



极光、气辉和电离层

武汉大学物理系無線电物理教研組



科学普及出版社

1334

極光氣暉和電離層

武漢大學物理系無線電物理教研組

科學普及出版社

1957年·北京

这是一本介绍沉积岩和变质岩基本知识的小册子。以簡明的文字叙述了什么是沉积岩和变质岩，它們都是怎样生成的，各分几类，有些什么重要的岩石，它們有什么用途，与矿产有什么关系，在国民經济上有什么意义等。可供初学地質的同志和一般想了解地質知識的讀者閱讀。

地質知識叢書

沉积岩和变质岩基本知识

編 者： 华 梓

出版者： 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可證出字第050号

發行者： 新 华 書 店

印刷者： 崇 文 印 刷 厂

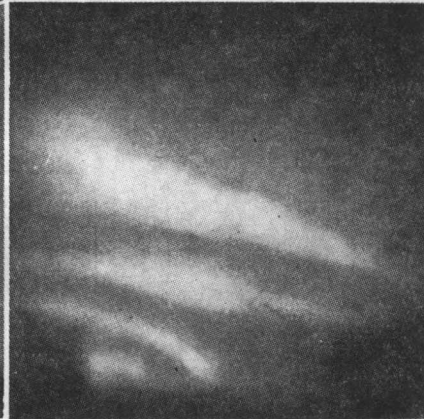
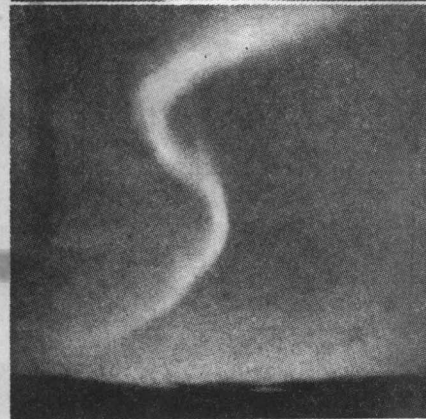
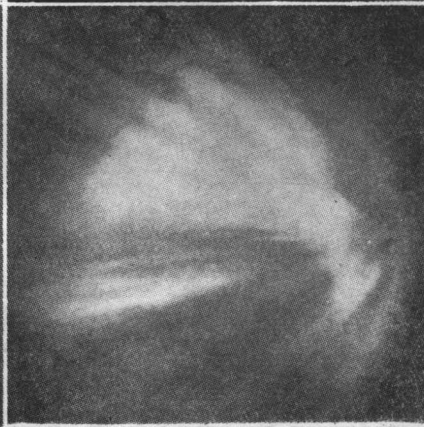
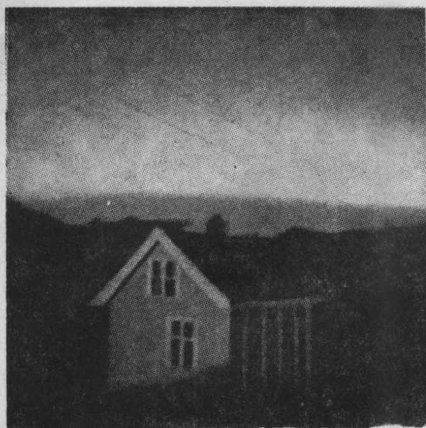
北京崇文区榄杆市15号

印数(京) 1—8,000册 1959年5月北京第1版

开本31"×43"1/32 1959年5月第1次印刷

字数30000 印張 1 $\frac{14}{32}$ 插頁

定价、10.10、16元 統一書号：T13038•334



極 光 照 片

目 次

一、電離層

1. 電離層在哪里	1
2. 從推想到實測——認識電離層的開始	1
3. 電離層的“層”次	4
4. 各層的真情實況	6
5. 電離層對無線電波的作用	8
6. 探測電離層的尖兵——脈沖訊號	11
7. 探測電離層的武器——脈沖法電離層觀測儀	13
8. 脈沖訊號的旅程	16
9. 觀測記錄說明些什麼	18
10. 自動照相代替人工探測	19
11. 電離層隨時間的變化	21
12. 電離層隨地點的變化	23
13. 太陽輻射是形成電離層的主要原因	24
14. 電離層的“特殊”變化	26
15. 電離層的預報工作	28
16. 進一步揭露電離層的秘密	29

二、極 光

1. 極光的形態	31
2. 極光的地理分布	32
3. 極光的高度	34
4. 極光的亮度和高度的關係	35
5. 極光的光譜	35
6. 極光是怎樣產生的	37
7. 怎樣觀測極光	39
8. 我國的極光觀測站	40

