# 格陵兰冰盖

# 引言

这个题目是为了解决世界上第二大冰川---格陵兰冰盖的物理问题，如图3.1（a）。格陵兰岛可以看成这样的模型：宽为2*L*、长为5*L*、底面位于海平面的矩形岛，完全被不可压缩的冰（密度常数为）覆盖，参考图3.1（b）。冰盖的高度不随y坐标而变化，其高度值在海岸处为0，向南北中轴线（y轴）方向逐渐增加到最大值，所以y轴被称为分冰岭，如图3.1（c）。

|  |  |
| --- | --- |
| C:\bruus\FysikOL\2013_IPhO\Competition\IPhO_Theory\opgaver_udkast\T4_glacier\makefig\ice_sheet.png | |
| (c) | C:\bruus\FysikOL\2013_IPhO\Competition\IPhO_Theory\opgaver_udkast\T4_glacier\Fig_4.2.png |
| 图3.1(a)格陵兰岛地图，包含冰盖区域（白色），临海无冰区域（绿色）和周围海洋（蓝色）。（b）格陵兰岛冰盖粗略模型，平面内边长为 和 的矩形区域。最大冰盖高度的分冰岭沿着轴方向。(c)穿过冰盖的竖直剖面图(平面)显示了高度随x变化图 (蓝线)。在范围内，和坐标无关，但是在 和 处忽然降为零。轴标记了分冰岭的位置。为了清晰起见，竖直维度相比水平维度有较大的扩展。冰的密度 是一个常数。 | |

**两个有用的公式**

在本题中，你可以使用积分：

当时，可以得到近似 。

**冰盖的高度轮廓(高度随***x***变化的函数)**

在短时间内，冰川是一个具有固定高度轮廓的不可压缩的静力学系统。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.1 | 写出冰盖内部压强表达式,该压强是水平面以上竖直高度z和从分冰岭开始的距离的函数。忽略大气压。 | 0.3 |

考虑冰盖上的一个处于平衡状态的竖直窄条，它在 和 之间覆盖的水平面积为 ，参考图3.1（c）的红色虚线所包围的区域。尺寸对结果没有影响。在窄条两个竖直侧边的水平分力，起源于窄条靠中心线一侧与靠海岸一侧的高度差。与基底的底面积产生的摩擦力保持平衡，这里切变应力。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.2a | 对于一个给定的值,当 时，证明,。并给出*k*的表达式。 | 0.9 |
| 3.2b | 利用, ,, ，以及到分冰岭的距离这几个参数,推导出高度  。结果将表明，最大冰川高度尺度与此半宽L满足：。 | 0.8 |
| 3.2c | 证明冰盖总体积 与矩形岛状面积之间的关系满足: | 0.5 |

**冰盖动力学模型**

实际上，冰是一种不可压缩的半流体，通过重力的作用从中心部分流向海岸。在这个模型中，冰盖的高度轮廓处于一个稳定状态，因为下雪造成的中心区域冰的积聚与海岸冰的融化相平衡。为了满足图3.1（b）和（c）冰盖的几何形状，做以下假设：

1. 冰的流动方向平行于 轴，朝着离开冰分界线（*y*轴）的趋势
2. 冰块中心区域冰的积聚率c（米/年）是一个常数
3. 冰只能通过在东西海岸的融化从冰川离开
4. 水平（x轴）冰流速率分量 和轴无关
5. 竖直(z轴)冰流速率分量和轴无关

只考虑靠近冰块中间线的的中心区域，冰块的高度变化非常小以至于可以被忽略，即。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.3 | 利用质量守恒来求出水平冰流速率关于, 和 的表达式 | 0.6 |

从不可压缩的假设，冰的密度常数 ，可以从质量守恒证明冰流速率分量满足下式：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.4 | 写出竖直冰流速率分量关于 的表达式 | 0.6 |

一个初始表面位置的小的冰粒子将随着时间的流逝，作为冰块的一部分在竖直平面内沿着冰块流动轨迹进行流动。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.5 | 推导这种流动轨迹的表达式 | 0.9 |

**冰盖动力学模型中的年龄和气候指标**

根据冰流的速度分量 和 ，人们可以估计距离冰盖表面深度处的冰的年龄

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.6 | 求出在分冰岭处冰的年龄作为高度的函数的表达式 | 1.0 |

从格陵兰冰盖内钻取的冰芯会穿透陈年积雪层，因此冰芯可被用来揭示过去的气候变化。最好的指标称为，定义为

此处 表示氧的两个稳定同位素 和 的相对丰度。参考值 基于赤道附近海洋中同位素的组成。

|  |
| --- |
| C:\bruus\FysikOL\2013_IPhO\Competition\IPhO_Theory\Opgaver\T4_glacier\Fig_4.2.png |
| **图3.2** **(a)** 观察到的雪中的 与每年表面温度的关系。 **(b)**相对于表面的深度 的,测量结果,取自沿格陵兰分冰岭特殊位置 m的从表面钻到基岩的冰芯。 |

格陵兰冰盖观察结果显示雪中的 基本随温度线性变化，如Fig. 3.2(a)所示。假设一直是这种情况 ，从深度冰芯处获得的 可用来估计在年龄时格陵兰附近的温度。

3060 m 深的冰芯中的的测量结果显示在深度1492 m处 有一个突然变化，参见Fig. 3.2(b)，标志着最后一个冰河时代的结束。冰河时代始于120,000 年前, 对应深度3040 m，目前的间冰期始于11,700 年前，对应深度1492 m。假设这两个时期可以分别通过两个不同的沉积速率 (冰河时代)和 (间冰期)描述。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.7a | 确定沉积速率 和 | 0.8 |
| 3.7b | 利用Fig. 3.2中的数据找出从冰河时代到间冰期转变时的温度变化值 | 0.2 |

**格陵兰冰盖融化导致海平面上升**

格陵兰冰盖完全融化会导致全球海洋的海平面上升。作为海平面上升的粗略估计，可以简单考虑地球上面积的海平面均匀升高。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.8 | 计算格陵兰冰盖完全融化导致的全球海平面升高的平均值，目前海洋面积，切变应力 | 0.6 |

巨大的格陵兰冰盖对周围海洋施加一个巨大的万有引力拉力。如果冰盖融化，当地的潮汐会消失而且海平面下降，这种现象和前面所计算的海平面上升的作用是相反的。

为了估计万有引力对海水拉力的程度，格陵兰冰盖现在被当做一个在地平面的巨大质点模型。哥本哈根位于沿地球表面距离此质点3500 km 的位置。可以认为没有这个冰质点的地球是球对称的，并且全球的海洋均匀分布在面积为的地球的整个表面。地球转动的所有效应都可以忽略。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3.9 | 在此模型中，求出在哥本哈根的海平面 ()和格陵兰的海平面()的差值 | 1.8 |