
1950 年	波長 > 1 厘米

由上表可見，掌握新波段的速率是隨着時間愈來愈快的。當然，這個發展不可能是無限的，但是到波長為百分之幾毫米的紅外線為止，我們還可以把波段展寬幾百倍。

毫米波波段的掌握預示着什麼呢？到現在為止，每掌握了一個新波段，就都得到了新的結果。例如，短波段（波長為幾十米的電波）的掌握使我們可以用較小的功率往非常遠的距離傳送無線電信號。

米波段、分米波段和厘米波段的被掌握，使我們可以實現現代高質量電視的傳遞，可以建立通信量比在較長一些波段範圍內的通信量大很多倍的無線電接力綫路，可以建立現代的射電天文學、無線電頻譜學。此外，還出現了一種可能性，就是可以建立許多個在距離不遠的地方工作的無線電台，而並不使舊的波段變得更擁擠。

如初步的計算和實驗所證明，沿波導管在遠距離上傳輸無線電信號，最適用的是毫米波，這個波段也可以有力地促進無線電測位向前發展，而使它的作用接近於無線電電視，這就是說我們將不僅能夠測定出某一個目標物的位置，同時還能夠判斷出這一目標物的形狀和大小。分子的許多諧振頻率都應當在毫米波範圍內，因此，掌握了這一波段就可以有力地推進關於分子的構造和分子的其他屬性的研究。當然，這一波段一定還將有許多其他用途，關於這些，目前還很難說。

掌握每個新的波段都要求掌握新的技術。在掌握毫米波的時候，也同樣遇到了一系列的困難。當然，在原則上，這些困難可以採用相應縮小所有設備或零件的尺寸的辦法來解決，但是，同時保證零件製造的必要精確度是很困難的，此外。這樣作的結果將會顯著地減少設備所能給出的功率。為了克服這些困難，顯然應當尋求新的原則。在這方面，目前已經摸索到了一些。具體地講，為了產生毫米波，可以利用切林科夫效應；同樣也可以利用快速飛馳的電子的振蕩，通過多普勒效應得到很短波長的電波。

利用分子固有振蕩的發射，就有了很大的可能性在厘米波段的短波部分以及在毫米波段里得到頻率很穩定的振蕩波。我想談一下首先由巴索夫(Басов)和普羅霍洛夫(Прохоров)提出來的分子振蕩器。

在這種振蕩器中，氨的分子飛過空腔諧振器，同時由高的能級轉到低的能級，它們發射出波長為 1.25 厘米的振蕩波，這個波長是由分子性質所決定的。這種振蕩波激勵空腔諧振器，於是空腔諧振器就開始使以後的分子的發射同步。這樣一來，各個分子就同相地發射振蕩波。為了使高能級分子所發射出的振蕩波不為低能級分子所吸收，要在它們進入空腔諧振器之前，把它們分離開，即讓它們先飛過有不均勻電場的電容器。這種

电容器使具有低能级的分子偏到一边去。所谈的这种分子振荡器的特点，就是利用同步的分子固有振荡来产生振荡波。由于这一点，所以这种振荡器没有以前所熟知的大量发射的振荡器所具有的那些缺点。在那些振荡器中，许多振子都互不相关地发射振荡波，因此相位是各不相同的。

我指出了产生非常短的无线电波的几个方法。在将来，这些方法究竟有多大的适用性，以及还将要有什么方法被提出来，还有待于实践来证明。

为了开展毫米波方面的工作，电动力学方面必须要有物理学和数学方面专家来参加。

三 信息傳遞理論

随着无线电技术的发展，我们在产生各种不同形式的信号方面得到了越来越多的可能性。除了幅调制以外，出现了频调制、相调制、各种脉冲调制和组合式调制等系统。现有的信号，其类别形式如此之多，以致如果不利用某种一般的方法，那末，要研究它们就非常困难。同时，对于干扰影响的研究更变得格外复杂化，因为对每种类型的信号都必须分析几种不同的接收方法。

最佳的（或者理想的）接收机的概念和潜在抗干扰度的概念的提出，是一个巨大的进步。理想的无线电接收机是指在给定的信号和干扰情况下，信号接收具有最小失真的接收机。对于理想接收机来说，所得到的失真将是可能最小的失真。它表示着在给定的信号和干扰情况下最大可能达到的抗干扰度，也即是潜在的抗干扰度。实际的接收机中，抗干扰度可能达到这个数值，但是不可能超过它。