三、氣 輝

1. 氣輝的種類	41
2. 氣輝的觀測方法	42
3. 從氣輝的研究中所得的一些結果	44
4. 爲什麼要研究氣輝	48

電 離 層

1. 電離層在哪里

我要是給你介紹一位朋友的話，少不了要把他引來見見你，或者把你引去看看他。可是我不能不首先向你聲明：現在向你介紹“電離層”的時候，却存在着嚴重的困難，因為，他高高地在我們頭頂上幾十、幾百公里的空中。我既不能把他引來見見你，也不能把你引去看看他。

我想，只要我向你說明，我們費盡九牛二虎之力爬上了世界上最高的山頂，那里離地面也不過9公里，坐着專為探險高空用的飛機或氣球，目前也只能上升到30或40公里的天空，這樣說來你可以原諒這一個實際的困難了。但是，你也許還會問：

“它離我們這麼高，我們是怎樣發現它的？”“在那麼高的空中，它表現出一種什麼樣的景象？”“它與我們的生活到底有什麼關係？”……

這都是一些重要而有趣的問題。但是在这本小冊子里，只能對這些問題的回答起一個頭，要對這些問題作更完滿的回答，還有待於人們今後更進一步的努力。

2. 從推想到實測——認識電離層的開始

說起來已經是七十多年以前的事了，那時根據人們對地球的磁場所作的長時期的、精密的測量，發現地球的磁場強度在一晝夜之間有着萬分之幾到千分之幾的微小變動。對這種微小變動進行仔細分析以後，又發現這種微小變動是以24小時為周期地循環變化着。因此，人們稱它為地磁的日變化。

是什麼因素引起地磁的日變化呢？為了解釋這種地磁的日變化，1882年斯梯華德(Stewart)開始假定在離地面高約100公里

的上空,有着一层可以导电的空气层。白天受太阳的照射,使它向上膨胀,夜晚背着太阳,它又向下收缩。这种上升和下降的运动产生一个磁场,这磁场与地球的磁场相互作用的结果,使地球的磁场也跟着发生以1昼夜为周期的微小变动。在当时,虽然这种假定可以说明地球磁场的日变化,但是在100公里的上空到底有没有这样的一个导电层存在呢?还没有任何实验事实来作证明。

用实验来证实电离层的存在,是在1895年波波夫(Попов)发明无线电技术以后的事。自从波波夫的无线电收报、发报的试验成功以后,他就一直专心致力于设法增长通信距离的工作。在相当长的一段时期里,通信距离只限于“从收报天线能够看得见发报天线”的“视线距离”以内(如图1)。在这样短距离以内的通信,是可以用电波波“直线前进”的道理来说明的,因此,当时并没有引起什么新的问题。

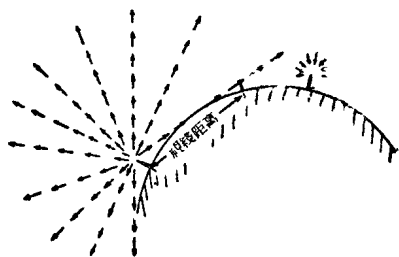


圖 1

在1899年的冬天,一艘俄国军舰“阿普拉克辛海军上将号”,在芬兰湾的哥格兰岛附近遇礁。在营救这艘军舰的全部工作中,波波夫的无线电报机完成了从军舰到柯特卡村之间四十多公里距离的通信任务,这便是超出视线距离范围以外的“远程无线电通信”的开端。从此以后,无线电通信距离不断地增加,并且远远超过视线距离的无线电通信。

但是,新的问题出现了:视线距离以外的无线电通信,再用无线电波直线前进的道理来说明了;那么在视线距离以外的收报台所收得的电报信号,到底是走过了一段什么样的路

径到来的呢？

1902年，海費賽(Heaviside)和堪那利(Kennelly)二人，不約而同地回想到了20年以前人們所提出的“导电层”的想法。他們認為，无綫电波在这种导电层的地方会发生“反射”現象，正如同光綫在鏡面上所发生的反射現象一样(如图2)。可以看出，就是用这种“电报訊号經過导电层而反射回来”的理論，又一次完滿地說明了超出視線距离的无綫电远程通信的現象。于是，从他們开始，便把这种可能存在于100公里上空的

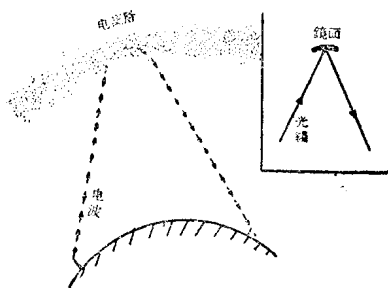


圖 2

的导电层称作“电离层”。后来，也有人称它为“海費賽层”或“海氏层”。

从此，人們越来越相信电离层的存在。由于它跟无綫电通信的关系越来越密切，因此，就越来越迫切地要求对电离层的秘密进行探测了。

用实验的方法对电离层的秘密进行探测，开始于1925年，爱泼登(Appleton)和巴内(Barnett)采用了在一个地点发无綫电訊号，而在另一个地点接收的方法，来探测电离层所在的高度的变化，这种方法有个不方便的地方，就是要分开在两个地点进行探测。第二年，布莱(Breit)和杜福(Tuve)創造了新的、更方便的、可以在同一地点进行探测的“脉冲法”。关于这种方法的主要内容，因为“一言难尽”，要待以后专门作个题目来談。不过这里必須強調指出这一点：正是这种“脉冲法”，一直是30年来探测电离层的有力武器。我們目前对电离层的許多知識，都是靠这种方法得到的。

第二次世界大战以后，用火箭对高空进行探测的工作大大地发展了起来。目前，人们已经能够使火箭上升到 500 公里或更高的地方，并且用火箭带着各种仪器对电离层进行更直接的探测了。

在我国，早在1936年，桂质廷、宋百廉；陈茂康、朱恩隆、梁百先等先生，就开始对祖国上空电离层的秘密进行了最初的探测，并且获得了重要的结果。但是，在反动统治的时期里，这门科学却长时期没有得到应有的发展。

新中国给这门科学带来了光辉的前途。现在，新的电离层观测台和研究机构正不断地增加着和充实着。不难想象，人们通过自己的长期劳动，从推想到实测，电离层的秘密一定会被我们揭露无遗的。

3. 电离层的“层”次

要是你问我：“电离层的高度是不是只有 100 公里上下的一层？”我干脆地回答你：“不，不只一层，在它的上面和下面都还有。”可是，你要是再问我：“到底电离层有多少层？它们各自占据着什么样的高度呢？”我就无法干脆地回答你，只好请你细听端详：

首先要声明一句：电离层的层数和各层的高度都是因时、因地而不同的。因此，这里只介绍一般的情形，至于它们如何因时、因地而变化，留待以后再介绍。

就拿经常出现的层数来说吧，夜里电离层只有一层，它的高度约距地面 300 公里，我们称它为“F层”。

到了白天，情况就复杂起来了。在 100 公里上下，有一层叫做“E 层”（这也就是早为人们推想到了的导电层——海氏层）。在E层的下面，高度约为60公里的地方，有一层叫“D层”。在E层的上面，F层分开了，成为在200 公里上下的“F₁层”

和在300公里上下的“F₂层”。这些在白天里經常出現的D、E、F₁、F₂四层，就是对无綫电通信影响最大的、并且也是人們研究得比較多的四层（如图3）。

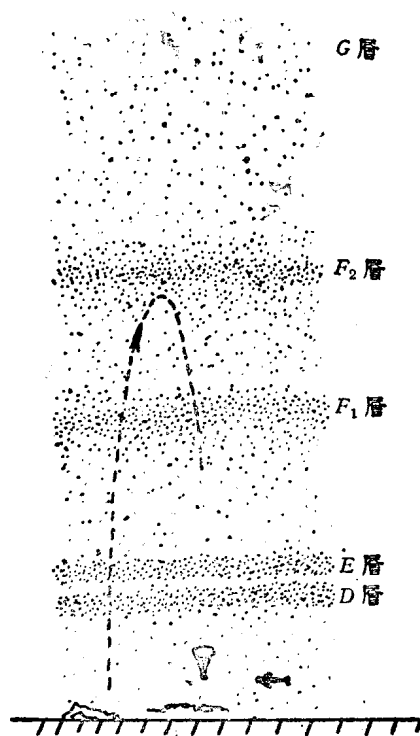


圖 3

至于說到那些不是經常出現的层数，情况就更复杂些了。例如，在相当多的时候里，当夜里不出現E层的时候，或者在白天虽然有E层出現的时候，在E层的高度上（100公里上下），常常出現性質和E层不相同的“偶发E层”，我們用“E_s层”来表示它。有时，也偶然在F₂层以上的区域里，會出現一层“寿命”并不长的“G层”。又如，龙威灵先生1947年在武昌所作的观测指出，在