我们引用了潜在的抗干扰度这一概念，这样就使分析简化，因为我们将不必分别去考虑在各种类型接收机情况下的信号失真，而只要估计潜在的抗干扰度就够了。

这问题要根据干扰形式来考虑。

单位时间内到达的干扰脉冲的数目很多时，由这些脉冲引起的非稳定过程在接收机中相互重叠得很厉害，以致有可能对它们采用几率论的极限定理。这样，就大大使研究简化。此种类型干扰一般叫做起伏干扰，又叫做白噪声或高斯噪声。某几种类型的天电干扰，和某几种类型的工业干扰，以及接收机本身的热噪声和散粒噪声就是属于此种类型的干扰。在超短波范围，主要就是这种类型的干扰。现在，对于这种类型干扰情况下信号传递的研究，正全面地向前进展。

过去对这些干扰所作的研究工作告诉我们，为传输信号所需要的最窄频带应该由我们所要求的接收质量和单位频带中信号电力对杂音电力的比值来决定。后来我们知道，在电话传输上完全保持语言的分辨率，并在线路中仍然保持目前的信号对干扰的电力比的情况下，还可以把信号所占用的频带缩小几百倍；在电视传输上，还可以缩小几十倍；在电报传输上，稍微再加宽一下它的频带（增加百分之几十），即使是在比较坏的（这是指信号对干扰的比值说的）线路里，也可以使信号的失真的几率达到任何小的程度。

各位当然很清楚，如果能够在已有的线路里传输更多更多的电话、电视和电传真，而电报传输实际上又可以不失真的话，这有着多么大的意义。

然而，要实现理论上所指出的上面那些可能性，还需要进行很大的工作。问题是在于，为接收信号所拟定的理论线路虽然可以提供以上所说的可能性，但目前由于过于复

雜累贅，在實際上還不能實現。但可能性是有的，應當為使其實現而工作。

我在此還一點沒講到人為的干擾。上次戰爭中的經驗告訴我們：可以用無線電工具製造出這些人為干擾。研究怎樣克服人為干擾是有很大的國防意義的。

關於這一方面的研究工作，大部分都是屬於几率理論範圍的。

我詳細地談過了無線電電子學方面三個大的科學問題，當然並沒有包括科學研究機構和高等學校中應當從事研究的所有的有關無線電電子學的問題。

在創造出將有廣泛用途的彩色電視系統方面，應當進行巨大的科學研究工作。

在天線方面，對實際有很大意義的工作是讓電波的發射除在所希望的方向外，在其他方向都尽可能地減少。對於減少無線電電波彼此之間以及和其他設備之間的干擾來講，這是有很大意義的。分析結果證明，在這方面現有的可能性，還遠沒有窮盡。

利用鉄淦氧磁物到天線和其他的系統里，可能解決一系列利用其他方法所不能解決的問題。在這方面，不論是分析鉄淦氧磁物本身的各种現象，抑或是發展含鉄淦氧磁物（其磁性是用張量來表示的）的媒質的電動力學等等，都是科學上的重要任務。這方面需要物理學家和數學家的幫助。

電真空器件的改善，特別是運用在新波段的電真空器件的改善，也是科學面前的一個巨大任務。

往真空中放射電子的陰極是電真空器件中最討厭而又一定得存在的部分。我所說討厭是因為它的燈絲上需要消耗無線電設備所用能量的很大部分。陰極使電真空器件發熱，因此就必須使真空器件上的熱散走，於是就得把無線電設備作得較為龐大。陰極中所產生的各种現象是減低電子管使用壽命的原因。關於現代的陰極中所發生的各种過程，研究得還非常不夠，可以期待，在這方面的研究工作將一定會大大增大電子管的可靠性和效率。物理學家應當研究這個題目。

現在，對於改良半導體器件，尋找它們的新的工作原理，對於擬定可靠的製造它們的工藝方法，對於研究使用半導體器件的綫路等，到處都在進行巨大的工作。像各位已經知道的，由於半導體器件的工作時間長久、體積小和消耗的電能小，半導體器件的使用在無線電電子學中又開辟了一些新的遠景。

在改善無線電設備生產的工藝方面，在生產自動化方面，在採用印刷綫路方法方面，在尋找新的材料和零件方面，也應當進行巨大的研究工作。

在建立無線電技術生產的精密度的理論方面，也應當展開龐大的工作。在機械製造上，這樣的理論已經由工程師和科學家們建立起來了。在無線電電子學方面（這裡的生產更加複雜），也必須建立這種理論。毫無疑問，它將給無線電電子學設備的大量生產帶來很大的好處，而這恰好是我們國家非常關心的事情。

在我的報告結束時，我衷心地希望在中國無論是在發展工業方面，抑或是發展科學研究方面都獲得成就。這種發展無疑問地將要促進解決中國人民為了提高國民經濟和文化水平而提出的巨大任務。

〔陳成全 鄭法成 楊衍明譯〕