日出和日落的前后，在150公里上下的地方，有时會出現为时甚短的“E₂层”（約一小时）。这时，在100公里上下的E层，便称为“E₁层”。

因此，連經常出現的和不經常出現的一并算在內，从下到上，电离层就有D、E₁、E_s、E₂、F₁、F₂、G等层。要是允許我用个不恰当的名称，就把它叫“七重天”吧。

4. 各層的真情實況

要談各層的真情實況，首先必須說明“層”的意義。

我們知道，地球是被一圈很厚很厚的“大氣圈”圍着的。關於這一圈大氣的性質，如果我們僅僅從“電的性質”這一個角度來看的話，從地面一直到很高的上空，在各個不同的高度上，大氣里面都或多或少地帶有一些帶電的微粒（例如電子）。為了便於說明各個高度上帶電微粒的多少，我們將一立方厘米內所有的電子的數目稱作“電子密度”。

根據各種實測和計算，我們已經知道，在地面附近的大氣里，電子密度是非常非常小的。離開地面向上升，隨著高度的增加，電子密度也逐漸增大起來。不過，值得注意的是，電子密度並不是“一直”隨高度的增加而增大的。實際情況是在60公里、100公里、200公里、300公里等高度上，電子密度（在60公里處是離子為主）有幾個“極大值”。這就是說，例如對於E層來說，在100公里以下和100公里以上的不遠的區域里，電子密度都比在100公里地方的電子密度要小些。在圖4上畫出了電子（對於D層是離子）密度隨高度分布的一個大概形象。從圖上可以看到，在高度為60、100、200、300公里的地方，分別地有幾個突出的極大值。因此，所謂“層”的真實意義，簡單地說，就是指的電子（或離子）密度出現極大值的區域而已。並且從圖上也可以看出，D、E、F₁、F₂各層的電子密度的極大值，依次地一個比一個更大一些。不過，這裡必須再一次地說明，這個圖只是一個示意圖。因為各層的高度和電子密度，都是隨時隨地在變化着的。

其次，這裡打算介紹一下各層大氣的主要成分。誰都知道，在地面上乾燥空氣的成分主要是氮和氧。若按體積來說，氮約占78%，氧約占20%。此外，則為少量的二氧化碳、氫、氬、

氮、氢和臭氧等。可是，到了高空，大气的組成成分究竟是怎样的呢？这在长时期以来一直是个引人兴趣的謎。按照推想，以前許多人都以为在高空中一定是輕些的气体(如氢、氦)为主。但是，实际上，从各种方面的資料断定，一直到很高很高的上空，那怕是离地面几百公里的电离层里，大气的組成仍然是以氮和氧为主要成分，和地面附近大气的成分没有什么显著的不同。只不过，到了 F 层的区域以上，氧和氮的原子較在下面增多了。

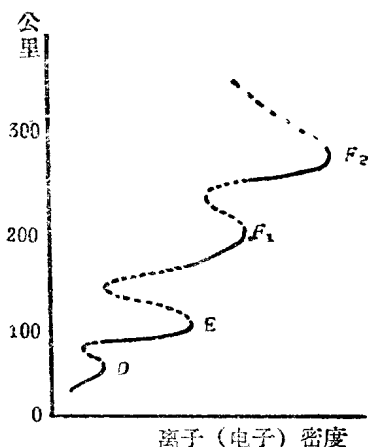


圖 4

組成大气的基本成分虽然在各个高度上是相同的，但是在不同的高度，形成电离层各层中的电子和离子的气体成分却各有不同。在較低的区域如 D 层和 E 层中，对电离起主要作用的是氧的分子。而在較高的区域如 F_1 层和 F_2 层中，对电离起主要作用的却是氮的分子和氧的原子。

为了比較全面地介紹各层的真情实况，有必要在这里再談一談大气的密度和溫度按高度分布的情况

大气密度按高度分布的情况很簡單，可以說，从地面一直到最近用火箭測定了的 220 公里高度的整个范围内，大气密度是基本上按照地面附近的密度随高度而減小的“指数規律”而变化的。因此，如果不去追問細節，我們很可以肯定，大气的密度是“一直”随高度的增加而減少的。这也就是說，在 D、

E、F₁、F₂的各层里，空气是越来越稀薄了。

可是，大气的温度随高度的分布就不然了。按照人们亲身经验，越向上大气的温度越低，任何登过高山或坐过飞机的人都可以证实这一点。不过，大气温度是不是就这样“一直”越向！越低呢？根据包括最新的火箭探测在内的各种各样的实验，都一致地给出回答说：“不是的，没有那么简单。”实际情况是这样(如图5)：从地面向上到十几公里的区域以内，温度是逐渐降低的。过了这个高度，大约从20公里处起，到50公里高度为止的这一段范围内，温度却随高度而“回升”。人们称它为“温度反变层”。过了50公里上下的高温区以后，温度又逐渐下降，直到约30公里的地方，温度降到约为摄氏零下70度的样子。以后，温度又随高度回升，

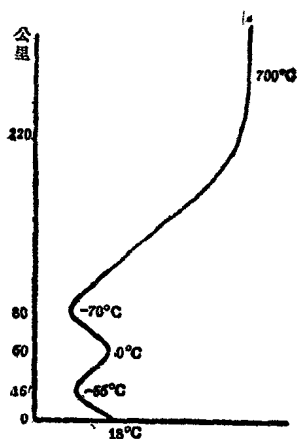


圖 5

直到220公里的高度，温度达到将近摄氏700度。至于再向上去温度究竟是如何变化的，目前还没有较为可靠的材料来说明它。

5. 电离层对无线电波的作用

在谈了电离层各层的情况以后，我们应该回过头谈一谈电离层对无线电波所起的作用了。

从发射天线所发出的无线电波，一般是向着四面八方传开的。为了讨论问题的便利，我们暂且假定在各个方向上电波的强度都是彼此一样的。并且，我们把它分为两个部分来观察：一部分是沿着地面向前传播的，称作“地波”；另一部分是向

着天空传播的，称为“天波”。地波受到地面的影响较大，而天波就只有当遇着电离层而反射时，才能折回地面上来。

根据实验，我们得出了如图6的一个很有趣的曲线。它表示对于一组固定的无线电收、发报装置，在采用各种不同的波长时，天波和地波所能达到的通信距离的情况。从这个图上，我们可以得到下面两个重要的结论：首先，对于一定的远程通信

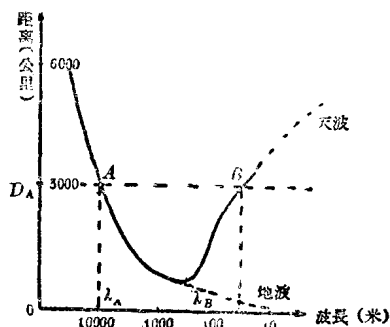


图 6

距离 D_A （例如3,000公里），可以采用的有两个波长，一个是与地波相应的较长的波长 λ_A ，一个是与天波相应的较短的波长 λ_B 。那么，在实际通信的工作中，我们究竟选用哪一个波长好些呢？这自然要看采用哪一个波长更经济、更方便而定。事实上，在装置和使用上，短波总较长波经济、方便。因此，从图上得到的第一个结论就是“完成通信最好是选用较短的波”。其次，从图上又可以看到，如果应用某一个较短的波长（例如 λ_B ），则地波所达到的距离 D_c ，要小于天波所能达到的距离 D_A 。因此，从图上得到的第二个结论就是“在短波的通信中，天波可以达到较远的距离”。天波是经过电离层反射而回到地面的，所以从这个结论里可以看出，电离层对于无线电通信的帮助，主要是表现在短波通信的工作中。

不过，谈到这里，另一个重要的实际问题又来了。那就是：既然短波可以传播得远而且装设又便利，那么在无线电通信的工作里，我们是不是可以任意采用无限制的短的电波呢？事

实給这問題的答案是否定的。这又是由于电离层对无綫电波的作用而引起的。

讓我們参考图 7 來說明这个問題。如果我們沿着同一个方向（斜的），用长短不同的各种波长的电波射向电离层的时候，例如先用較长的波，然后把所用的波长一次又一次地减短，观察电离层对这些波长不同的电波各起什么样的作用。实验的结果証明，当波长比較长的时候（如 S_1 ），电波是在 E 层反射。当波长短了一些时（如 S_2 ），电波虽然仍在 E 层反射，但它透入 E 层的深度較大，也就是反射点的高度較高了一些。如果繼續减短波长，透入的深度也将繼續增加，直到波长短过了某一限度以后（如 S_3 ），电波就透过了 E 层，而在 F 层反射了。同样地，再繼續减短波长，电波透入 F 层的深度也将繼續增加。并且，总有这么一个波长的限額，凡是較这波长限額长的电波，都还可以在电离层得到反射而回到地面，凡是較这波长限額短的电波（如 S_4 ），就会一路穿透所有 E、F 各层，鑽进遙远辽阔的空間，一去不返。因此，

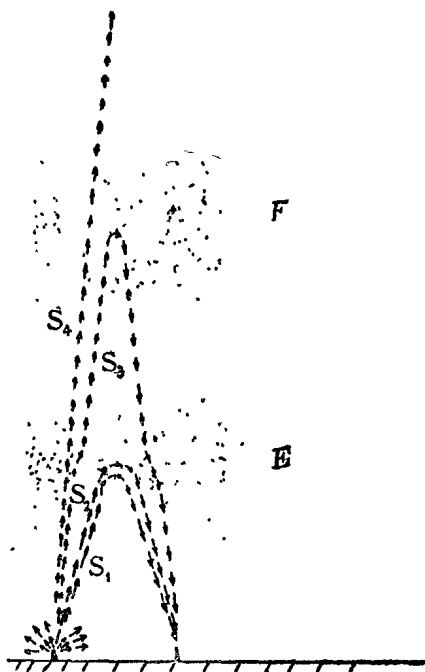


圖 7

这也就是说，可以担负起无线电通信任务的电波，总有一个最短的波长限度，短过了这个限度，也同样地不能完成远程通信的任务。这里需要特别强调指出的就是：上面所说的这个可以在某层反射的最短的波长限度，如果我们对于某一个固定距离的通信来说，它的数值是由各层的最大电子密度来决定的。最大电子密度越大，这个波长限度也就越短，这一点是很重要的。

因此，从电离层对无线电波的作用来说，一方面我们要求采用波长短的电波；但同时，又不能任意地短，波长太短了，又会穿透电离层而消逝。这说明在实际通信工作中，为了安全、经济和便利，我们的任务是：选择一个尽可能短而又不致穿透电离层的波长。

这的确是一个说来简单而做起来却不简单的工作。电离层的各项特性（如高度、最大电子密度）是随时随地在变化着的。怎样才能得到最可靠的资料来作为正确地选择通信波长的根据呢？没有别的道路，唯一的道路就是对电离层进行多方面的、长期不断的、大量的实际探测，并从探测的结果中，寻出电离层变化的规律来。

6. 探测电离层的尖兵——脉冲信号

从前面所谈过的可以看出，探测电离层的主要目的，是要知道在某地某时电离层各层的电子密度的极大值和这极大值所在的高度。

我们都知道，以某一个速度运动着的物体，在一定时间内所经过的路程，在数值上等于它的速度和时间相乘积。因此，要是知道了这物体运动的速度和经过的时间，便可以很容易地算出它在这段时间中所经过的路程。

探测电离层的高度，正好应用了这条规律。具体的作法就是通过电离层观测站的无线电发射天线，“一个一个”地发出

一連串的“脉冲訊号”。所謂“脉冲信号”，实际上就象电报上所发出的“……”的訊号一样“时有时停”的无綫电波。我們所以称它为“脉冲”，就是因为它很象我們的脉搏一下一下地跳着。所不同的，只是探测电离层的脉冲每一个所持續的时间非常非常地短。一般是在百万分之五十秒到百万分之一百五十秒之間。自然，这样极其短促的訊号决不是机械的方法所能控制的，而是用无綫电装置来控制的。通常，一秒鐘內大約发射10~15个这样的脉冲訊号。这些脉冲訊号，就好象我們所派遣出去的尖兵一样：离开天綫，到达电离层；在电离层反射回来，并带回来有关电离层的一些情况。

用脉冲訊号探测电离层时，是使脉冲訊号沿着鉛直的方向，一直向上前进。如图8中所表示的，脈冲訊号到达电离层后，即在适当的高度上反射，再沿着鉛直的方向，向下回到发射的地点。我們只要設法在观测站测出脉冲訊号一去一来所經歷的时间，就可以很容易地根据无綫电波的速度来算出反射点的高度了。

对于时间的测量，通常都是用鐘表的。但是在探测电离层的高度时，要测量脉冲訊号去来一趟所經歷的时间，用鐘表之类的仪器就不行了。这主要是因为脉冲訊号所跑的速度太快（它和光的速度一样，每秒鐘30万公里），去来一次的时间太短。現在讓我們举一个例子來說明吧：例如說，电离层的高度是300公里时（ F_2 层），看看脉冲訊号从地面到电离层去来一次所經歷的时间是多少。这样算：先算路程，上去一趟300公里，下来一

